

Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский национальный технический  
университет

Механико-технологический факультет



Сборник научных работ  
XXIV Республиканской студенческой  
научно-технической конференции

# НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ



18–19 апреля 2023 года

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Механико-технологический факультет

## НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ

Сборник научных работ  
XXIV Республиканской студенческой научно-технической конференции

18–19 апреля 2023 года

Минск  
БНТУ  
2023

## ОРГКОМИТЕТ

### ПРЕДСЕДАТЕЛЬ:

**Иванов И. А.**, декан механико-технологического факультета, д-р техн. наук, профессор.

### ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА:

**Пантелеенко Ф. И.**, член-корр. НАНБ, Заслуженный деятель науки РБ, д. т. н., профессор;

**Константинов В. М.**, д. т. н., профессор;

**Лазаренков А. М.**, д. т. н., профессор;

**Немененок Б. М.**, д. т. н., профессор;

**Ровин С. Л.**, д. т. н., доцент;

**Томило В. А.**, д. т. н., профессор;

**Бежок А. П.**, к. т. н., доцент.

### РАБОЧАЯ ГРУППА:

**Бежок А. П.**, д. т. н., доцент;

**Одиночко В. Ф.**, к. т. н., доцент;

**Слуцкий А. Г.**, к. т. н., доцент.

### ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

**Раков Илья Григорьевич**

### СОСТАВИТЕЛИ

**Бежок Александр Павлович**

**Иванов Игорь Аркадьевич**

В настоящий сборник включены материалы докладов XXIV Республиканской студенческой научно-технической конференции «Новые материалы и технологии их обработки», участники которой выступали последующим направлениям: «Металлургия чёрных и цветных сплавов», «Материаловедение в машиностроении», «Машины и технология литейного производства», «Машины и технология обработки металлов давлением», «Порошковые и композиционные материалы, покрытия и сварка», Охрана труда и промышленная безопасность.

© Белорусский национальный  
технический университет, 2023

# **Металлургия чёрных и цветных сплавов**

**Изучение влияния типа и количества углеродсодержащего восстановителя в брикете из пыли газоочистки электродуговой печи**

Студенты групп: 10403121 - Маршалковский Р. С., Пузынин Я. С.;  
10403122 - Пугацевич М. В.; 10107221 - Мотыль А. В.  
Научный руководитель - Урбанович Н. И.  
Белорусский национальный технический университет

Целью данной работы является изучение влияния типа и количества углеродсодержащего восстановителя на показатели высокотемпературного восстановительного обжига брикетированной шихты, состоящей из пыли газоочистки электродуговой печи, твердого восстановителя и связующего.

Процесс высокотемпературного восстановления проводили с использованием углеродсодержащих материалов, доступных и используемых в промышленности, характеристики которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав углеродсодержащих восстановителей

Наименование показателя	Графит кристаллический, марка ГЛ-3 (ГОСТ 17818. 4 2)	Бой графита, марка С (электродный бой) ТУ 1911-109-73-2000	Отсев кокса
Содержание углерода	75	80	96
Зольность	25	20	9

В связи с тем, что расход твердого восстановителя, обеспечивающий максимальное извлечение паров цинка, в каждом конкретном случае варьируется в зависимости от вида сырья, мы выбрали расход твердого восстановителя в качестве заведомо обеспечивающего полноту возгонки цинка. Количество твердого восстановителя для пыли дуговых печей рассчитывали на 100 грамм пыли исходя из её химического анализа, который показал, что в ней находится, примерно ZnO – 39,37 %, FeO – 45,59 %, а остальное составляют оксиды кремния, кальция, калия, марганца.

Приблизительный расчет количества восстановителя осуществляли для следующих реакций:



$$n(\text{ZnO}) = 39,37/81,390 = 0,56 \text{ (моль)}$$

$$n(\text{C}_1) = n(\text{ZnO})/2 = 0,28 \text{ (моль)}$$

$$n(\text{FeO}) = 45,59/71,845 = 0,548 \text{ (моль)}$$

$$n(\text{C}_2) = n(\text{FeO})/2 = 0,274 \text{ (моль)}$$

$$m(\text{C}) = (n(\text{C}_1) + n(\text{C}_2)) * 12,011 = 6,654 \text{ (г)}$$

Следует учесть, что расчёт показан для идеальной модели, где реакция протекает в герметичном сосуде и железо в соединениях проявляет степень окисления +2. В реальном эксперименте реакционную среду покидает часть угарного газа (CO), образующегося в ходе процесса восстановления. Так же в смеси присутствует железо со степенью окисления +3. Эти два фактора указывают на то, что восстановитель должен браться в избытке.

Для активизации процесса восстановления оксидов в мелкодисперсных порошках металлосодержащих отходов необходим контакт восстановителя с оксидами, для чего следует применять восстановитель с развитой поверхностью. Поэтому перед вводом в состав шихты экспериментальных брикетов восстановитель, содержащий крупные частицы, перетирали в ступке. Для проведения исследований в качестве железосодержащих отходов использовали плавильную пыль электродуговых печей Жлобинского металлургического завода, в которой по результатам химического анализа  $Fe_{\text{общ}}$  составило 30,26 %,  $Zn$  – 36,21 %. Количество таких элементов, как  $Si$ ,  $K$ ,  $Ca$ ,  $Mn$  в виде оксидов не превышало 12 – 13 %.

Брикетирование осуществляли на гидравлическом прессе усилием 1000 кН, давление прессования составляло 210 МПа. Пресс-форма, состоящая из матрицы и пуансона, имела диаметр пуансона 42 мм. Шихту для прессования замешивали в пластмассовом стакане вместе с твердым восстановителем. Связующее в виде жидкого стекла вводили перед прессованием шихты. Брикет имел следующий состав (% масс.): плавильная пыль – 76; восстановитель – 15; связующее – 9. Таким образом, получили брикеты диаметром 42 мм, высотой 18 мм. Сушку брикетов после прессования проводили при температуре 130 °С.

Масса сухого брикета составила примерно 60 г. На рисунке 1 показан внешний вид брикета, полученного методом холодного прессования.



Рисунок 1 – Брикет из пылевидного отхода плавильной электродуговой печи, полученный методом холодного прессования

Таким образом, были изготовлены экспериментальные брикеты, имеющие в своем составе разные твердые углеродсодержащие восстановители.

Исследования восстанавливаемости брикетов проводили в лабораторной установке, состоящей из шамотного тигля, крышки, кварцевой трубки, вставленной в отверстие крышки. Крышка плотно прилегала к внутреннему диаметру тигля, а кварцевая трубка служила для выхода газообразных продуктов, выделяющихся в процессе восстановления компонентов в брикете.

Внутри тигля помещали брикет. Эксперимент проводили в силиковой печи, предварительно разогревая её до температуры 1150 °С. В шахту разогретой печи устанавливали тигель и в течение 30 минут выдерживали его в печи. Восстановление проходило в неизотермических условиях. В процессе выдержки брикета в печи наблюдали выделяющиеся газы. На рисунке 1 показан брикет после процесса восстановления в нем оксидов.



Рисунок 1 – Внешний вид брикета после восстановительного обжига

Следует отметить, что брикет после его обжига уменьшился по массе и объему. Масса его снизилась с 60 г до 30 г. На поверхности брикета визуально заметна его металлизация, т. е. наблюдается наличие металлических корочек. В таблице 2 представлены результаты химического состава восстановительного обжига брикетов с разными восстановителями.

Таблица 2 – Химический состав пыли после обжига брикетов

Вид восстановителя	Содержание Zn в обожженном брикете, %	Содержание Fe <sub>общ</sub> в обожженном брикете, %
Графит	0,47	41
Электродный бой	0,42	43
Отсев кокса	0,38	44

Результаты химического состава брикетов после их обжига с разным восстановителем показали, что реакция восстановления цинка до газообразного состояния протекает с большей скоростью, чем у железа. Поэтому за показатель реакционной способности восстановителя было принято содержание цинка в спекшемся брикете.

Из таблицы видно, что после обжига наименьшее содержание цинка имеет брикет, в составе которого в качестве восстановителя находится отсев кокса. При этом следует отметить, что все известные углеродосодержащие восстановители проявили хорошую реакционную способность, но предпочтение можно отдать отсеvu кокса, так как он является отходом производства. Что касается восстановления железа, то, по-видимому, процесс его восстановления прошел не полностью, так как для этого необходимо больше времени (60 – 90 мин) или более высокие температуры.

**Исследование влияния размеров отливок на эффект модифицирования литых низколегированных сталей**

Студенты гр. 10405220: Ключко Д.А., Рукина К.А.,  
Микулич А.Д., Оленцевич А.А.

Научный руководитель - Барановский К. Э.  
Белорусский национальный технический университет

Модифицирование расплава стали, получило широкое распространение, прежде всего это связано с развитием технологии внепечной обработки сталей, включающей в себя ввод в жидкий металл в ковше или в струю металла модифицирующих добавок.

Меньшая загрязненность модифицированного металла является причиной получения более высоких пластических свойств, в первую очередь, ударной вязкости при обычных и пониженных температурах испытаний. Например, на ОАО «Икар» (г. Курган) удаление глиноземистых включений с границ литых зерен за счет использования силикокальций-бариевой лигатуры обеспечило требуемый повышенный уровень хладостойкости ( $KCU-60 \geq 40$  Дж/см<sup>2</sup>) отливок из стали 25Л при их упрощенной термической обработке на основе нормализации, хотя обычно для этих целей используют легированные стали с более сложной термообработкой отливок.

Значительное улучшение механических, особенно пластических свойств, получено также при модифицировании углеродистых, низколегированных и нержавеющей сталей на Самарском сталелитейном заводе.

Одним из важнейших результатов модифицирования – является повышение жидкотекучести стали. Повышение жидкотекучести улучшает заполняемость форм, повышает качество поверхности отливок, что особенно важно при производстве точного литья. Одним из технологических следствий повышения жидкотекучести модифицированного металла является возможность снизить температуру разливаемой стали, что, в свою очередь, позволяет ослабить развитие горячих термических трещин и других дефектов газоусадочного характера [1].

Исследователями [2] отмечено, что снижение загрязненности модифицированной стали неметаллическими включениями, напрямую связывая этот факт с наблюдаемым повышением её жидкотекучести. При этом наиболее существенно уменьшается или полностью устраняется загрязненность высокоглиноземистыми включениями. Причина этого положительного воздействия, вероятно, заключается в том, что при вводе нескольких активных элементов, в первую очередь – кальция, кальция с добавками других соединений, алюминия. В результате, при одних и тех же температурах модифицированный металл содержит меньше равновесного кислорода, а более раннее и интенсивное образование включений повышает возможность их удаления в ковше и, особенно, в изложнице.

Особо следует остановиться на возможности существенного снижения серы в металле за счет применения РЗМ-содержащих модификаторов. Эта проблема представляет большой интерес для литейщиков, выплавляющих сталь в кислых печах, где обеспечить требуемые значения концентрации серы, возможно, только при использовании чистой шихты.

При модифицировании система расплав-модификатор переводится в неустойчивое неравновесное состояние. Важной особенностью модифицирования является затухание модифицирующего эффекта и стремление системы вернуться в исходное состояние. Это обусловлено интенсивным взаимодействием активных элементов модификатора с примесями жидкого расплава и окислением кислородом воздуха. В связи с этим для получения максимального эффекта модификатор следует вводить в расплав непосредственно перед разливкой или в процессе разливки. Другая особенность модифицирования заключается в том, что концентрация

элемента-модификатора должна находиться в определенных довольно узких пределах. Недостаточное его содержание не обеспечивает требуемого изменения структуры и свойств металла, и, наоборот, избыточное содержание элемента может привести к ухудшению структуры и свойств металла, т. е. существуют понятия «недомодифицирование» и «перемодифицирование». При микролегировании таких резких изменений свойств обрабатываемого металла не происходит. Таким образом, модифицирование это процесс обработки металлического расплава химически активными элементами с переводом всей системы, включающей в себя расплав, остаточные концентрации элементов и продукты их взаимодействия с примесями, в неустойчивое неравновесное состояние [3]

Целью данной работы является исследование влияния геометрических параметров: толщины стенки и массы отливок на степень затухание модифицирующего эффекта.

Изучение эффекта затухания модифицирования проводили на ООО «Идея» при производстве отливок из стали 20 ГЛ. Предприятие производит отливки методом литья по газифицируемым моделям. В связи с чем образцы для определения механических свойств к кусту отливок на этапе сборки присоединяли образец-свидетель, который проходил все операции на ровне с отливками (заливку, выбивку, очистку, термообработку), после чего из него вырезались образцы для определения механических свойств.

Использовался модификатор, состоящий из Ca, Ba, Sr в виде силикатов (РС-7) с добавлением или без добавления паверностно-активного элемента (ПАЭ). В качестве ПАЭ, на основании литератур ранее проводимых исследований, был выбран Вi. Модификатор вводился в виде конверта из алюминиевой фольги в разливочный ковш, в момент перелива, под струю металла, при заполнении ковша на 1/3. Необходимое количество модификатора было определено на предшествующих этапах работы и составляет 0. 2% от массы обрабатываемого расплава, добавка Вi составляет 0. 001% от массы обрабатываемого расплава.

Модифицированную сталь заливали в заформованные опоки. Образцы для исследования вырезали из отливок массой 5 и 10 кг (с разной толщиной стенки).

Результаты исследования влияния массы отливки на структуру и показатели механических свойств приведены в таблице Результаты исследования влияния массы отливки на структуру и показатели механических свойств приведены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Влияние массы отливки на показатели механических свойств

Масса отливки, кг	Механические свойства			
	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
После модифицирования				
5	575	390	32	33
10	570	354	26	29
После модифицирования с ПАВ				
5	570	400	35	37
10	580	357	28	32

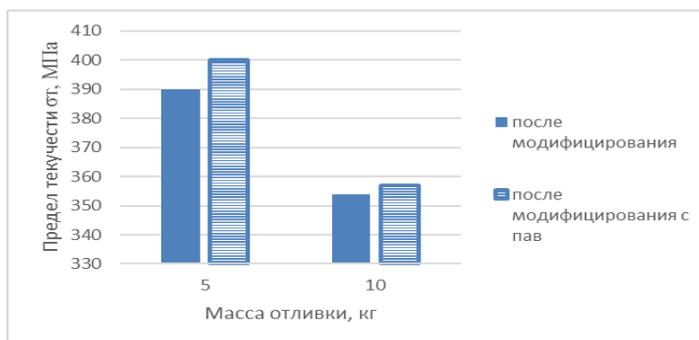


Рисунок 1 – Влияние массы отливки на показатели предела текучести

На рисунке 2 показаны отливки, полученные литьем по газифицируемым моделям (разной массы).



аб

а – массой 5 кг; б – массой 10 кг

Рисунок 2 – Отливки, полученные литьем по газифицируемым моделям

В свою очередь масса отливки будет влиять, на скорость охлаждения, т. к. большие отливки требуют больше времени для заполнения формы и охлаждения в сравнении с малыми. А это, в свою очередь, будет влиять на степень переохлаждения стали и формирование структуры определенной зернистости, и, как следствие, на механические свойства.

Анализ полученных результатов показал, что увеличением массы отливки наблюдается снижение эффекта модифицирования, при этом добавка ПАВ, продлевает эффект, повышаются механические свойства стали, в частности предел текучести.

Это объясняется тем, что введение в расплав комплексного модификатора обеспечивает рост всех механических характеристик за счет обессеривания, более глубокого раскисления стали, уменьшения количества неметаллических включений и их скругления неметаллических включений, а также за счет измельчения микроструктуры отливок. А введение дополнительно к модификатору поверхностно активных веществ позволяет продлить эффект модифицирования.

#### Список использованных источников

1. Шуб, Л. Г., Ахмадеев А. Ю. О целесообразности модифицирования стального литья / Л. Г. Шуб, А. Ю. Ахмадеев // *Металлургия машиностроения*. – 2006. – Вып. 6. – с. 15 – 18
2. Гольдштейн Я. Е., Мизин В. Г., «Модифицирование и микролегирование чугуна и стали», М. «Металлургия», 1986, 271 с.
3. Скок Ю. Я. Омеханизм модифицирования стали / Ю. Я. Скок, В. А. Ефимов // *Проблемы стального слитка*. М. : *Металлургия*, 1978. С. 43- 47.

## **MS EXCEL как среда планирования и управления складскими запасами металлургического производства**

Студенты гр. 10405221 Самедова Р.Т., Бойко Д.С., гр. 10405321- Мачкова Д.В.  
Научный руководитель - Арабей А.В.  
Белорусский национальный технический университет

В современном металлургическом производстве каждое производственное звено является неотъемлемой частью цепочки, которая приводит к получению финального продукта. Поэтому планирование производства играет критически важную роль в успехе любой металлургической компании. В этом контексте EXCEL представляет собой самую популярную и эффективную программную среду в планировании производства и управлении складскими запасами в металлургической промышленности.

В металлургической промышленности склады играют важную роль в цепочке производства. Они служат местом хранения сырья, полуфабрикатов, готовой продукции, а также различного оборудования и материалов. Планирование производства на складах металлургического производства необходимо для обеспечения эффективной работы склада и бизнеса в целом. В этой статье рассмотрим основные понятия и подходы к планированию производства на складах металлургического производства.

К основным принципам планирования производства и управления складскими запасами относятся:

1. *Анализ потребности*: цель этого этапа – определение потребности в металлургических материалах на определенный период времени. Для этого необходимо проанализировать всю цепочку поставок, принять во внимание производственные нормы и потребности заказчиков, а также оценить риски нехватки материалов;

2. *Планирование*: после того, как потребность в материалах определена, необходимо разработать план производства на определенный период времени, который будет обеспечивать потребности заказчиков. На этом этапе необходимо определить количество материалов, необходимых для производства продукции, а также разработать график производства;

3. *Управление запасами*: цель этого этапа – наладить управление складскими запасами. Чтобы избежать излишков или нехватки материалов на складах, необходимо разработать стратегию управления запасами. Это может быть, например, стратегия минимальных запасов или стратегия максимальных запасов;

4. *Отчетность*: наконец, необходимо ежедневно мониторить запасы на складе, изменять стратегию управления запасами при изменениях условий и эффективно отчитываться перед руководством.

Для более наглядного примера, рассмотрим применение EXCEL в металлургическом производстве по производству стальных полос валковым методом:

1. Разработка базы данных на производственные материалы и поставщиков.
2. Анализ потребности в материале на основе плана производства и производственных норм.
3. Создание календарного графика производства на каждый месяц/неделю/день (в соответствии с планом выпуска продукции).
4. Составление заказов на материалы для каждого периода в соответствии с графиком.
5. Мониторинг запасов на складе и своевременное оформление документов на заказы и поставки.
6. Анализ проведенного планирования и управления запасами.

Такой подход к планированию производства позволяет компаниям рационально использовать ресурсы, минимизировать затраты и эффективно управлять складскими залами.

Использование Excel для планирования производства и управления запасами в металлургической промышленности предоставляет компаниям следующие преимущества:

1. Легкость использования: Excel – простая и доступная программа для использования, которая не требует многих IT-ресурсов.

2. Автоматизация: Excel позволяет автоматизировать процессы планирования. Например, генерация отчета по продуктивности или запасам на складе может быть выполнена одним нажатием на кнопку.

3. Контролируемость процессов: процессы планирования и управления запасами в Excel могут быть легко контролируемы и настраиваемы для быстрого реагирования на изменения на рынке.

4. Функциональность и гибкость: Excel позволяет настраивать формат отчетов и производить анализы в зависимости от потребностей компании.

5. Экономичность: использование Excel значительно экономит затраты на специальное программное обеспечение, что является важным фактором для малых и средних предприятий.

В заключении, Excel – это надежный и простой инструмент для планирования производства и управ.

**Диагностика состояния футеровки индукционных тигельных печей**

Студенты гр.: 10405120 - Форнель А.Д.;

гр. 10405119 - Дайлид Е.С., Бусел А.А.

Научные руководители - Немененок Б. М., Румянцева Г. А.

Белорусский национальный технический университет

Футеровка имеет важное значение в обеспечении эффективной работы индукционных тигельных печей. Для ее изготовления применяют как огнеупорные материалы с огнеупорностью не менее 1500 °С, так и материалы с меньшей огнеупорностью. Для уменьшения потерь теплоты через футеровку применяют теплоизоляционные материалы.

Основными причинами выхода из строя футеровки печей для плавки алюминия являются механические повреждения, абразивный износ от воздействия твердой шихты при загрузке и инструмента при чистке печей, эрозия от размывающего действия потока жидкого металла при циркуляции, растрескивание вследствие термических ударов, инфильтрация или проникновение металла, химическое взаимодействие с алюминием и флюсами, а также рост настывшей корунда из-за взаимодействия расплава с кремнеземом и окисляющей средой. Как правило, стараются выполнить футеровку в виде многослойной конструкции с рабочим слоем, способным сопротивляться любым видам воздействий, и с внутренним теплоизоляционным слоем, позволяющим установить требуемый температурный градиент по толщине футеровки. При этом толщины всех слоев выбирают с учетом теплопроводности материалов таким образом, чтобы при работе печи изотерма 658 °С находилась в рабочем слое на глубине, равной 2/3 его толщины, или, в крайнем случае, на его границе с запорным слоем. Тогда кристаллизация проникшего внутрь футеровки металла предотвратит его дальнейшее продвижение к корпусу печи.

Применительно к индукционным тигельным печам проблематично изготовление многослойного набивного тигля. Поэтому необходима установка в футеровке специальных датчиков, позволяющих получать информацию о изменении температуры по сечению футеровки. Фирма SAVEWAY предлагает способ непрерывного измерения остаточной толщины стенок из огнеупорного материала, основанный на нелинейной зависимости электрического сопротивления огнеупорного материала от температуры.

С увеличением износа футеровки расплав перемещается в сторону размещения датчиков, которые также называются электродными пластинами. Вследствие этого увеличивается температура огнеупорного материала, находящегося перед датчиками, и его удельное электрическое сопротивление экспоненциально понижается. Для измерительного тока, поданного через электроды датчиков, это означает, что он течет от одного электрода через огнеупорный материал до расплава и оттуда обратно к другому электроду. Незначительная часть измерительного тока течет напрямую в огнеупорном материале от электрода к электроду. Эта часть с уменьшением толщины стенки уменьшается в сторону нуля, а общий измерительный ток значительно увеличивается.

Система обеспечивает непрерывную визуализацию состояния футеровки. При этом измеряется остаточная толщина стенок на основании видимого и невидимого износа любого вида, такого как эрозия, инфильтрация, трещины или козырьки металла. С другой стороны, надежно распознается влага вследствие утечек с индуктора, перегрева расплава и процесс высушивания при спекании. Для представления износа огнеупорная футеровка делится на сегменты по окружности, а толщина стенки для каждого сегмента разделяется на 16 уровней.

Критические для эксплуатации печи состояния выводятся в качестве дополнительных визуальных сообщений («Предупреждение», «Критический износ») на блоке управления и визуализации. Периодическое самодиагностирование измерительной системы распознает воз-

можное прерывание линии, а также неполадки электронного оборудования и датчиков. Индикация производится в непрерывном режиме и отличается надежностью. На рисунке 1 приведена информация системы SAVEWAY о состоянии износа футеровки в индукционной тигельной печи, а на рисунке 2 представлен вариант демонстрации состояния износа.

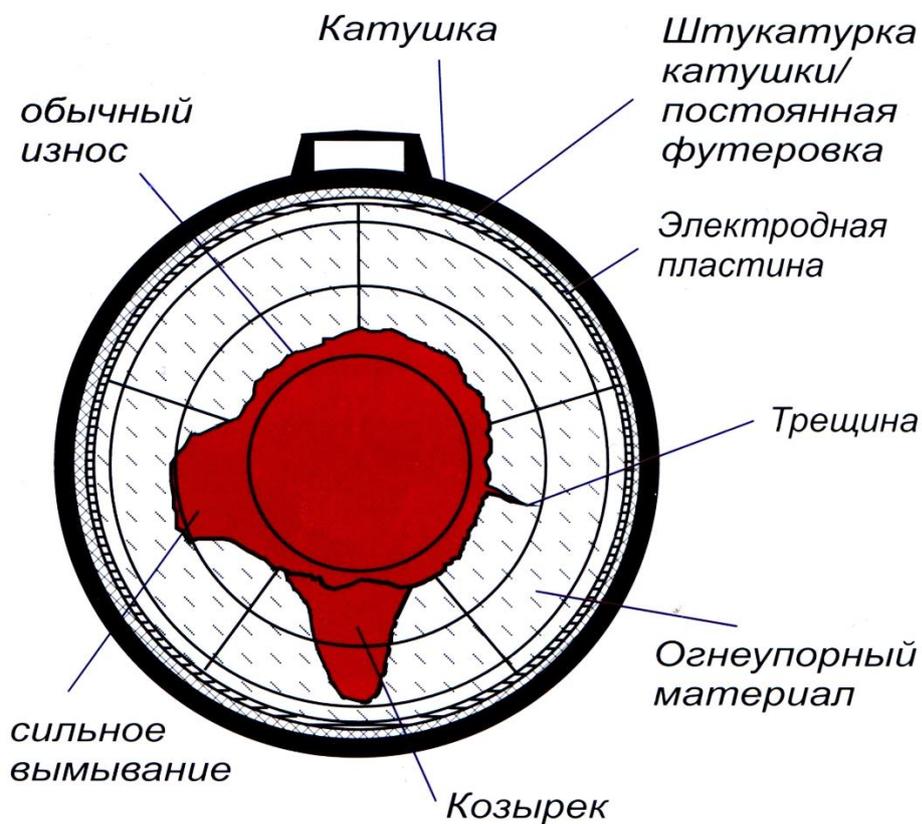


Рисунок 1 – Различные состояния износа в индукционной тигельной печи

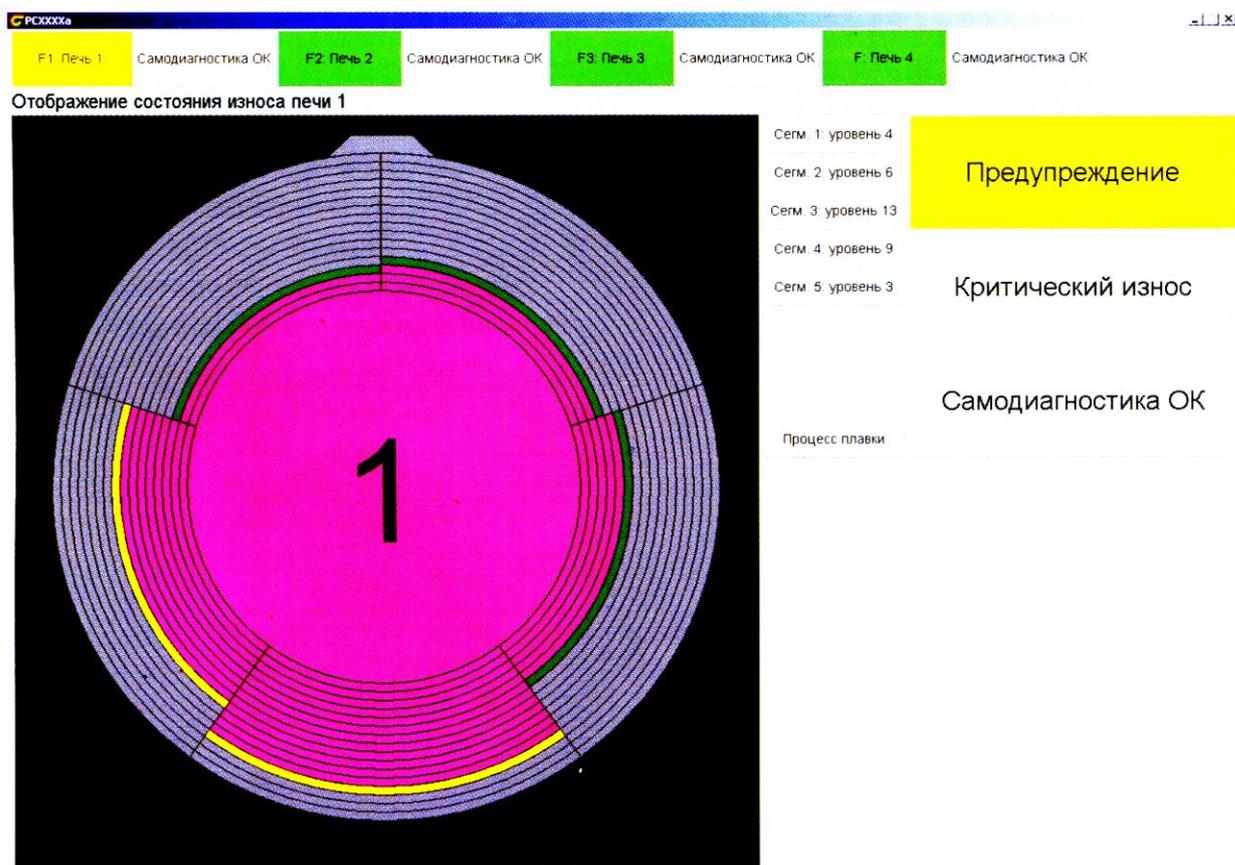


Рисунок 2 – Представление состояния износа на мониторе

На приведенном рисунке 2 на экране SAVEWAY показана ситуация с износом, которая отображена на рисунке 1. Пять смонтированных по окружности тигля электродных пластин (отдельные измерительные сегменты) позволяют получить подробную картину износа.

## Выплавка стали в дуговых печах с кислой футеровкой

Студенты гр. 10405120 Подласенко И.А., Петриченко И.  
Научный руководитель - Трусова И.А.  
Белорусский национальный технический университет

Наибольшее распространение дуговые сталеплавильные печи (ДСП) с кислой футеровкой получили распространение в литейном производстве при выплавке углеродистых и низколегированных марок стали для фасонного литья. Анализ технико-экономических показателей работы печей показал преимущества при их использовании по сравнению с ДСП, имеющими основную футеровку.

Кислая футеровка на основе  $\text{SiO}_2$  обладает большей стойкостью, чем основная, что позволяет эксплуатировать печь с перерывами, требуемыми по условиям работы многих литейных цехов. Кроме того, пониженная отражательная способность кислого шлака уменьшает тепловую нагрузку на футеровку, а стоимость кислых огнеупоров примерно в 2,5 раза ниже стоимости основных. Учитывая, что при плавке стали для фасонного литья восстановительный период обычно отсутствует, длительность плавки в кислой печи меньше, чем в основной печи той же емкости; по этой причине, а также в связи с меньшей теплопроводностью кислой футеровки, более низким является и расход электроэнергии (в среднем ниже на 13%). Получаемая сталь содержит меньшее количество вредных примесей, так как кислый шлак менее проницаем для водорода и азота, чем основной. Немаловажным является также то, что при выплавке в кислой печи жидкотекучесть стали несколько выше, чем в основной, что существенно при получении фасонных отливок.

Кроме того, кислый процесс допускает более значительный перегрев металла, что особенно важно для изготовления мелкого, тонкостенного и фигурного литья. Отливки из кислого металла имеют более равномерное и плотное строение, поэтому несколько повышенное содержание фосфора и серы не ухудшает в целом их механических свойств.

Вместе с тем, кислому процессу выплавки стали присущи и определенные недостатки. Поскольку в этом случае процессы дефосфорации и десульфурации осуществить практически невозможно, к исходной шихте предъявляются высокие требования по содержанию S и P, т. е. содержание этих вредных примесей должно быть ниже допустимого предела в готовой стали. Корректировка состава металла более сложна, что приводит к повышенному расходу ферросплавов. Поэтому в случае необходимости получения высококачественного литья с пониженным содержанием серы и фосфора, а также при наличии шихты, загрязненной серой и фосфором, предпочтение следует отдавать печам с основной футеровкой.

## Оценка пористости покрытия, полученного с использованием отходов литейных алюминиевых шлаков на основе системы Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Магистрант гр. 50424022 Руленков А.Д.  
Научный руководитель - Рафальский И.В.  
Белорусский национальный технический университет

Одним из наиболее эффективных технологических путей улучшения эксплуатационных свойств рабочих поверхностей деталей машин является нанесение на них защитных покрытий. Конструкционные материалы не всегда способны удовлетворить требования, предъявляемые к деталям машин, работающим в тяжелых условиях. Конструкционные материалы высокого качества, как правило, применяются ограничено из-за своей дороговизны. Использование различных металлических и неметаллических покрытий позволяет, где это возможно, заменить дорогостоящие материалы, обеспечивая в полной мере те же свойства, но за меньшую цену. В качестве напыляемых материалов чаще всего применяются металлы, сплавы, оксидные, карбидные и нитридные керамики [1].

Обзор литературных данных показывает, что, в основном, покрытия на основе системы Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> наносятся анодным осаждением [2-7]. Широко применяются газотермические методы нанесения защитных покрытий, например, плазменное, лазерное напыление и другие. Покрытие системы Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> применяется в качестве защиты от коррозии и улучшения трибологических характеристик деталей машин, работающих в агрессивных средах, при больших температурах, а также при ремонте. Например, в работе [4] проводились исследования по получению защитного покрытия на основе Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> плазменно-электролизным осаждением с использованием импульсного однополярного источника питания на нержавеющей стали аустенитного класса 316L, работающей в условиях повышенных температур и агрессивных сред.

В настоящей работе проводилась оценка пористости покрытий на основе системы Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, полученных с использованием порошковых материалов, выделенных из литейных алюминиевых шлаков и нанесенных плазменным методом на стальную подложку (сталь 40). Подложка (рисунок 1 а и б) представляет собой плоскопараллельную трапецию толщиной 3 мм, толщина покрытия по десяти точкам составила 150 мкм.

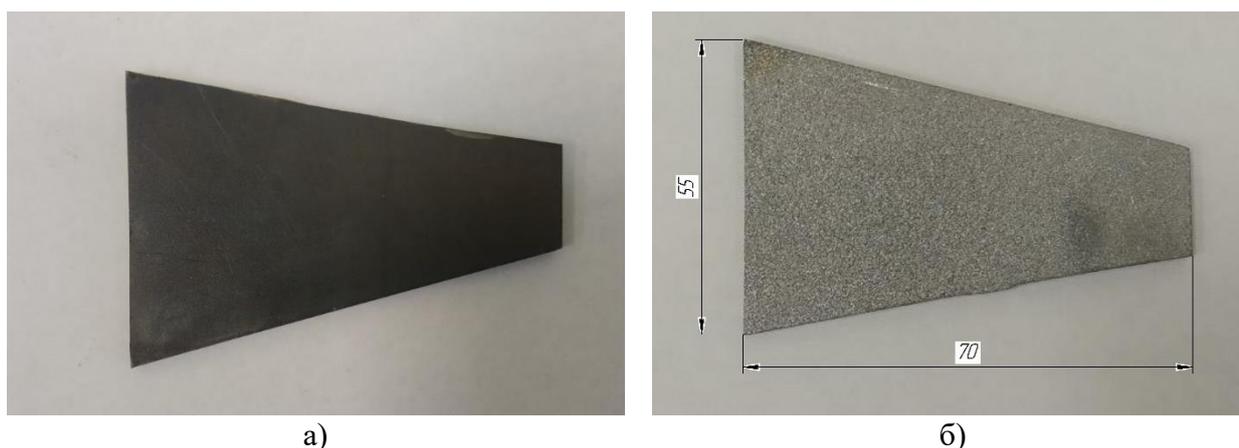


Рисунок 1 – Стальной образец а) без покрытия, б) с покрытием

Для покрытия была проведена оценка открытой пористости гидростатическим методом в соответствии с [8]. Для определения пористости образец был взвешен на воздухе и затем выдержан в дистиллированной воде в течение 30 мин. Далее образец взвешивали в воде и на

воздухе (рисунок 2 а и б). При взвешивании в воде образец подвешивали на тонкой нити диаметром 0,05 мм, масса которой учитывалась при расчете. С поверхности образца непосредственно перед взвешиванием на воздухе удаляли излишки влаги фильтровальной бумагой, взвешивание пропитанного образца на воздухе проводилось дважды с интервалом в 30 секунд.



а)



б)

а) – аналитические весы; б) весы гидростатического взвешивания

**Рисунок 2** – Лабораторные установки для оценки пористости гидростатическим методом

По формуле (1) рассчитывали открытую пористость покрытия [8]:

$$P_{\text{откр.}} = \frac{(m_2 - m)\rho_0}{(m_2 - m_1)\rho_0 - m_0\rho_{\text{в}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $m_0$  – масса образца без покрытия, г;  $m$  – масса сухого образца с покрытием на воздухе, г;  $m_1$  – масса пропитанного образца с покрытием в воде, г;  $m_2$  – масса пропитанного образца с покрытием на воздухе, г;  $\rho_0$  – плотность материала основы, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воды, г/см<sup>3</sup>. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения экспериментальных данных

	Масса образца, г			Плотность, г/см <sup>3</sup>	
	с покрытием			материала основы	воды
без покрытия	сухой, на воздухе	пропитанный, на воздухе	пропитанный, в воде		
53,256	54,417	54,522	47,109	7,85	1,0

Открытая пористость покрытия составила:

$$P_{\text{откр.}} = \frac{(54,522 - 54,417) \cdot 7,85}{(54,522 - 47,109) \cdot 7,85 - 53,256 \cdot 1,0} \cdot 100 \% = 16,699 \%$$

Оценка пористости покрытия, полученного с использованием порошковых материалов, выделенных из литейных алюминиевых шлаков, составила 16,7 %.

#### Список использованных источников

1. Шмидт, И. В. Систематика технологий покрытия для изделий машиностроения, Челябинск, апрель 2014 / И. В. Шмидт // Наука ЮУрГУ: материалы 66-ой научной конференции / ЮУрГУ; сост. : Ваулин С. Д. (председ. ) [и др. ]. – Челябинск, 2014. – С. 536-542.
2. Югова, И. С. Особенности структурного состояния в объеме частицы при высокоскоростном соударении с твердой поверхностью: дис. ... маг. техн. наук: 22. 04. 18 / И. С. Югова. – Томск., 2018. – 96 л.
3. Victor Aurel Andrei, Aluminum Oxide Ceramic Coatings on 316l Austenitic Steel Obtained by Plasma Electrolysis Oxidation Using a Pulsed Unipolar Power Supply / Victor Aurel Andrei [et al. ] // MDPI coatings. – 2020.
4. Guanyi Wang, Synthesis, Analysis, and Characterization of Aluminum Nanoparticles Coated with 2,2,4-Trimethylpentane / Guanyi Wang [et al. ] // MDPI metals. – 2023.
5. Sharon K. Rutledge, Reactively Deposited Aluminum Oxide and Fluoropolymer Filled Aluminum Oxide Protective Coatings for Polymers / Sharon K. Rutledge, Bruce A. Banks, Jason Hunt // NASA Technical Memorandum 106966, 1995. – 12 p.
6. Lazar, A., Corrosion protection of 304L stainless steel by chemical vapour deposited alumina coatings / A Lazar [et al. ] // Corrosion Science, 2014. – vol. 81 – pp. 125 – 131.
7. Runge, J. M., Sung, M., Microcrystalline Anodic Aluminum Oxide Coatings: A Revolutionary Basis Technology for Corrosion Protection / J. M. Runge, M. Sung // Stanford process. : Precision coating, 2010. – 12 p.
8. Промышленные каталоги. Общие требования и методы контроля. Покрытия газотермические. ГОСТ 9. 304-87; введ. 01. 01. 1989. – Минск: Белорус. гос. Ин-т стандартизации и сертификации, 2001. – 11 с. – (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу)

**Переработка отходов резиносодержащих изделий методами пиролиза**

Студент группы 10405119 Панасевич Д.А.  
Научные руководители - Нисс В.С., Рафальский И.В.  
Белорусский национальный технический университет

Пиролиз – это один из перспективных способов переработки отходов резинотехнических изделий, суть которого заключается в получении углеводородов различного состава и других компонентов, пригодных для дальнейшего применения. Существуют различные способы пиролизной переработки исходного материала: СВЧ-пиролиз, конвекционный пиролиз, пиролиз под воздействием инфракрасного излучения [1]. Каждый метод имеет свои особенности и у каждого есть свои преимущества и недостатки.

Одним из инновационных и передовых методов является метод СВЧ-пиролиза. При воздействии микроволнового поля на обрабатываемый материал распределение энергии происходит одновременно по всему объему, поэтому нагрев материала происходит значительно быстрее, чем при обычном пиролизе, который происходит при конвекционном нагреве. Однако, несмотря на данные плюсы, у этой технологии есть существенные особенности, которые ограничивают ее применение.

Во-первых, в процессе СВЧ-пиролиза образуются углеводороды, которые заново легко полимеризуются в высокомолекулярные смолистые соединения. При подборе оптимальных режимов можно добиться продукта с минимальным содержанием высокомолекулярных углеводородов и серосодержащих соединений, но практика показывает, что для этого потребуются дополнительные добавки в виде гидроксида калия (KOH) [1].

Во-вторых, метод СВЧ-пиролиза на практике применялся только в лабораторных условиях. Внедрение данной технологии в промышленных масштабах ограничивается тем, что в сравнении с классической печью для пиролиза излучатель сверхвысоких частот требует существенных капитальных вложений. Высокие затраты означают увеличенную себестоимость продукции.

Классический пиролиз осуществляется при помощи конвекционного нагрева. Данная технология основана на том, что отработанные материалы загружаются в реторту и герметично закрываются. Далее происходит нагрев загруженных материалов без доступа воздуха. Для ускорения начала процесса деструкции осуществляется подогрев тигля – емкости от внешнего источника. Со временем газ, который будет образовываться в ходе пиролиза, может использоваться для подогрева тигля, что практически исключает потребность в постоянной подаче тепла извне.

В ходе пиролиза образуются четыре основных продукта:

- Металлокорд или другой армирующий материал, который не подвергается пиролизу. Металл, образующийся в ходе переработки пригоден для дальнейшей реализации;
- Пиролизная жидкость. В зависимости от выбранных технологических режимов возможно получать различный фракционный состав жидкого продукта. Так, изменяя температуру и время термического воздействия, можно получить фракцию легких или тяжелых углеводородов, в зависимости от того, какая цель стоит перед производством;
- Технический углерод. Данный продукт можно вновь использовать в резинотехнической промышленности, а также в лакокрасочной промышленности, строительстве дорог или как твердое топливо (после необходимой обработки) [2]. По некоторым данным технический углерод может содержать до 92–99 % чистого углерода, что допускает его применение для получения углеродных композитных материалов, сочетающих преимущества, как графита, так и активного углерода [3].

– Пиролизный газ. Данный продукт может использоваться как топливо для теплогенераторов или горелок. Одновременно с этим лучшее применение для данного газа является его использование в качестве топлива для поддержания необходимой температуры в технологическом процессе пиролиза [3].

Пиролизная установка может быть стационарного или динамического типа. При использовании стационарной печи тигли герметично закрываются и остаются неподвижными на протяжении всего цикла термической деструкции. При эксплуатации установок с подвижной печью реторта вращается или перемешивает сырье методом «пьяной бочки».

Процесс низкотемпературной деструкции может проводиться в присутствии катализаторов, способствующих интенсификации процесса и позволяющих увеличивать выход жидких и газообразных топлив при более низких энергетических затратах на проведение процесса.

### **Список использованных источников**

1. Яцун, А. В. СВЧ-Пиролиз изношенных автомобильных шин в присутствии гидроксида калия / А. В. Яцун, П. Н. Коновалов, Н. П. Коновалов // Современный наукоемкие технологии. – 2017. – С. 83–87.
2. Папин, А. В. Получение композиционного топлива на основе технического углерода пиролиза автошин / А. В. Папин, А. Ю. Игнатова, Е. А. Макаревич, А. В. Неведров // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – С. 107 – 113.
3. Макаров, А. В. Некоторые аспекты рециклинга изношенных автомобильных покрышек методом пиролиза // Вестник ТОГУ. – 2008. – С. 247 – 258.

**Использование быстроохлажденных металлических материалов  
для изготовления композитов на основе полимеров**

Студенты гр.10405220 Меркуль И.Д.,  
10405221 Бойко Д.С.,  
гр.10405222 Безбородько П.Д., Котляренко И.В.  
Научный руководитель – Шейнерт В. А.  
Белорусский национальный технический университет

Разработка композиционных сплавов с использованием литых неравновесных структур в качестве армирующей фазы является перспективным направлением. В результате ранее выполненных исследований подобраны составы сплавов, разработана методика, изготовлены лабораторные установки и получены образцы быстроохлажденных литых материалов в виде микроволокна и ленты. [1-3]. Их использование для формирования композиционных материалов с матрицей на основе пластиков и резинотехнических изделий позволит повысить физико-механические свойства материала.

На рисунке 1 показана лабораторная установка для получения нитевидных металлических материалов.



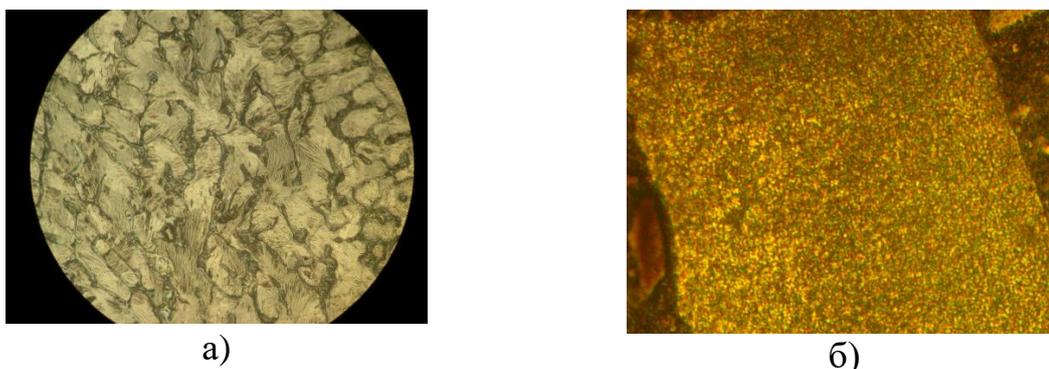
а)



б)

Рисунок 1 – Лабораторная установка для получения линейных нитевидных металлических элементов (а) и опытный образец микроволокна (б) из цинкового сплава (22% Al).

Полученные микроволокна подвергались электронному и оптическому микроструктурному анализу. Для сравнительной оценки влияния скорости кристаллизации на дисперсность микроструктуры анализировались образцы данного сплава, отлитого в металлическую форму. Установлено существенное влияние способа кристаллизации сплавов на дисперсность включений интерметаллидов, первичное зерно, а также количество пересыщенного твердого раствора (рисунок 2).



а) б)  
x500  
Рисунок 2 – Микроструктура цинкового сплава (22% Al)  
а – литье в кокиль; б – быстроохлажденный.

В дальнейшем образцы полученного микроволокна были переданы в БГТУ для проведения исследований при получении композитов на основе полимеров. Ниже представлены обобщенные результаты исследований влияния микроволокна из сплава Zn – 22% Al на кинетику вулканизации эластомерных композиций (таблица 1).

Таблица 1 – Кинетические параметры вулканизации

Наименование наполнителя	Дозировка наполнителя, мас. ч.	ML, дН·м	MH, дН·м	ts2, мин	t50, мин	t90, мин	Rh, дН·м/мин	$\Delta S$ , дН·м
Смесь для сравнения	–	9,24	47,82	7,92	9,01	12,45	17,01	29,23
Zn–22%Al	5,00	8,50	39,26	14,91	16,85	18,96	10,19	30,76
	10,00	7,48	29,79	13,45	14,91	16,51	8,71	22,31

Где: ML – минимальный крутящий момент, соответствующий минимальному крутящему моменту на вулканизационной кривой, пропорциональный вязкоупругим свойствам резиновой смеси при температуре вулканизации.

MH – максимальный крутящий момент, соответствующий максимальному значению крутящего момента из вулканизационной кривой, пропорционален модулю сдвига резины при температуре вулканизации; характеризует жесткость резины в конце процесса вулканизации.

ts2 – время, необходимое для увеличения минимального крутящего момента на 2 единицы. t50 – время достижения 50%-й степени вулканизации.

t90 – оптимальное время вулканизации, за которое достигается получение оптимальных свойств вулканизата.

Rh – скорость вулканизации.

$\Delta S$  – разницы между максимальным и минимальным крутящим моментом.

В таблице 2 приведены результаты исследования влияния добавок микроволокна из сплава Zn – 22% Al на упруго-прочностные показатели эластомерных композиций до старения

Таблица 2 – Упруго-прочностные показатели ненаполненных резин до старения

Наименование наполнителя	Дозировка наполнителя, мас. ч.	Условная прочность при растяжении $f_p$ , МПа	Относительное удлинение при разрыве $\epsilon_p$ , %
Смесь для сравнения	–	15,1	310
Zn – 22% Al	5,00	13,7	250
	10,00	11,8	330

Упруго-прочностные показатели резин после старения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Упруго-прочностные показатели ненаполненных резин после старения

Наименование наполнителя	Дозировка наполнителя, масс. ч.	Условная прочность при растяжении $f_p$ , МПа	Относительное удлинение при разрыве $\epsilon_p$ , %
Смесь для сравнения	–	13,8	196
Zn – 22% Al	5,00	170	11,9
	10,00	235	11,76

В таблице 4 приведены значения коэффициентов старения, рассчитанные на основе полученных данных об изменении упруго-прочностных свойств в процессе теплового старения (таблицы 2 и 3).

Таблица 4 – Изменение упруго-прочностных показателей

Наименование наполнителя	Дозировка наполнителя, мас. ч.	Изменение по относительному удлинению при разрыве после старения, %	Изменение по условной прочности при растяжении после старения, %
Смесь для сравнения	–	-8,1	-26,2
Zn – 22% Al	5,00	-13,1	-32,0
	10,00	-0,3	-28,8

Результаты исследований твердости резин по ШоруА представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Твердость резин по Шору А

Наименование наполнителя	Дозировка наполнителя,мас. ч.	Твердость, ед. Шора А
Смесь для сравнения	–	71,0
Zn–22%Al	5,00	67,6
	10,00	67,1

Анализ результатов предварительных испытаний композитов на основе полимеров показал, что добавки в их состав микроволокна из сплава на основе цинка, содержащего 22% алюминия, оказывают влияние на такие показатели как условная прочность при растяжении, относительное удлинение до и после старения, а также твердость по ШоруА.

#### Список использованных источников

1. Шейнерт В.А. Гулецкий Н.А., Форнель А.Д., Рудик А.Г. Получение быстро охлажденных сплавов в виде микроволокна для армирования композиционных материалов. Сборник научных работ V Международной научно-практической интернет конференции студентов и магистрантов «Литье и металлургия 2022» Республиканской студенческой научно-технической конференции. 24-25 ноября – 2022. – с. 10–11.

2. Шейнерт В.А., Слуцкий А.Г., Калиниченко А.С., Куис Д.В., Григорьев И.Е. Анализ и выбор сплавов для получения быстроохлажденных металлических элементов с неравновесной структурой// ЛЕСНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ДИЗАЙН Материалы докладов 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов 31 января – 12 февраля 2022 года Минск С. 28

3. Шейнерт В.А., Хорольский П.Д., Рудик А.Г., Кондратьев Е.И. Подбор сплавов на основе черных и цветных металлов для получения неравновесных, метастабильных структур методами высокоскоростной кристаллизации// Сборник научных работ XX111 РСНТК «Новые материалы и технологии обработки» 21-22 апреля 2022г., г.Минск, БНТУ С. 22-25

## **Технологические особенности получения чугуна с шаровидным графитом различных марок**

Студенты: гр.10405120 Гулецкий Н.А., гр. 10405220 Ключко Д.А., Рукина К.А.,  
гр.10405221 Татарлы Д.Д., гр. 10405222  
Максимов Н.П.

Научные руководители – Слуцкий А.Г., Шейнерт В.А.  
Белорусский национальный технический университет

В работе представлены результаты экспериментальных исследований процесса получения чугуна с шаровидным графитом различных марок.

Объемы производства отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом расширяются. При этом актуальным является внедрение технологии получения более высоких марок ЧШГ для отливок ответственного назначения.

Основным фактором, определяющим эффективность сфероидизирующей обработки чугуна является состав применяемой магнийсодержащей лигатуры. Наиболее широко используются литые лигатуры на основе кремния, меди, никеля. Самыми распространёнными способами ковшевого модифицирования ЧШГ являются варианты «Сэндвич – процесса», когда порция модификатора закладывается в ковш перед заливкой исходного чугуна. Это позволяет в зависимости от типа лигатуры получить в отливках структуру и механические свойства, соответствующие маркам от ВЧ40 до ВЧ70 в литом состоянии и ВЧ 80-ВЧ100 после соответствующей термической обработки [1].

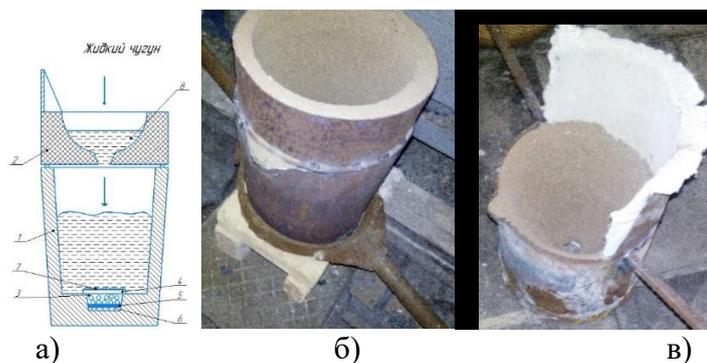
Большинство отливок из ЧШГ изготавливаются литьём в песчаные и керамические формы с умеренным темпом охлаждения отливки, которые позволяют получить феррито-перлитную основу в структуре. Для получения в отливках из ЧШГ перлитной, мартенситной и бейнитной структур необходимо обеспечить соответствующий тепловой режим формы и необходимую термическую обработку [1].

В настоящей работе приведены результаты лабораторных исследований технологических особенностей получения чугуна с шаровидным графитом различных марок методом ковшевого модифицирования магнийсодержащими лигатурами различного состава.

При выполнении исследований использовали индукционную плавильную печь ИСТ006, комплекс оборудования для термической обработки, анализа химического состава, микроструктуры, технологических и механических свойств высокопрочного чугуна.

В лабораторных условиях были изготовлены опытные образцы магнийсодержащих лигатур на основе ферросилиция и меди и никеля [2,3]. Были подобраны составы высокопрочных чугунов для марок ВЧ50, ВЧ70 и ВЧ80 (согласно ГОСТ7293-85).

В качестве основной шихты использовали низкосернистый стальной конверсионный лом и электротехническую сталь. Для науглераживания чугуна применяли измельченные огарки графитовых электродов фракцией 2-5мм. Корректировку чугуна по кремнию осуществляли добавками ферросилиция. После расплавления исходного чугуна отливалась клиновидная технологическая проба по излому которой оценивали величину отбела. Сфероидизирующую обработку чугуна осуществляли по методике, согласно работы [4]. На рисунке 1 приведены схема и общий вид специального ковша с переходной крышкой.



1 – ковш; 2 – переходная крышка; 3 – реакционная камера с лигатурой; 4 – стальная высечка; 5 – перегородка; 6 – графитизирующий модификатор; 7 – слой дисперсного карбюризатора; 8 – жидкий чугун

Рисунок 1 - Схема (а), общий вид ковша (б) и переходной крышки (в) для сфероидизирующего модифицирования ЧШГ.

На первом этапе работы провели сфероидизирующую обработку чугуна добавкой 2,0% магнийсодержащей лигатуры на основе ферросилиция (ФСМг7). Для вторичного модифицирования использовали гранулированный модификатор на основе алюминия с РЗМ (0,1 %). После завершения процесса сфероидизации высокопрочный чугун разливали по литейным формам. В дальнейшем были проведены исследования химического состава, микроструктуры и механических свойств полученного ЧШГ.

Анализ результатов, представленных в таблице 1 свидетельствует, что такая сфероидизирующая обработка позволила за счет образования шаровидного графита и увеличения количества перлита получить механические свойства ЧШГ соответствующие марке ВЧ45.

Таблица 1 – Влияние добавки магнийсодержащей лигатуры на основе ферросилиция на химический состав, микроструктуру, технологические и механические свойства ЧШГ.

№ пп	Состав чугуна углерод/кремний	Сфероидизирующая лигатура		Глубина отбела, мм	Твердость В/рочность	Микроструктура					
		тип	Количество, %			Металлическая основа		Графит			
						Перлит	Феррит	Форма Гф	Диаметр Гд	Распределение Гр	Количество Г, %
1	3,81/1,6 2	-	-	4,0	187/ 210	40	60	-	-	-	-
2	3,75/2,6 3	ФСМг 7	2,0	8,0	217/ 455	80	20	5	25- 25	1	10

В качестве примера на рисунке 2 представлены фотографии микроструктуры исходного серого чугуна (а) и высокопрочного (б)

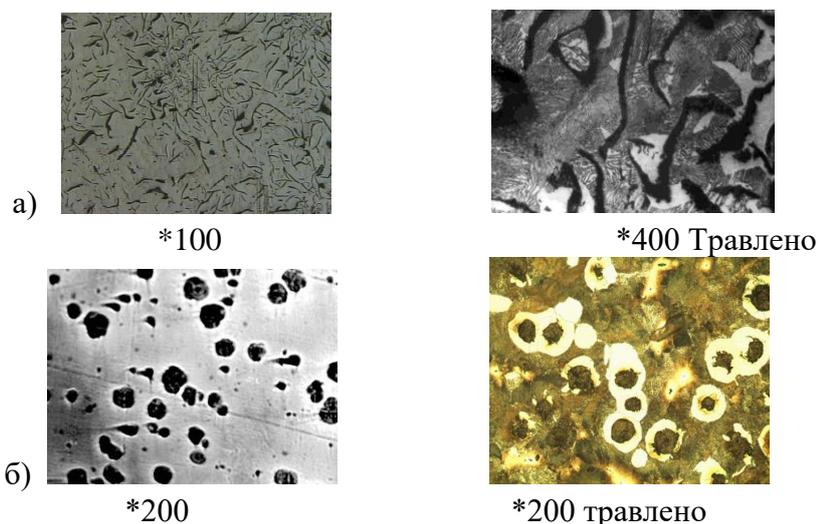


Рисунок 2 - Микроструктура исходного (а) и высокопрочного (б) чугуна

На следующем этапе работы провели исследования технологии получения в отливках структуры и механических свойств, соответствующих марке ВЧ 70.

За основу был выбран состав высокопрочного чугуна, содержащий 3,6 % углерода, 2,4-2,5 % кремния, 0,3-0,4 % марганца, 0,018 % серы, 0,06 % хрома, 0,035% олова. Для сфероидизирующей обработки чугуна использовали добавку 2% быстроохлажденной чипс-лигатуры, содержащей 5,7-6,3% магния, 1-1,5% кальция, 0,8-1,2% РЗМ, до 1,2% алюминия, 50-55% кремния, остальное железо.

В таблице 2 представлены результаты химического анализа исходного чугуна и после сфероидизирующей обработки, которые свидетельствуют о практически полном совпадении с расчетными данными по основным элементам.

Таблица 2–Химический состав исходного и высокопрочного чугуна.

Наименование сплава	Химический состав, %						
	C	Si	Mn	S	P	Mg	Sn
Исходный чугун	3,65	1,56	0,36	0,018	0,031	0,01	0,034
Высокопрочный чугун	3,58	2,48	0,37	0,012	0,043	0,056	0,035

Для обеспечения гарантированной перлитной структуры ЧШГ использовали термическую обработку отливок и образцов в виде нормализации по следующему режиму (нагрев до температуры до 930 °С выдержка 2 ч и охлаждение на воздухе) [5].

Обобщенные результаты исследований микроструктуры и механических свойств полученного высокопрочного чугуна приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Микроструктура и твердость высокопрочного чугуна в литом состоянии и после нормализации.

Режим ТО	Твёрдость НВ/ Прочность МПА	Металлическая основа, %		Графит			
		перлит	феррит, цементит	форма	распределение	длина, мкм	кол-во, %

Литое состояние	285/510	П100	Ц-10	ШГф4-5	ШГр1-3	ШГд 25-45	ШГ6
нормализация	269/720	П100	Ц-1	ШГф4-5	ШГр1-3	ШГд25-45	ШГ10

Анализ полученных результатов показал, что твердость чугуна в литом состоянии достаточно высокая и составляет 285 НВ а после нормализации она снизилась до 269НВ. При этом литая структура состоит из перлита и до 10 % цементитной фазы, а графит имеет шаровидную форму с размером включений 25–45 мкм. Нормализация отливок по вышеуказанному режиму позволила исключить в структуре цементитную фазу и обеспечить перлитную металлическую основу чугуна с пределом прочности при растяжении 720 МПа.

На рисунке 3 приведены фотографии микроструктуры высокопрочного чугуна в литом состоянии и после нормализации.

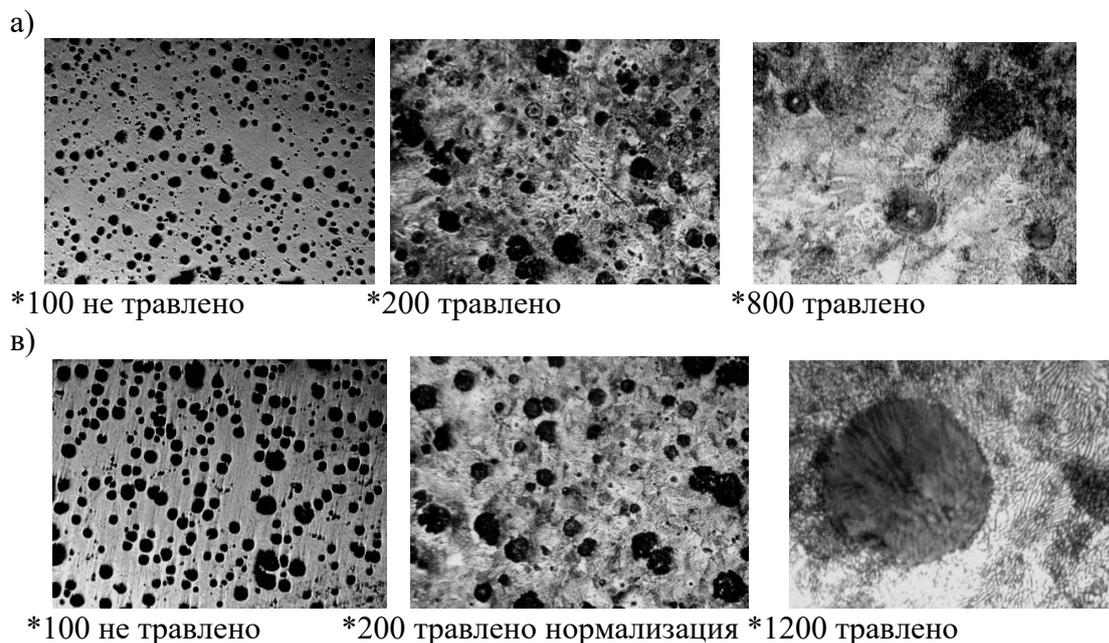


Рисунок 3 - Микроструктура высокопрочного чугуна в литом состоянии (а) и после нормализации (в)

Для получения высокопрочного чугуна выше марки ВЧ 70 использовали медь-магниевую лигатуру. Для гарантированного обеспечения таких прочностных характеристик исходная концентрация серы должна быть не выше 0,02 % при соотношении  $M_{\text{гост.}}/S_{\text{ост.}} \geq 3$ . Расчетное количество лигатуры составило 0,95 % к весу жидкого чугуна. Результаты химического анализа исходного чугуна и после сфероидизирующей обработки, представленные в таблице 3 свидетельствуют о совпадении с расчетными данными по основным элементам. При этом концентрация остаточного магния составила 0,051%, а содержание меди в высокопрочном чугуне увеличилось до 0,87%.

Таблица 3 – Влияние величины добавки магнийсодержащей лигатуры на основе меди на химический состав чугуна

Количество и тип лигатуры	Химический состав, %							
		i	n		r	Cu	g	

(ЧШГ) 1,0 % Cu-Mg	,7	,10	,37	,016	,016	,041	0,8 7	,051	
(СЧ) серый чугу н	,95	,9	,38	,016	,016	,038	0,0 93		

Металлографический анализ показал (таблица 4), что литая структура ЧШГ состоит из перлита и порядка 14% цементита и 8% феррита, а графит имеет правильную шаровидную форму с диаметрами включений 25-45мкм (рисунок 4а). При этом твердость чугуна высокая и составляет 294НВ. Высокотемпературная обработка чугуна с последующим охлаждением на воздухе позволила устранить в структуре цементит и снизить твердость до 255НВ и за счет перлитизации обеспечить прочностные характеристики ЧШГ на уровне марки ВЧ80 (рисунок 4б,в).

Таблица 4 – Влияние величины добавки магнийсодержащих лигатур на основе меди на микроструктуру и прочность чугуна.

Наименование сплава	Твёрдость, НВ/прочность, МПа	Металлическая основа, %		Графит		
		перлит	Цементит/феррит	форма	распределение	длина
ЧШГ в литом состоянии	294/-	86	14/8	ШГф4-5	ШГр1	ШГд15-45
ЧШГ после нормализации	255/815	100	0/0	ШГф5	ШГр1	ШГд25-45
Серый чугун	196/200	20	0/80	ПГф2	ПГр1	ПГд45-180

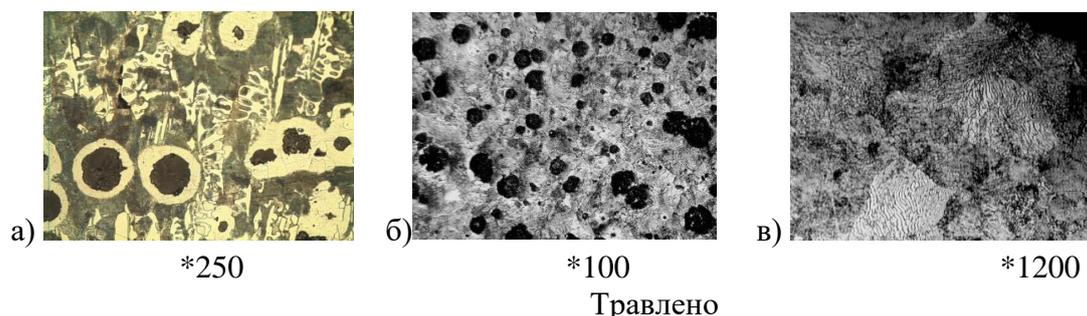


Рисунок 4. Микроструктура высокопрочного чугуна полученного с использованием медь-магниевого лигатуры в литом состоянии (а) и после нормализации (б,в)

На завершающем этапе проанализировали результаты экспериментальной плавки ЧШГ в ФТИ НАН РБ. Был предложен вариант бейнитного высокопрочного чугуна для отливки «нож-сучкорез» взамен сталей 20ХНМ, 20ХН2М следующего химического состава: углерод-3,5%, кремний-2,4%, марганец- 0,20%, медь-1,8%, никель-0,8%, хром-0,1%, сера не более 0,01%, магний-0,02-0,05%. Опытная плавка чугуна осуществлялась в индукционной тигельной печи емкостью 170кг. В качестве шихтовых материалов использовали передельный чугун ПЛ1 (82%) содержащий 4,39% углерода, 1,1% кремния, 0,09% марганца, 0,007% серы, 0,029% фосфора а также низкоуглеродистый стальной лом (18%).

Расчетный состав по углероду в исходном чугуне-3,6%. Для легирования чугуна использовали лом меди, ферромolibден, никелевую лигатуру. Для сфероидизации графита в ковш емкостью 180кг вводили тяжелую никель-магниевого лигатуру (15% магния) в количестве 1,7кг(1%). Вторичное модифицирование осуществляли за счет ферросилиция ФС75 (0,3%) на дно ковша.

По расплавлению основных компонентов шихты отливали контрольную технологическую пробу на отбел и осуществляли корректировку исходного чугуна по углероду и кремнию.

После его перегрева производили замеры температуры расплава и выпуск плавки в ковш для сфероидизирующей обработки и вели наблюдение. Затем удаляли шлак с поверхности чугуна и осуществляли его разливку по литейным формам. В таблицах 5,6 представлены результаты исследований химического состава, микроструктуры и механических свойств полученного высокопрочного чугуна.

Таблица 5 – Влияние величины добавки магнийсодержащей лигатуры на основе никеля на химический состав чугуна

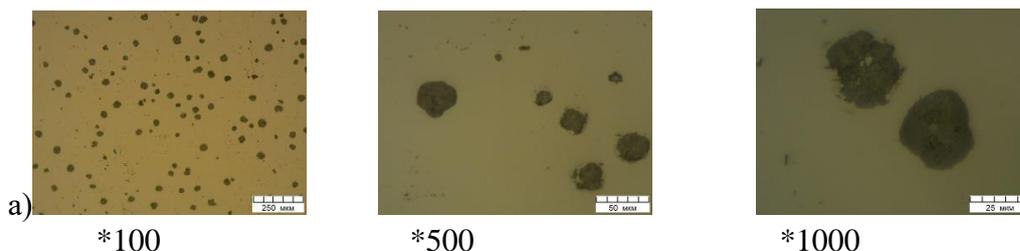
Количество и тип лигатуры	Химический состав, %								
		Si	Mn	S	P	Cr	Cu	Mg	Ni
ЧШГ1,0 % Ni-Mg	3,39	2,58	0,56	0,016	0,016	0,034	1,47	0,049	0,73
Серый чугун	3,62	2,42	0,35	0,018	0,015	0,07	0,093	–	0,05

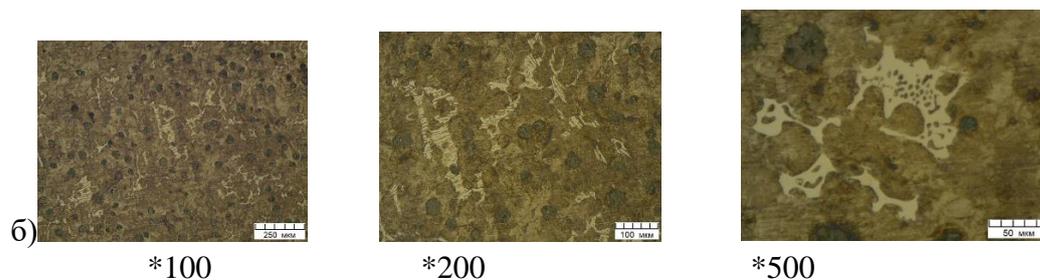
Результаты химического анализа исходного чугуна и после сфероидизирующей обработки, представленные в таблице 3 свидетельствуют о совпадении с расчетными данными по основным элементам. При этом концентрация остаточного магния составила 0,049%, а содержание меди в высокопрочном чугуне несколько ниже расчетных значений (1,47). При этом концентрация никеля, введенного в чугун сфероидизирующей лигатурой близка к расчетной и составила 0,73%.

Таблица 6 – Влияние величины добавки магнийсодержащих лигатур на основе никеля на микроструктуру и прочность чугуна

Наименование сплава	Твёрдость, НВ/прочность, МПа	Металлическая основа, %		Графит		
		перлит	Цементит/феррит	форма	распределение	длина
ЧШГ в литом состоянии	294/-	80	20/0	ШГф4-5	ШГр1	ШГд15-25
ЧШГ после нормализации	255/815	100	0/0	ШГф5	ШГр1	ШГд25-45

Металлографический анализ показал (таблица 6), что литая структура ЧШГ состоит из 80 % перлита и 20% цементита, а графит имеет правильную шаровидную форму с диаметрами включений 15-25мкм (рисунок 5а). При этом твердость чугуна высокая и составляет 294НВ. Для обеспечения требуемых свойств ЧШГ бала проведена термическая обработка, что позволило не только устранить цементит, но и обеспечить формирование бейнитной структуры, обеспечивающей высокие механические и эксплуатационные свойства ЧШГ на уровне марки ВЧ80.





Травлено

Рисунок 5 - Микроструктура высокопрочного чугуна полученного с использованием никель-магниевого лигатуры.(литое состояние)

а-графит при различном увеличении;

б- металлическая основа при различном увеличении.

Таким образом, в результате выполненных исследований подтверждена возможность получения ЧШГ различных марок. При этом определяющую роль играет качество исходной шихты по сере, выбор необходимого состава и величины ковшевой добавки сфероидизирующей лигатуры, вторичного графитизирующего модифицирования и режима термической обработки.

### Список использованных источников

1. Российская Ассоциация Литейщиков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ruscastings.ru/work/168/2130/2968/8460>. – Дата доступа: 06.04.2021.

2. Слуцкий, А.Г. Особенности сфероидизирующего модифицирования высокопрочного чугуна лигатурами на основе меди / А.Г. Слуцкий [и др.]// Литье и металлургия. – 2016. – № 2 (83). – С. 110-115.

3. Технологические особенности получения чугуна с шаровидным графитом с использованием быстроохлажденной медь-магниевого лигатуры / А. Г. Слуцкий [и др.] // Литье и металлургия. – 2020. – № 2. – С. 15-21.

4. Слуцкий А.Г., Гулецкий Н.А., Федорович Д.С., Бусел А.А. Исследование влияния режимов термической обработки на микроструктуру и свойства чугуна с шаровидным графитом. Сборник научных работ V Международной научно-практической интернет конференции студентов и магистрантов «Литье и металлургия 2022» Республиканской студенческой научно-технической конференции. 24-25 ноября – 2022. С– 56-59.

5.Слуцкий, А.Г. особенности получения чугуна с шаровидным графитом повышенной прочности / А.Г. Слуцкий, В.А. Шейнерт, Н.А. Гулецкий, Д.С. Федорович // Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов в 2 ч. – Минск: БНТУ, 2023. – Вып. 43,с. 125–133.

### Термодинамический анализ металлотермического восстановления олова из оксидов

Магистрант Ковко О.Г., студенты гр.10405120 Форнель А.Д.,  
гр.10405220 Меркуль И.Д., гр. 10405222 Кошелев Н.А.  
Научные руководители – Слуцкий А.Г., Зык Н.В.  
Белорусский национальный технический университет

Ранее выполненные экспериментальные исследования показали [1] перспективность металлургической переработки оловянной изгари, образующей на предприятии Белцветмета в результате плавки чушкового олова в процессе изготовления литых анодов для гальванического покрытия пищевой жести. Указанные отходы содержат в своем составе значительное количество олова как в чистом виде, так и в оксидной фазе. Известно, что соединения олова с кислородом могут быть в виде монооксида SnO (порошок темного цвета) и двуокиси SnO<sub>2</sub> (порошок белого цвета).

Одним из вариантов использования шлака от первичной переработки изгари является довосстановление олова, что обеспечит более полное извлечения данного металла из отходов. В практике металлургического производства, наряду с другими, широко используется металлотермическое восстановление металлов и сплавов

По правилу, сформулированному С.Ф.Жемчужным, для успешного течения алюмотермического процесса без внешнего подогрева необходимо, чтобы приход тепла составлял не менее 2300 Дж на 1 г смеси [2]. Допустив независимость тепловых эффектов от температуры, удельное количество тепла, приходящегося на 1 г смеси (термичность), можно найти из уравнения:

$$q = -\frac{\Delta H^{\circ}}{\sum M_{исх.в-в}}, \text{ Дж /г} \quad (1)$$

где  $\sum M_{исх.в-в}$  – сумма молекулярных и атомных весов исходных веществ, взятых в стехиометрическом соотношении, г/моль;

$\Delta H^{\circ}$  – тепловой эффект энтальпии реакции, Дж/моль.

Например, процесс восстановления олова из монооксида за счет алюминия, идет по следующей реакции:



Термодинамические расчеты проводили на 1 моль кислорода. Значения теплового эффекта ( $\Delta H$ ) и энтропии ( $\Delta S$ ) для элементов и их соединений брали из справочных таблиц и определяли энергию Гиббса ( $\Delta G$ ). Установлено, что по всем металлотермическим реакциям восстановления различных оксидов олова за счет алюминия, магния и кремния значения энергии Гиббса отрицательные, что свидетельствует о возможности протекания процессов в прямом направлении. Важным показателем металлотермического восстановления является термичность, которую необходимо учитывать при подборе состава смесей. Результаты расчетов приведены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 Результаты термодинамических расчетов для металлотермических восстановительных реакций.

№	Реакция	$\Delta H$ кДж/моль	Термичность кДж/г	Состав восстановительной смеси на 100 г
---	---------	------------------------	----------------------	---

1	$\text{SnO} + \frac{2}{3}\text{Al} = \text{Sn} + \frac{1}{3}\text{Al}_2\text{O}_3$	-273	1,78 (1780 Дж/г)	SnO – 113,4 г Al – 15,1 г
2	$\text{SnO}_2 + \frac{4}{3}\text{Al} = \text{Sn} + \frac{2}{3}\text{Al}_2\text{O}_3$	-536	2,88 (2876 Дж/г)	SnO <sub>2</sub> – 127 г Al – 30,3 г
3	$\text{SnO} + \text{Mg} = \text{Sn} + \text{MgO}$	-316	1,98 (1987 Дж/г)	SnO – 113,4 г Mg – 20,2 г
4	$\frac{1}{2}\text{SnO}_2 + \text{Mg} = \frac{1}{2}\text{Sn} + \text{MgO}$	-311	3,12 (3126 Дж/г)	SnO <sub>2</sub> – 127 г Mg – 40,3 г
5	$\text{SnO} + \frac{1}{2}\text{Si} = \text{Sn} + \frac{1}{2}\text{SiO}_2$	-170	1,14 (1140 Дж/г)	SnO – 113,4 г Si – 11,76 г
6	$\text{SnO}_2 + \text{Si} = \text{Sn} + \text{SiO}_2$	-165	1,88 (1880 Дж/г)	SnO <sub>2</sub> – 127 г Si – 23,53 г

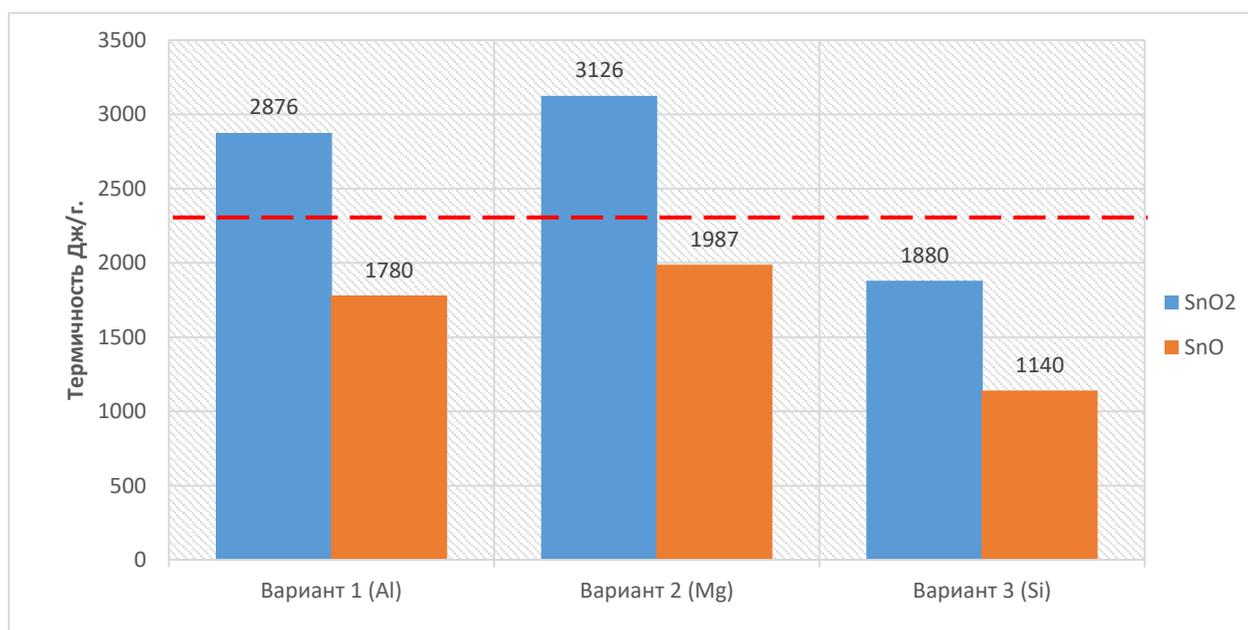


Рисунок 1 – Термичность восстановительных смесей на основе различных оксидов олова

Установлено, что термичность смесей на основе оксидов олова изменяется в широких пределах (от 3126 до 1140 Дж/моль) и зависит как от вида оксида олова, так и от типа восстановителя. Пунктирная линия на диаграмме (рисунок 1) соответствует значению термичности 2300 Дж/г. Ниже этой линии требуется, подогрев восстановительной смеси, а выше-процесс можно вести без внешнего подогрева. Видно, что по двуокиси олова с алюминием и магнием этот показатель составляет соответственно 2876 Дж/г и 3126 Дж/г, что дает возможность его восстановления. Для смеси на основе монооксида олова с алюминием, магнием и кремнием термичность существенно ниже, что требует предварительного ее подогрева для инициирования реакции. Следует также отметить, что из всех восстановителей кремний менее эффективный.

На следующем этапе провели экспериментальную восстановительную плавку с использованием дисперсной фракции шлака от переплава изгари и порошкового алюминия в качестве восстановителя. Смесь состояла из 120г. шлака, 25г алюминия (с избытком) 10г оксида кальция и 5гр селитры. (всего 160 г). Эксперименты по алюминотермическому восстановлению олова проводили в лабораторных условиях по методике, представленной на рисунке 2.



Рисунок 2 – Методика проведения и результаты восстановительной плавки олова.  
 а – тигель с восстановительной смесью; б – начало плавки; в – окончание процесса; г – продукты плавки;

Навески дисперсного шлака изгари, восстановителя-алюминия, оксида кальция и селитры тщательно перемешивались и засыпались в специально изготовленный тигель (рисунок 2а), который затем устанавливался под зонт вытяжной вентиляции. Для начала процесса восстановления смесь поджигалась с использованием порошка магния и велось наблюдение (рисунок 2б). Восстановительный процесс протекал очень бурно, с выделением большого количества дыма. По завершению процесса (рисунок 2 в) на стенках тигля образовался налет из белого порошка характерного для двуоксида олова, что свидетельствует о вторичном его окислении. Образовалось 157 г продуктов восстановительной плавки, но при этом слиток олова не получен (рисунок 2г). После измельчения было обнаружено значительное количество восстановленного олова в виде мелких вкраплений. Последующий повторный переплав на инверторе позволил получить слиток олова, но с невысоким металлургическим выходом при этом в шлаковой части содержались вкрапления корольков чистого олова. (рисунок 3в).

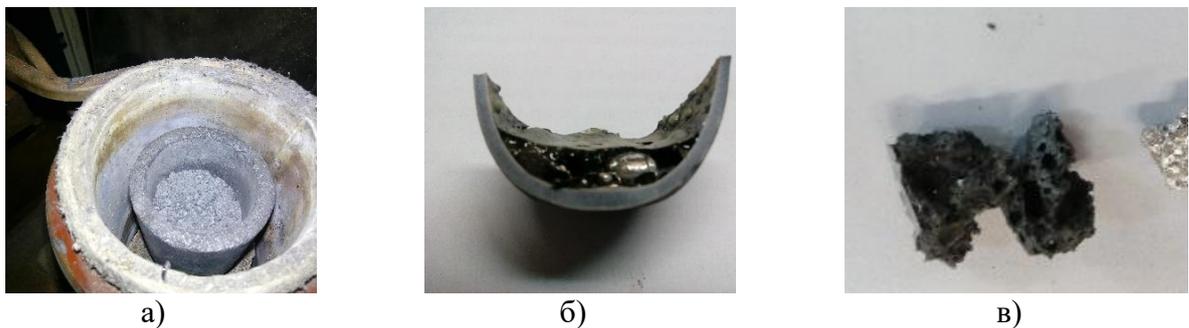


Рисунок 3 - Результаты повторного переплава продуктов СВС.  
 а- начало плавки на инверторе; б-после завершения процесса; результаты плавки;

Таким образом в результате термодинамических расчетов и экспериментально подтверждена возможность алюминотермического восстановления олова из оксидной фазы. Это позволит при металлургической переработке изгари от плавки олова максимально извлекать данный металл и обеспечить его потребность при производстве качественных литейных сплавов.

#### Список использованных источников

1. Металлургическая переработка оловянной изгари / Магистрант Ковко О.Г. гр.10405120 Форнель, Гулецкий Н.А / Научные руководители – Слудский А.Г. Шейнерт В.А. / Белорусский национальный технический университет г. Минск / студ.Тезисы ноябрь 22г.
2. Казачков, Е.А. Расчеты по теории металлургических процессов / Е.А. Казачков. – М.: Металлургия, 1988. – 288 с.

**Отработка в лабораторных условиях литейно-металлургического процесса получения материалов для нанесения износостойких покрытий.**

Студенты гр.10405120 Гулецкий Н.А., гр.10405221 Бойко Д.С.  
гр.10405222 Панасюк В.О., Матюшко П.А.  
Научные руководители – А.Г. Слущкий, В.А. Шейнерт  
Белорусский национальный технический университет

В работе представлены обобщенные результаты исследований комплексной технологии изготовления порошков из легированных сплавов для нанесения износостойких покрытий.

Как отмечалось выше, основными способами изготовления порошков для газотермического получения покрытий являются: распыление расплава, распыление проволоки плазменной струей; механическое измельчение слитка; металлотермическое восстановление оксидов; самораспространяющийся высокотемпературный синтез (метод СВС) [1].

Исходя из вышеприведенного анализа в сфере производства порошков для напыления, наиболее приемлемым способом их изготовления из интерметаллических соединений титана с точки зрения технологической простоты и минимизации затрат является прямая плавка (металлургический синтез) исходных материалов с получением компактного слитка с последующим измельчением его до необходимых фракций. Получение порошков из таких сплавов методами распыления затруднительно по ряду причин: необходимость работы в защитных атмосферах, очень высокие температуры расплава, неудовлетворительные параметры вязкости и жидкотекучести, узкий интервал кристаллизации в областях гомогенности интерметаллидов или наоборот, очень длинный интервал в областях твердых растворов и т.д. Задачей эффективности методики получения порошков из интерметаллических соединений титана и переходных и тугоплавких металлов является получение однородного слитка с высокими термическими напряжениями, облегчающими последующее дробление. Эту задачу можно решить методами скоростного охлаждения на металлических кристаллизаторах и в жидких охлаждающих средах.

Наряду с другим распространенным способом их получения является механическое измельчение (дробление) компактных материалов (например, слитков). Он применим в основном для хрупких сплавов таких как комплексные силициды и высокохромистые износостойкие чугуны [1]. Обычно механическое измельчение слитков осуществляют в барабанах, молотковых, вибрационных и других мельницах. При этом получают так называемые осколочные порошки с частицами неправильной угловатой формы. Ниже представлены обобщенные результаты исследований литейно-металлургического процесса получения порошков.

Известно, что комплексные силициды являются перспективным материалом при нанесении покрытий различными методами. [2-3].

Исходя из вышеприведенного анализа в сфере производства порошков для напыления, наиболее приемлемым способом их изготовления с точки зрения технологической простоты и минимизации затрат является прямая плавка (металлургический синтез) исходных материалов с получением компактного слитка с последующим измельчением его до необходимых фракций. На рисунке 1 приведены основные этапы процесса изготовления слитков из комплексного сплава Ni-Cr-Si.



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Процесс получения слитка из сплава Ni-Cr-Si:

а – высокоскоростная плавильная установка; б – извлечение тигля с расплавом; в – полученный слиток;

По такой методике были отработаны технологические режимы плавки и изготовлены опытные образцы слитков комплексного силицида.

В лабораторных условиях отработан способ получения аналогичных слитков алюминотермическим восстановлением (СВС процесс). На основании термодинамических расчетов были подобраны составы смеси с высокой термичностью [4]. На рисунке 2 представлены фотографии основных этапов процесса получения слитка из сплава Ni-Cr-Si



а)



б)

Рисунок 2 – Процесс получения слитка силицида Ni-Cr-Si металлотермическим восстановлением

а – восстановительная плавка; б – слиток силицида;

В качестве основного материала для получения слитков из хромосилицидированного чугуна использовали: стальной лом, хром металлический Хр1, кремний кристаллический Кр1 из расчета получения в готовом сплаве: С-3,3%; Si-10%; Mn-0,3%; Cr-16%. Плавка осуществлялась по методике, представленной на рисунке 1 После растворения легирующих присадок чугун перегревали и затем осуществляли его разливку в холодный металлический кокиль для получения слитков в виде пластин размером 2х4х150мм. (рисунок 3 а). Затем была проведена плавка аналогичного чугуна с дополнительным легированием бором [5].



а)



б)

Рисунок 3 – Слитки из легированного чугуна  
а- хромосилицидированный; б- хромосилицидированный с бором

На следующем этапе работы отработывались технологические режимы измельчения

слитков, включающую две стадии получения порошков. На первой осуществляли предварительное дробление полученных слитков в ударной ступе до фракции менее 3 мм. На второй стадии производился помол в шаровой мельнице типа «пьяная бочка» с использованием шаров из стали ШХ15 твердостью не менее 62 HRC. Для увеличения эффективности размолы были подобраны три размерные группы шаров соответственно: диаметром 40мм -30% от объема загрузки, диаметром 15-20мм -50%, диаметром 8мм-20%.

Для получения максимального количества фракций порошка 20-80мкм и 80-150 мкм размол производился циклами по 30 минут с последующим отсевом порошка требуемого размера. В дальнейшем производилась магнитная сепарация готовых порошков от намола шаров с помощью постоянных ферритовых магнитов во встряхивающем немагнитном коробе.

Были получены опытные партии различных по составу порошков для проведения их испытаний. В качестве примера на рисунке 4 приведены фотографии трех фракций полученных порошков из хромокремниевого чугуна.



Рисунок 4- Образцы различных фракций порошков из хромокремниевого чугуна

В лаборатории плазменных технологий машиностроительного факультета БНТУ проведены испытания опытных порошков силицида и хромокремниевого чугуна при нанесении их газопламенным напылением на различные металлические поверхности. (рисунок 5,).

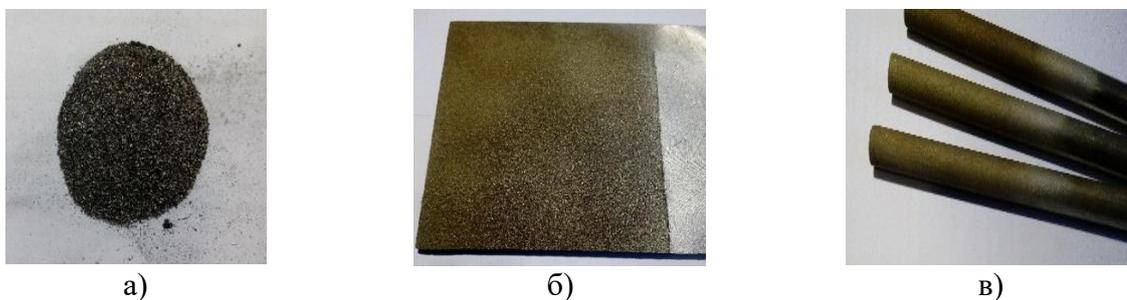


Рисунок 5 – Покрытие, нанесенное газопламенным напылением порошка комплексного силицида (а) на алюминиевую пластину (б) и стальную трубу (в)

Газопламенное напыление порошками из хромокремниевого чугуна осуществлялось с использованием двух фракций (20-80 мкм и 80-150 мкм). Для оценки прочности сцепления покрытия с основой производилось испытание на трещиностойкость загибом листовых образцов на радиусы 20 и 10 мм. Установлено, что пластины толщиной 2 мм покрытые порошком фракции 80-150 мкм не выдерживают испытаний и дают трещины в покрытии. (рисунок 6). Аналогичные результаты были получены на образцах с загибом радиусом 10мм.(рисунок 6).



Рисунок 6 – Пластина с загибом радиусом 10 мм напыленная порошком из хромокремниевого чугуна 80-150 мкм. (трещины)

В свою очередь пластина, напыленные более мелкой фракцией 20-80 мкм выдержали данные испытания, что свидетельствует о высокой прочности сцепления напыленного слоя с основой (рисунок 7).



Рисунок 7 – Пластины с загибом радиусом 10 мм, напыленные порошком из хромокремниевого чугуна 20-80 мкм (без трещин).

Данная фракция порошков из хромосилициевых сплавов принята как базовая для дальнейших исследований.

#### Список использованных источников

1. Борисов, Ю.С. Газотермические покрытия из порошковых материалов / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.Н.Ардатовская. – Киев: Наукова думка, 1987. – 543 с.
2. Способы получения износостойких материалов для защитных покрытий с использованием литейно-металлургических методов / А.Г.Слуцкий[и др.] // *Металлургия: Республ. межведком. Сб. Науч. Тр.* – Минск: БНТУ, 2021. – №42.– с. 216–224.
3. Слуцкий А.Г., Долгий Л.П.,Шейнерт В.А.,Раков И.Г. Получение порошков для защитных покрытий многофункционального назначения литейно-металлургическим методом с использованием вакуумной индукционной плавки. *Материалы 9 –ой Международной научно-практической конференции «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях» 27-28 апреля ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, Саратов,2022.* С 13-16.
4. Казачков Е.А. Расчеты по теории металлургических процессов – М.: Металлургия, 1988. – 288 с.
5. Шейнерт, В.А. технологические особенности получения литых заготовок из износостойких материалов для защитных покрытий / В.А. Шейнерт, А.Г. Слуцкий, Н.В. Зык, Н.А. Гулецкий, // *Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов в 2 ч.* – Минск: БНТУ, 2022. – Вып. 43,– с. 145–151.

### Сравнительный анализ технологий получения слитков из комплексных силицидов для катодов-мишеней

Студенты гр. 10405220 Оленцевич А.А., Микулич А.Д.,  
гр. 10405221 Даничев А.О., гр. 10405222 Тропашко Е.В.  
Научные руководители – Шейнерт В.А., Слуцкий А.Г.  
Белорусский национальный технический университет

На основании ранее выполненных исследований отработаны варианты изготовления катодов-мишеней для нанесения защитных покрытий, включающие литейные и металлургические технологии [1-2]. В качестве базового сплава был использован комплексный силицид, содержащий в своем составе титана – 50 %, никеля – 20 %, кремния – 30 %. Были отработаны различные варианты получения слитков такого силицида, включающие металлургическое восстановление (СВС-процесс), высокоскоростную индукционную плавку и плавку в вакуумной печи. На рисунке 1 представлены этапы СВС процесса получения слитка комплексного силицида.

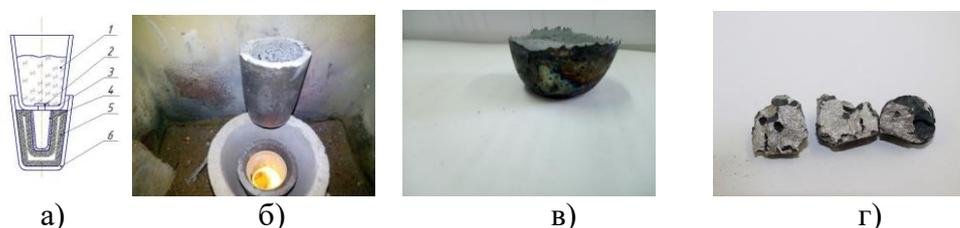


Рисунок 1- Этапы получения слитков комплексного силицида СВС процессом.

а- технологическая схема СВС процесса; б-методика восстановительной плавки; в-слиток комплексного силицида; г-макроструктура силицида;

Восстановительную плавку осуществляли по методике описанной в работе [3], при этом использовали как графито-шамотный так и алундовый тигли. Сравнительный анализ состава продуктов СВС плавки показал, что при использовании графито-шамотного тигля имеет место существенное насыщение углеродом (13,4%). Титан из оксидной фазы восстановился не полностью и его остаточное содержание в шлаке составило 10,8%. Кремний и никель практически полностью восстановлены алюминием и их остаточная концентрация в шлаке составила 0,58% и 1,39% соответственно. В дальнейшем полученный слиток взвешивали и определяли металлургический выход, который составил 95%. После дробления слитка силицида оценивали визуально макроструктуру излома. Установлено (рисунок 1 г), что опытный слиток комплексного силицида не достаточно плотный и имеет пористость. На следующем этапе работы провели экспериментальную плавку комплексного силицида на высокоскоростной индукционной печи (инверторе).

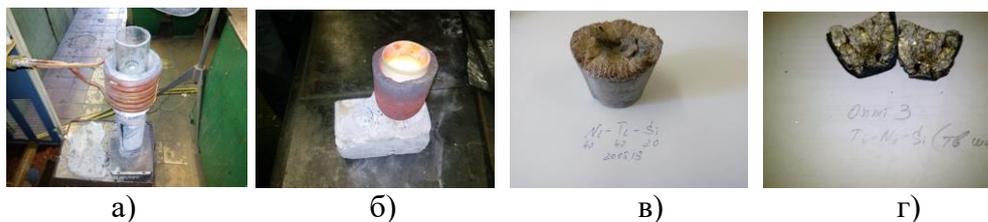


Рисунок 2- Этапы получения слитка комплексного силицида на индукционной печи.  
а- общий вид плавильной печи; б-расплав в алундовом тигле; в-слиток ; г-макроструктура ;

Методика и особенности плавки на высокоскоростной установке (а) описаны в работе [4]. В качестве шихты использовали кристаллический кремний, металлический никель и титан. Расчетное количество компонентов с учетом угара загружали в алундовый тигель и после расплавления (г) извлекали и охлаждали на воздухе (в). Макроструктуру полученного слитка оценивали на его изломах (г). Установлено, что такой вариант изготовления слитка силицида исключает возникновение пор, но при этом имеет место незначительная его неоднородность. Охлаждение аналогичного слитка комплексного силицида в специальном термостате позволило полностью устранить это явление.

Особенностью данного варианта получения слитков комплексного силицида является наличие значительных потерь кремния, никеля и особенно титана за счет угара в процессе плавки, что вызывало необходимость в корректировке добавок этих элементов.

Перспективным способом является вакуумная плавка. Известно [5,6], что при плавке в вакууме ряд физико-химических процессов имеет специфические особенности, а именно: интенсивно выделяются газы из металла, практически отсутствует окисление основных компонентов сплава и особенно титана, хрома и других активных элементов, что обеспечивает получение слитка с минимальным угаром элементов. При этом становится возможным эффективное удаление неметаллических включений. Такие преимущества делают вакуумно-индукционную плавку перспективной при изготовлении плотных и однородных слитков из различных сплавов.

В лабораторных условиях была апробирована технология получения слитка силицида в вакуумной индукционной печи мощностью 50 кВт и частой генерации 1-4 кГц. Это обеспечило скоростное расплавление исходных материалов при разряжении в плавильной камере 1-5 Па. С учетом особенностей вакуумной плавки были подобраны исходные материала произведен расчет шихты на состав комплексного силицида, содержащего Ti – 50 %, Ni – 20 %, Si – 30 %. На рисунке 3 приведены основные этапы получения слитка комплексного силицида с использованием вакуумной плавки.

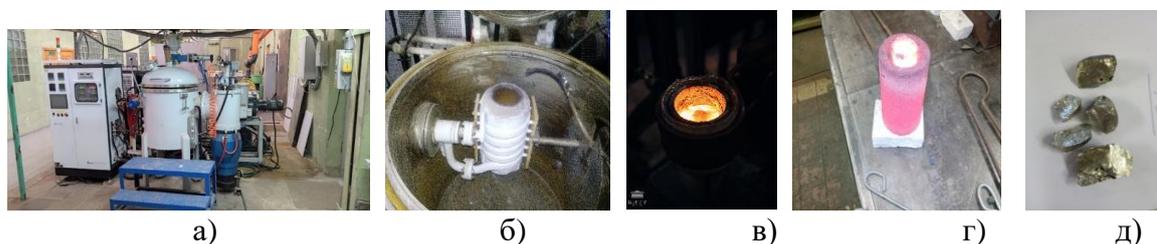


Рисунок 2 – Этапы получения слитка комплексного силицида, при вакуумной плавке

а- вакуумная индукционная печь; б- плавильный тигель в вакуумной камере; в-процесс плавки; г-горячий слиток силицида; д-куски силицида после дробления.

Расчетное количество кристаллического кремния, металлического никеля и титана загружалось в плавильный тигель вакуумной печи (а) и осуществлялась плавка (в) с последую-

щей разливкой полученного силицида в постоянную литейную форму. После завершения процесса кристаллизации горячий слиток извлекали из вакуумной камеры (г) и после полного охлаждения подвергали предварительному дроблению (д).

Установлено, что вакуумная плавка позволяет получать сплав силицида заданного химического состава за счет минимального окисления основных компонентов и особенно титана, при этом излом слитка имеет плотную однородную структуру (д).

Таким образом, в результате выполненных исследований проведен сравнительный анализ качественных характеристик слитков комплексного силицида, полученного по различным вариантам литейно-металлургических технологий. Установлено, что вакуумная плавка существенно улучшает качественные характеристики получаемых слитков за счет более плотной и однородной макроструктуры, легко поддающихся процессу дробления и измельчения. Это позволит получать на их основе порошки для последующего изготовления заготовок катодов-мишеней, используемых при нанесении защитных покрытий на изделия в том числе медицинского назначения.

### Список использованных источников

1. Ковалевич Э.В., Слуцкий А.Г., Иванов А.И., Пронькина А.Ю., Исследование процесса высокотемпературного синтеза силицидов

Материалы 15-ой Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике». – Минск, 2017, Т.1. – с.378

2. Иванов И.А., Слуцкий А.Г., Шейнерт В.А. Иванов А.И., Белый А.Н. Изготовление катодов-мишеней из композиционных силицидов для нанесения защитных покрытий с применением литейно-деформационной технологии журнал «Литье и металлургия» 2021г., № 2 – с. 68-75.

3. Раков, И. Г. Технологические особенности плавки комплексных силицидов / И. Г. Раков, П. Д. Хорольский, Д. С. Федорович; науч. рук.: В. А. Шейнерт, А. Г. Слуцкий // Новые материалы и технологии их обработки [Электронный ресурс] : сборник научных работ XXIII Республиканской студенческой научно-технической конференции, 21–22 апреля 2022 года / сост.: А. П. Бежок, И. А. Иванов. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 40-42.

4. Иванов И.А., Слуцкий А.Г., Шейнерт В.А., Белый А.Н Комплексный подход к решению технологической задачи получения катодов-мишеней из силицидов переходных металлов для вакуумных ионно-плазменных источников/ Журнал «Литье и металлургия» 2022г., № 3 – с. 83-90.

5. Слуцкий А.Г., Долгий Л.П., Луцки П.Е. Технологические особенности процессов, происходящих в расплаве при вакуумной индукционной плавке. Материалы 7 –ой Международной научно-практической конференции «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, Саратов, 2021. С 388-391.

6. Долгий Л.П., Особенности технологических процессов при вакуумной плавке / Л.П. Долгий, А.Г. Слуцкий, И.А. Касперович // Современные технологии для заготовительного производства. Сб. научных работ Республиканской НТК ППС, 2022г. стр. 152-153.

**Разработка модульной плавильно-литейной установки револьверного типа с вакуумным всасыванием**

Магистрант Ковальков А.В.

Научный руководитель - Немененок Б.М.

Белорусский национальный технологический университет

Ежегодно производится множество изделий из чёрного, легированного и цветного металла с образованием отходов собственного производства. Так же огромное количество оборудования и металлических изделий становятся непригодными для использования и превращаются в металлолом.

Переработка отходов собственного производства, позволяет снизить себестоимость продукции, т.к требует меньше энерго и трудозатрат, а сдача металлов на лом - экономически не эффективна.

Увеличение объемов потребления и расширение областей применения изделий из нержавеющей стали и сплавов на основе алюминия приводит к увеличению отходов из этих материалов в процессе их производства. Также растут объемы и номенклатура потребляемых для производства первичных материалов. Однако из всего перечня материалов только незначительная часть, как правило, многотонажная, а большая часть позиций востребована в незначительных количествах. В связи с этим возникают трудности со снабжением предприятий необходимыми металлами – либо приходится покупать большие объемы, с длительным сроком переработки, либо переплавивать при покупке малых партий. Таким образом решение задачи по переработке отходов собственного производства позволяет: снизить себестоимость продукции собственного производства; решить проблему снабжения предприятия металлами незначительных объемов потребления.

Данная задача может быть решена путём разработки модульной плавильно-литейной установки, которая позволит производить заготовки или конечные изделия из отходов собственного производства без закупки дефицитных позиций первичных материалов.

В настоящее время производство металлических изделий является одной из важнейших отраслей промышленности. Для получения качественных изделий необходимо использовать современное оборудование, которое позволяет получать высокую точность и повторяемость процесса. Одним из таких оборудований является модульная плавильно-литейная установка револьверного типа с вакуумным всасыванием.

Разработка данной установки была проведена с целью улучшения качества производства металлических изделий. Установка состоит из нескольких модулей, каждый из которых выполняет свою функцию. Основными модулями являются плавильный, литейный и вакуумный. Плавильный модуль предназначен для плавки металла, литейный – для заливки расплавленного металла в форму, а вакуумный – для удаления газов из расплавленного металла.

Основным преимуществом данной установки является возможность использования различных металлов и сплавов. Это достигается благодаря использованию различных плавильных и литейных камер, которые могут быть заменены в зависимости от требований производства. Кроме того, установка имеет высокую производительность и точность, что позволяет получать высококачественные изделия.

Одним из ключевых элементов установки является вакуумный модуль. Он позволяет удалить из расплавленного металла газы, которые могут негативно повлиять на качество изделия. Вакуумный модуль оснащен специальным насосом, который создает вакуум внутри литейной камеры. Это позволяет удалить из расплавленного металла газы, которые могут негативно повлиять на качество изделия.

Еще одним преимуществом данной установки является ее модульность. Каждый модуль может быть заменен или модифицирован в зависимости от требований производства. Это позволяет установке быть гибкой и адаптивной к изменяющимся требованиям производства.

Для МПЛУ характерны следующие технологические режимы плавки и литья:

- время плавки не более 20 с;
- масса отливки не более 80 г;
- работа установки без принудительного охлаждения системы и контроля температуры плавки;
- производительность установки:  $P=100\dots120$  отливок в час, при длительности одного цикла не более 30 с.

Однако, разработка данной установки имеет и некоторые недостатки. Один из них – высокая стоимость. Установка требует больших затрат на производство и установку, что может быть недоступно для некоторых предприятий. Кроме того, установка требует высокой квалификации персонала, что может быть проблемой для некоторых предприятий.

# **Машины и технология литейного производства**

Магистрант гр. 50424022 Дикун А.О.

Научный руководитель - Ровин С. Л.

Белорусский национальный технический университет

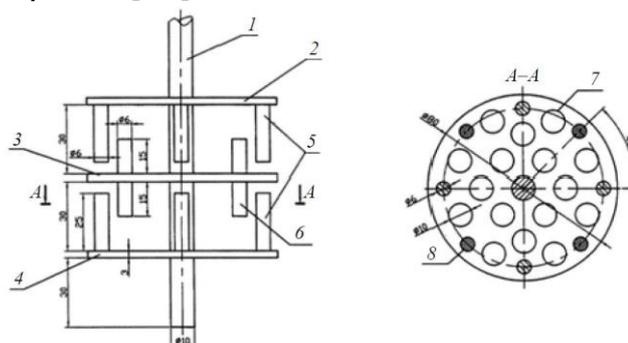
Одной из актуальных и технически сложных задач в современном литейном производстве является получение непрерывно литых крупногабаритных слитков из алюминиевых сплавов с заданными свойствами для последующего изготовления металлических профилей различных групп сложности методом экструзии.

Важнейшей характеристикой таких слитков является высокая пластичность (способность полученного слитка к деформации) при сохранении требуемой твердости и прочности. Во многом эти свойства определяются микроструктурой слитка: чем меньше размеры зерна, чем более гомогенной является структура по всему объему слитка, чем меньше она имеет дефектов, тем выше указанные свойства.

Корректировка структуры и указанных свойств возможна путем изменения химсостава сплава и режимов термообработки. Однако зачастую изменение состава не допускается требованиями ГОСТа или технической документации, а возможности термообработки уже исчерпаны.

В качестве альтернативы указанным традиционным методам можно рассматривать применение различных видов физико-механического воздействия на расплав с целью повышения балла зерна, устранения неоднородности и ликваций по объему слитка.

Одним из наиболее доступных и недорогих методов физико-механического воздействия на расплав является механическое перемешивание сплава. С помощью механического перемешивания повышается равномерность распределения легирующих элементов в матрице основного металла сплава. Данный способ обработки легко реализуем технологически. И при его применении не требуется подвергать расплав дополнительному нагреву и обработке расплава во время кристаллизации. Чем выше интенсивность перемешивания твердой фазы упрочняющего вещества в жидкой фазе основного металла, тем выше дисперсность армирующей фазы. Кроме того, высокая интенсивность перемешивания способствует равномерности распределения армирующего вещества по объему расплава. На рисунке 1 приведена одна из множества возможных конструкций специализированных механических мешалок, так называемого, механического завихрителя [1,2].



1 – ось, 2 – верхняя пластина, 3 – срединная пластина, 4 – нижняя пластина, 5 – внешние лопатки, 6 – внутренние лопатки, 7 – отверстия, 8 – места крепления внутренних лопаток

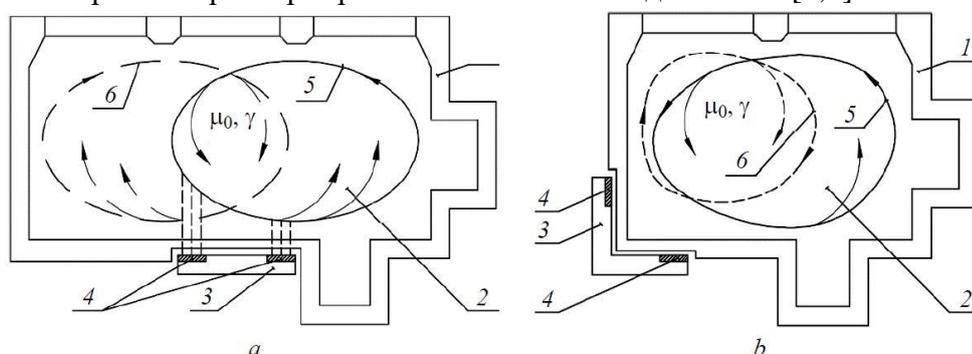
Рисунок 1 – Схема рабочего органа механического завихрителя порошковых материалов в расплав металла

Применение такого механического завихрителя позволяет эффективно вводить в алюминиевый расплав тугоплавкие частицы модификатора Ti-B, способствуя получению отливок

мелкозернистой структуры и равномерно распределенными включениями частиц модификатора. Данный механический завихритель способствовал уменьшению размеров зерна с 900 мкм до 400 мкм. А предел прочности образцов возрос со 140 до 220 МПа.

Еще одним эффективным методом воздействия на структуру слитка является обработка электромагнитными полями. Воздействие электромагнитными полями на расплавы во время добавления в них легирующих элементов позволяет снизить средний размер зерна, уменьшить концентрацию примесей на границах зерен, добиться равномерности и однородности структуры получаемого сплава, противостоять образованию столбчатой структуры. Одно из технологических решений воздействия на расплав электромагнитными полями – это электромагнитное перемешивание (ЭМП).

Для получения максимальной однородности и равномерного распределения модификаторов по всему объёму расплава, необходимо обеспечить нелинейное воздействие магнитного поля. Для этого воздействие ЭМП расплав производится сразу несколькими полями (рис. 2) разного рода (пульсирующие и бегущие), а также имеющими разное расположение источников магнитного поля по отношению к объёму расплава. Важно обеспечить перемешивание всего объема и в обе стороны при изменении интенсивности и траектории полей. В результате применения такой обработки размер зерна снижается вплоть до 95 мкм [3,4].



1 – миксер, печь; 2 – расплав; 3 – источник бегущего электромагнитного поля; 4 – источники пульсирующих электромагнитных полей; 5 – траектории движения расплава под действием бегущего электромагнитного поля и пульсирующих полей разной интенсивности; 6 – траектории движения расплава при изменении направления бегущего поля

Рисунок 2 – Миксер с источником электромагнитного поля: *a* – источник электромагнитного поля у прямолинейной части боковой стороны миксера; *b* – источник электромагнитного поля у угловой части боковой стороны миксера.

Для достижения дополнительного эффекта используют обработку расплава перед началом или в процессе кристаллизации вибрацией и ультразвуком.

Однако применение вибрационного воздействия механическими ударниками различных конструкций не желательно, так как эффективность такого метода нестабильна, однако оказывает существенное влияние на конструкцию установки и ее фундамент, создает дополнительные вредности для обслуживающего персонала.

Помимо ударной вибрации существует также и ультразвуковая обработка, которая оказывает на порядок менее вредное воздействие на само оборудование и на окружающие объекты и работников, но является одним из самых эффективных способов воздействия на расплав. Установки ультразвуковой обработки компактны, относительно недороги и эффективны.

Данный метод позволяет обеспечить дегазацию расплава, уменьшение среднего размера зерна в структуре слитка вплоть до 80 мкм и деагломерацию частиц [5,6].

Для достижения требуемых результатов воздействия на расплав и формирование структуры слитка необходимо правильно подобрать параметры волновода и режима его ультразвуковой обработки: в первую очередь частоту, интенсивность ультразвука и продолжительность обработки

Типовая схема установки ультразвуковой обработки показана на рисунке 3.

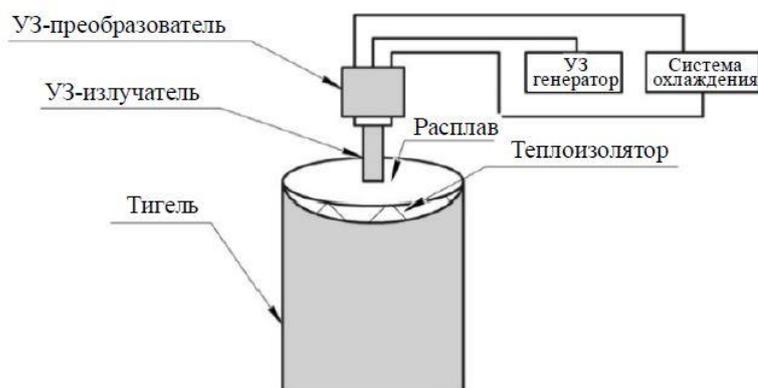


Рисунок 3 – Типовая схема ультразвуковой обработки расплава

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Grandfield, J. Direct-Chill Casting of Light Alloys / J. Grandfield [и др.] – John Wiley & Sons, 2013. – 424 с.
2. Vorozhtsov, S. A. The application of external fields to the manufacturing of novel dense composite master alloys and aluminum-based nanocomposites / S. A. Vorozhtsov [и др.] – Metal. Mater. Trans. A: Phys. Metal. Mater, 2015. – V. 46. No. 7. 2870 – 2875 с.
3. Vorozhtsov, S. Ex situ introduction and distribution of nonmetallic particles in aluminum melt: Modeling and experiment / S. Vorozhtsov, [и др.] – JOM, 2017. – No. 12. 2653–2657 с.
4. Павлов, Е. А. Магнитогидродинамическое перемешивание алюминиевых расплавов в миксерах сопротивления. Е. А. Павлов [и др.] // Сибирский журнал науки и технологий, 2006. – Т. 5. № 12. С. 201–205 с.
5. Sillekens, W. H. The ExoMet Project: EU/ESA research on high performance light metal alloys and nanocomposites / W. H. Sillekens [и др.] – Metal. Mater. Trans. A: Phys. Metal. Mater. Sci, 2014. – No 8. 3349–3361 с.
6. Puga, H. Influence of ultrasonic melt treatment on microstructure and mechanical properties of AlSi9Cu3 alloy / H. Puga [и др.] – J. Mater. Proc. Technol, 2011. – No. 211. P. 1729–1735.

## **Исследование влияния противопригарного покрытия на поведение стержней при высоких температурах**

Студенты гр. 10404119 Бартошик А.А, Новацкий Д.Д.  
Научный руководитель - Коренюгин С.В.  
Белорусский национальный технический университет

### ***Введение***

Дефекты отливок, связанные с недостаточным уровнем термомеханических свойств (механических свойств смесей при тепловом и силовом взаимодействии отливки и формы), — это ужимины, просечки, механический пригар, засоры, нарушения геометрии из-за деформаций, горячие трещины и остаточные напряжения. Современный уровень знаний о механизме и факторах их образования позволяет в качественной форме сформулировать условия, при соблюдении которых можно ожидать получение отливок без дефектов. Эти условия включают в первую очередь определенные требования к термомеханическим свойствам. Исследования в данной области свидетельствуют о том, что она должна включать коэффициент теплового расширения, модуль упругости, общую и поверхностную прочность, термостойкость, деформационную способность в нагретом состоянии.

Просечка, возникает на отливках при использовании стержней и реже — форм из песчано-смоляных смесей горячего или холодного отверждения в виде тонких гребешков ближе к углам. Просечки возникают в результате заполнения металлом трещин, образующихся в стержнях под влиянием термических напряжений. [1].

Для исключения просечки в литературных источниках предлагается применение целого ряда мер [2]. Одна из предлагаемых мер – использование различного рода противопригарных покрытий.

### ***Методика проведения испытаний***

Контроль свойств стержней и влияние противопригарного покрытия при высоких температурах проводился с применением разработанной ранее методики на приборе модели LRu-DMA компании «Multiserw Morek» (Польша), который позволяет исследовать два важных параметра, влияющих на образование просечки и качество отливки: прочность стержневых смесей (измеряется прочность на изгиб) и деформации (измеряется величина прогиба образца) при высоких температурах, в том числе деформации, связанные с фазовыми и температурными расширениями при нагреве.

При проведении испытаний контролируются и фиксируются следующие параметры: температура в зоне нагрева образца, продолжительность нагрева и деформация – перемещение свободного конца образца. Изгиб образца определяется с точностью до 0,001 мм. [3]

Поведение образцов, окрашенных различными противопригарными красками при нагреве, сравнивалось с поведением исходного – неокрашенного образца.

### ***Результаты испытаний***

В работе использовались два типа противопригарного покрытия - Perma Cote 100S (на спиртовой основе) и Perma Cote 327W (на водной основе).

Исследования окрашенных образцов проводилось при высокотемпературном нагреве (900°C) с составом образцов состоящим из 100% свежего песка, 1% компонента А и 1% компонента В. Все образцы окрашивались методом окунания, вязкость краски составляла 14-16 секунд по ВЗ-4.

Perma Cote 100S – цирконовое антипригарное покрытие на спиртовой основе для покрытия форм и стержней. Данное покрытие используется для песчаных форм, для крупных или сложных отливок из серого и высокопрочного чугуна, и стали. Покрытие используется так же для форм из большинства связующих систем, обладает высокой огнеупорностью.

Все образцы, окрашенные данным антипригарным покрытием, имели деформацию в пределах от 3,2 до 3,6 мм. В ходе испытания образец не имел каких-либо признаков разрушения, однако, это не является основой для исключения просечек в отливках, так как, деформация образцов большая, что может приводить к дальнейшему растрескиванию в тонких частях стержня.

Результаты испытаний краски Perma Cote 100s (на спиртовой основе) представлены на рисунке 1.

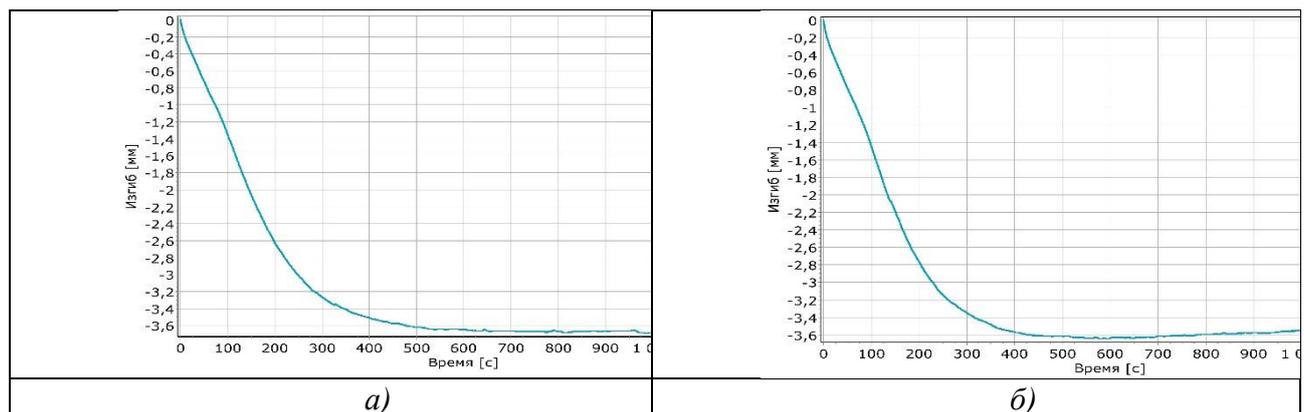


Рисунок 1 - Графики деформации образцов, окрашенных краской Perma Cote 100s (спирт): *а* – состав №1 образец 1, *б* – состав №1 образец №2.

Perma Cote 327W – покрытие для литейных форм и стержней, используемых для литья серого чугуна, чугуна с шаровидным графитом, ковкого чугуна и цветных металлов. Изготавливается в виде густой пасты с графитовым и алюмосиликатным наполнителем. Данное покрытие применяется для форм и стержней, изготовленных различными способами, такими как Cold-box, Shell-процесс или Фуран-процесс.

В образцах, окрашенных данной антипригарной краской, был выявлен обратный прогиб образца, в противоположную сторону (в сторону нагрева). В процессе испытания, величина прогиба составила 0,2 – 0,4 мм (рис. 2, *а*, *б*). Данное замечание может свидетельствовать о хорошей теплопроводности краски на водной основе.

Результаты испытаний краски Perma Cote 327w представлены на рисунке 2.

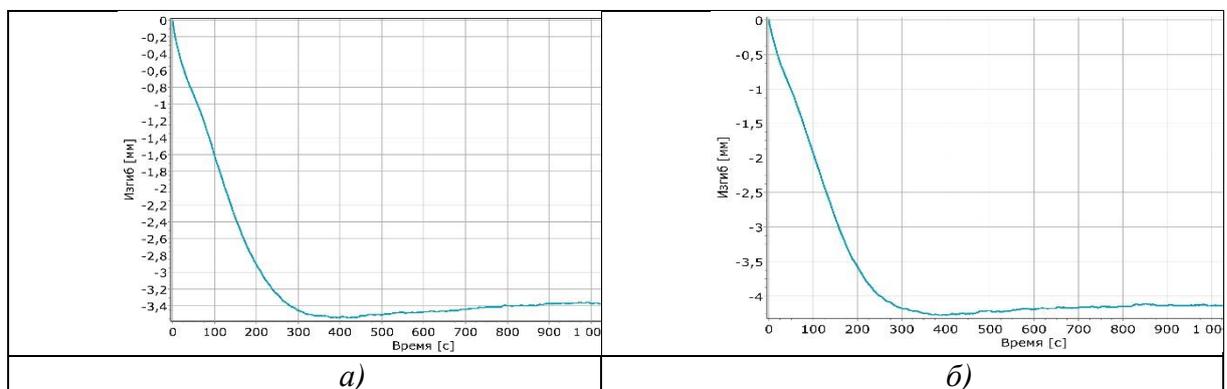


Рисунок 2 - Графики деформации образцов, окрашенных краской Perma Cote 327W: *а* – состав №1 образец 1, *б* – состав №1 образец №2.

## **Выводы**

1. Установлено, что антипригарная краска на спиртовой основе (Perma Cote 100S) показывает значительно лучшие результаты при высокотемпературном нагреве (900°C) и последующей деформации, чем краска на водной основе (Perma Cote 327w).

2. Использование антипригарной краски на спиртовой основе снижает скорость прогрева и его разупрочнение, значительно уменьшая вероятность образования поверхностных дефектов и трещин при высокотемпературном нагреве.

3. Несмотря на различие основы антипригарных красок, низкую вероятность потери прочности стержня, возможность образование просечки сохраняется.

## **Список используемых источников**

1. Жуковский, С. С. Прочность литейных форм / С. С. Жуковский. – М. : Машиностроение, 1980. – 290 с.

2. Бузби Э. Д. Оценка контроля дефектов типа просечек в чугунных отливках, изготовленных с использованием КОЛД-БОКС-АМИН стержней // ИТБ "Литьё Украины", №№1(101) - 2(102) 2009 г.

3. Коренюгин С. В., Ровин С. Л. Методика проведения высокотемпературных исследований стержневых противопригарных покрытий. - Труды Международной научной и научно-технической конференции «Ресурсо-и энергосберегающие инновационные технологии в литейном производстве», Ташкент, 23-2 марта 2022г.

## **Причины возникновения просечки и существующие способы борьбы с данным дефектом**

Студенты гр. 10404119 Бартошик А. А, Новацкий Д. Д.  
Научный руководитель - Коренюгин С. В.  
Белорусский национальный технический университет

### ***Введение***

Литературные ссылки на дефект типа просечек встречаются начиная с 40-х годов прошлого века. Ряд статей с 40-х и до середины 60-х годов 20 века концентрируются на описании самого дефекта и рассматривают влияние различных факторов на снижение появления данного дефекта, в то время как более поздние работы сфокусированы больше на поиске решений для избавления от просечек. Очевидно, что природа дефекта понята уже достаточно давно, а меры по предотвращению просечек предлагались уже многие годы, причем некоторые из них заслуживают пристального внимания.

Целью данной работы не является проведение обширного литературного обзора или перечисление всех существующих методов решения этой проблемы. Наоборот, многие из существующих работ в настоящее время являются настолько устаревшими, а применявшиеся в них связующие системы сейчас имеют ограниченное применение (например, масляные смеси или карбамидо-фурановые смеси, отверждаемые в горячей и холодной оснастке), что полученные результаты, как правило, не соответствуют технологии колд-бокс-амин процесса, являющейся в настоящее время самой распространенной при производстве стержней.

### **Причины возникновения просечки**

В основе механизма образования просечек лежит свойство кварца претерпевать полиморфные превращения в процессе нагревания, основными из которых являются следующие:  $\beta$ -кварц при 573 °С превращается в  $\alpha$ -кварц с изменением объема на 0,8%, при 870 °С образуется  $\alpha$ -тридимит с объемным расширением 14,7% и, наконец,  $\alpha$ -тридимит при температуре 1470 °С переходит в  $\alpha$ -кристобалит с увеличением объема на 4,7% [1]. На объемные изменения, вызванные фазовыми превращениями, накладываются термические расширения зерен наполнителя. Стержень и форма в процессе заливки, кристаллизации и охлаждения расплава прогреваются неравномерно и градиент температур между их поверхностью и внутренними областями зачастую достигает сотен градусов. Все это вместе создает условия для возникновения огромных растягивающих напряжений в поверхностных слоях формы и стержня, контактирующих с жидким расплавом. В результате происходит растрескивание и разрушение поверхностного слоя формы или стержня, и, если расплав в примыкающей зоне еще не кристаллизовался, то образовавшиеся трещины заполняются жидким металлом, образуя просечки. Учитывая, что наибольшие температурные воздействия в литейной форме испытывает стержень, который со всех сторон омывается расплавом, наиболее характерен дефект по просечке для внутренних полостей, оформленных стержнем, особенно для отливок, имеющих относительно большую толщину стенки и достаточно массивный стержень со сложной геометрией [2].

### ***Анализ существующих методов устранения просечки***

Первый шаг в оценке способности методов борьбы с просечкой на самом деле включает в себя анализ того, какие виды отливок имеют дефекты просечки и какие решения используются (и были опробованы).

Один из подходов заключался в том, чтобы провести опрос по литейным заводам и увидеть масштабы проблемы и применяемые решения, а также эффективность этих решений. Такой опрос был проведен для тех литейных цехов, в которых использовались феноло-уретановые стержни, с вопросами о частоте возникновения просечки, методах противодействия и предполагаемой степени успеха.

Добавки, о которых сообщают, что используются сегодня, несколько менее разнообразны, чем сообщается в литературе. Это неудивительно, поскольку некоторые из добавок, предложенных в литературе, не особенно совместимы с фенольными уретановыми связующими. Удивительно, что некоторые предприятия не используют никаких добавок (хотя это относится и к тем литейным цехам, у которых нет проблем с просечкой), причем некоторые из них достигают некоторого успеха, используя только покрытия. Из оставшихся наиболее популярными добавками оказались смеси декстрина и древесной пыли или оксида железа, за которыми следовали гранулированный оксид железа с крахмалом, порошкообразный оксид железа, угольная пыль и минеральная смесь [3].

### **Вывод**

Цель использования противопопригарных покрытий видится более очевидной. Предпосылкой является тот факт, что слой противопопригарного покрытия может быть очень гибким и, таким образом, обеспечивать сопротивление расширению нижележащего слоя песка и препятствовать образованию открытых трещин даже при повреждении связей связующих материалов в стержне. [4]

### **Список использованных источников**

1. Кукуй Д. М. Теория и технология литейного производства. Формовочные материалы и смеси: учебн. пособие / Д. М. Кукуй, Н. В. Андрианов. -Мн. : БНТУ, 2005. -391 с.
2. Комаров О. С. Просечки на поверхности чугунных отливок / О. С. Комаров, Е. В. Розенберг, А. Н. Карась, А. М. Невмержицкий, А. Н. Апанасевич // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 37–42.
3. Берч Т. Борьба с просечками при помощи впитывающих покрытий с активными ингредиентами. [Электронный ресурс] / Т Берч, М. Дж. Хаанепен // «Союз литье» информационный ресурс по литейному производству – Режим доступа: <https://lityo.com.ua/borba-s-prosechkami-pri-pomoshchi-vpityvayushchikh-pokrytij-s-aktivnymi-ingredientami> – дата доступа: 25. 11. 2019
4. Бузби Э. Д. Оценка контроля дефектов типа просечек в чугунных отливках, изготовленных с использованием КОЛД-БОКС-АМИН стержней // ИТБ "Литье Украины", №№1(101) - 2(102) 2009 г.

## **Современные материалы и технологии для изготовления модельной оснастки в условиях индивидуального и мелкосерийного производства**

Студент группы 10404129 Воропаев А.Н.  
Научный руководитель - Коренюгин С.В.  
Белорусский национальный технический университет

### **Модельная оснастка**

**Модельной оснасткой** - называют разнообразные приспособления и инструменты, используемые для изготовления литейной формы, а в дальнейшем - для изготовления отливки.

#### **Преимущества использования модельной оснастки**

- Простота ремонта;
- Защита от износа;
- Устойчивость к внешним воздействиям.

### **Технологии производства**

Модельная оснастка – это целый комплекс различных инструментов, применяемых при изготовлении литейной формы, а в дальнейшем для производства отливки. Разработкой проектов и последующим выпуском занимается специализированное модельное производство, где применяются самые современные технологии и материалы. Изначально проект разрабатывается в трехмерном виде с помощью компьютера, чтобы наиболее подробно изучить все части будущей модели. Непосредственно сами модели, а также стержневые ящики, изготавливаются на специальных станках с ЧПУ или посредством 3D принтера [1].

Изготавливается оснастка для литья на основе холодно-твердеющих смесей (ХТС), таких как древесноволокнистая, модельная плита и композитные материалы. Чаще всего выпускается алюминиевая, деревянная, пластиковая или чугунная оснастка.

Ресурс, который может обеспечить модельная оснастка, может варьироваться в пределах от 1000 до 15000 съемов в зависимости от материала оснастки. Самыми прочными материалами являются чугун, сталь и алюминий, после них идет пластмасса, а затем уже дерево и фанера.

#### **Материалы, используемые для изготовления модельной оснастки:**

- модельный пластик различной твердости;
- стеклопластик (контактная формовка);
- МДФ с последующей пропиткой и обработкой;
- пенополистирол твердых марок;
- заливочные компаунды;
- Фанера.

#### **Использование модельной оснастки из различных материалов:**

## МДФ

Самый бюджетный и простой вариант - модельная оснастка из МДФ [1].

После завершения фрезеровки, для придания высокой твердости и повышению водоотталкивающих свойств поверхностному слою модели, ее рабочие поверхности подвергаются пропитке особыми смолами. Оснастка из МДФ подходит для выполнения небольшого числа отливок. Чаще всего этот материал используется при изготовлении оснастки для художественного литья.

## Дерево

Дерево считается классическим, легким и легкообрабатываемым материалом. Поэтому из дерева очень часто изготавливается модельно-стержневая оснастка. Для производства модельной оснастки используется исключительно качественная и идеально высушенная древесина, а тонкие художественные детали требуют использования ценных пород твердой древесины. Такие сложности приводят к увеличению стоимости изготовления литейной оснастки из древесины по сравнению с оснасткой из МДФ. Конечно, в некоторых случаях модельная оснастка из древесины просто незаменима.

Например, при изготовлении габаритных изделий деревянная оснастка предпочтительней из-за меньшего веса.

## Пластик

Оптимальный вариант современного производства - изготовление модельной оснастки из пластика. В современной химической промышленности производится огромное количество видов полимеров, которые предназначены для производства литейной оснастки, в форме пасты, заливочного состава или плиты стандартного размера. Подобные материалы очень удобно использовать – они обладают однородной структурой и высокими эксплуатационными характеристиками.

## Металл

Металлическая литейная технологическая оснастка является самым надежным и долговечным вариантом, хотя и самым дорогостоящим, так как обрабатывать металл намного тяжелее, нежели пластик либо дерево. Подобную оснастку практически невозможно повредить.

### **Модельная оснастка в условиях мелкосерийного и индивидуального производства**

Всего существует несколько способов изготовления модельной оснастки:

1. модели могут быть изготовлены литьем;
2. штамповкой;
3. на токарно-фрезерном оборудовании;
4. вручную;

Деревянные модели могут быть успешно применены в мелком и единичном производстве, для изготовления единичных, разовых партий деталей, уникальных деталей, а также для пробного экспериментального производства [2].

### **Проектирование модельной оснастки. Назначение модельной оснастки и технологические требования к ней**

Модельная плита служит для монтажа на ней моделей изготавливаемой отливки, моделей литниковой системы и других деталей, которые в совокупности формируют внутреннюю полость литейной формы, литниковые ходы и другие детали литниковой системы. Формовка литейной формы производится на модельной плите. Модельная плита должна отвечать следующим основным требованиям:

- высокая точность размерной цепи, связывающей единицы крепежных элементов;
- достаточно высокая гладкость поверхностей;
- высокая плоскостность (минимальные допуски на отклонение поверхностей от геометрической плоскости) во избежании образования заливов металла по линии разъема формы;
- долговечность;
- Ремонтопригодность

### **Единичное производство**

Единичное производство — представляет собой форму организации производства, при которой различные виды продукции изготавливаются в одном или нескольких экземплярах (штучный выпуск).

Основные особенности единичного производства заключаются в том, что программа завода состоит обычно из большой номенклатуры изделий различного назначения, выпуск каждого изделия запланирован в ограниченных количествах.

### **Серийное производство**

Серийное производство — это форма организации производства, для которой характерен выпуск изделий большими партиями (сериями) с установленной регулярностью выпуска. Серийное производство — наиболее распространенный тип производства.

Характеризуется постоянством выпуска довольно большой номенклатуры изделий. При этом годовая номенклатура выпускаемых изделий шире, чем номенклатура каждого месяца. Это позволяет организовать выпуск продукции более или менее ритмично. Выпуск изделий в больших или относительно больших количествах позволяет проводить значительную унификацию выпускаемых изделий и технологических процессов, изготавливать стандартные или нормализованные детали, входящие в конструктивные ряды, большими партиями, что уменьшает их себестоимость. Серийный тип производства характерен для станкостроения, производства проката черных металлов и т. п.

### **Заключение**

Для мелкосерийного производства характерна оснастка, выполненная чаще всего из МДФ, дерева, металла и пластика. Оснастка из пластика является наиболее оптимальной в виду высоких эксплуатационных характеристик. Однако следует также учитывать серийность производства, например при единичном производстве можно сделать и деревянную оснастку т. к. у нас изготавливается продукт в нескольких экземплярах.

### **Список используемых источников**

1. Модельная оснастка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://forma-tech.ru/category/proizvodstvo-izdelij/liteynaya-osnastka/> Дата доступа: 31. 03. 2023.
2. Проектирование оснастки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studbooks.net/2542014/tovarovedenie/proektirovanie\\_osnastki](https://studbooks.net/2542014/tovarovedenie/proektirovanie_osnastki) Дата доступа: 31. 03. 2023.

**Разработка методов выбора технологических элементов с различными теплофизическими свойствами для снижения литейных дефектов, возникающих при изготовлении крупногабаритных стальных отливок**

Студентка гр. 10405520 Ткачева А.А.  
Научный руководитель - Фасевич Ю.Н.  
Белорусский национальный технический университет

Получение качественной бездефектной крупногабаритной стальной отливки является в настоящее время весьма сложной, зачастую неразрешимой задачей. Вызвано это тремя обстоятельствами: геометрией отливки, теплофизическими свойствами формовочных и стержневых материалов, литейными и физическими свойствами материала отливки стали.

С точки зрения получения качественной бездефектной отливки технологичной является конструкция отливки без массивных узлов, прямых углов, резких переходов от одной части отливки к другой.

Промышленные крупногабаритные отливки, как правило, имеют весьма сложную геометрию, со стенками различной толщины, отдельными массивными частями, прямыми углами и т. д.

В процессе затвердевания такой неравностенной отливки возникает продольный градиент температур между отдельными частями отливки вследствие различной скорости охлаждения, приводящей к неравномерной усадке. Возникают внутренние литейные напряжения, приводящие к образованию горячих трещин, усадочной пористости, утяжин и других дефектов.

Ситуация усугубляется тем, что сталь – нетехнологичный материал, имеет большую литейную усадку и плохую жидкотекучесть при заполнении формы. Это также оказывает большое влияние на процесс формирования отливки [1].

Формовочные смеси (оформляющие наружный контур отливки) и стержневые смеси (формирующие внутренний контур отливки) имеют различные теплофизические свойства, изменяющиеся по нелинейному закону при прогреве формы и стержня в процессе затвердевания отливки. Это приводит к возникновению поперечного температурного градиента по сечению массивной части отливки – к несимметричному охлаждению. Более горячие слои поверхности отливки испытывают напряжения сжатия, а более охлажденные слои – напряжения растяжения. Продольные и поперечные напряжения суммируются и могут превышать предел прочности материала при данной температуре. Поэтому сложные и многогранные процессы, протекающие в процессе затвердевания стальной крупногабаритной отливки, приводят к возникновению многочисленных дефектов – горячих трещин, усадочной пористости, утяжин, ужимин, усадочных раковин, сетовидной пористости и др.

Решение этой проблемы в литейном производстве известно давно – организация одновременного затвердевания всех частей отливки путем использования холодильников, теплоизолирующих вставок, прибылей и других элементов, регулирующих процесс затвердевания.

Выбор массы, размеров, теплофизических характеристик и других свойств этих элементов в настоящее время выполняется на основе производственного опыта. Эти рекомендации носят частный характер и не учитывают всей сложности процесса формирования структуры и свойств стальной крупногабаритной отливки.

Поэтому на практике для сложных крупногабаритных стальных отливок не удается получить удовлетворительное для практики решение, как следствие, наблюдается высокий процент дефектов и брака.

Решение этой весьма сложной производственной задачи возможно только на основе учета всех процессов, протекающих при затвердевании отливки в сложной трехмерной системе «форма-отливка-стержень».

Предполагается, что для решения этой сложной научно-практической задачи будут разработаны методы компьютерного моделирования, позволяющие проанализировать тепловые, гидродинамические, усадочные и деформационные процессы, протекающие при формировании отливки в трехмерной системе «форма-отливка-стержень», и на этой основе разработать методы выбора технологических элементов для управления процессом формирования отливки [2].

При выполнении исследования планируется разработать методы выбора технологических элементов с различными теплофизическими свойствами для снижения литейных дефектов, возникающих при изготовлении крупногабаритных стальных отливок, что позволит:

- предложить новые подходы для управления процессом затвердевания отливки с помощью выбора технологических элементов с необходимыми теплофизическими свойствами (холодильников, теплоизолирующих вставок, прибылей) и положения их на проблемных участках формы;

- снизить расход металла и энергозатраты на получение крупногабаритных отливок, увеличить выход годного литья.

### **Список использованных источников**

1. Анализ процессов формирования отливок литьем в формы, полученных с учетом теплофизического режима заполнения / Ю. Н. Фасевич // 75-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов, аспирантов БНТУ, / – Минск : БНТУ, 2022. - С. 55-59;

2. Практическая реализация применения алгоритма проектирования для управления процессом структурообразования отливок / Ю. Н. Фасевич, И. Н. Ушакова // 74-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов, аспирантов БНТУ, / сост. : А. П. Бежок, И. А. Иванов. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 31.

**Современные материалы и технологии для изготовления  
модельной оснастки в условиях индивидуальных и  
мелко серийного производства**

Студент гр. 10404129 Шевченко Г. В.  
Научный руководитель - Ровин С. Л.  
Белорусский национальный технический университет

Одним из наиболее распространенных материалов для изготовления модельной оснастки является пластмасса. Пластмасса обладает высокой прочностью и легкостью, что делает ее отличным выбором для создания моделей с высокой детализацией. Также пластмасса может быть использована для изготовления большого количества деталей, что позволяет сократить время и затраты на производство. Другой популярный материал для модельной оснастки – это металл. Металлическая оснастка обеспечивает высокую точность и долговечность. Технологии лазерной резки и фрезерования позволяют создавать сложные формы, что делает металлическую оснастку идеальным выбором для производства сложных изделий.

Современные технологии для изготовления модельной оснастки также включают в себя 3D-печать. 3D-печать позволяет создавать модели оснастки любой сложности и формы, причем с высокой точностью. Быстрый процесс 3D-печати также позволяет сократить время на производство оснастки и, следовательно, на производство конечного изделия. Кроме того, для создания модельной оснастки могут использоваться такие технологии, как компьютерное управление обработкой материалов (CNC) и электроэрозионная обработка (EDM). Технология CNC позволяет создавать оснастку из любого материала с высокой точностью и повторяемостью. Электроэрозионная обработка, с другой стороны, используется для создания очень мелких деталей, которые могут быть трудно изготовить другими способами.

Кроме того, обработка поверхности с помощью технологии электрохимического полирования (ЕСП) также может улучшить качество и точность оснастки. Эта технология позволяет устранить поверхностные дефекты, такие как микротрещины, а также сгладить поверхность, что уменьшает сопротивление при снятии отливки и улучшает ее точность.

3D-печать является одним из самых эффективных методов создания модельной оснастки. Она позволяет быстро и точно создавать трехмерные объекты, используя цифровую модель.

В современном литейном производстве актуальной остается проблема стойкости литейной оснастки. Современные RP-технологии, вполне могут выступить в качестве альтернативы существующему положению дел. Для построения твердотельной модели оснастки используется технология послойного нанесения ABS пластика. Выбор данного пластика в качестве материала для литейной оснастки показал значительное превышение его эксплуатационного ресурса над литейной оснасткой, изготовленной из древесины.

В современном литейном производстве актуальной остается проблема обеспечения достаточного эксплуатационного ресурса литейной оснастки.

Традиционное решение указанной проблемы тесно связывают с серийностью выпуска литья, поскольку именно она предопределяет экономическую целесообразность выбора того или иного материала и технологии для изготовления оснастки, которые могли бы обеспечить ее достаточной стойкости к износу и сохранение геометрии без риска получения брака отливки [1].

В массовом и крупносерийном производстве литья модельный комплект, как правило, изготавливается из металлических сплавов (стали, чугуна, алюминиевых сплавов). Это обусловливается тем, что оснастка, изготовленная из металла, более износостойкая, не деформируется под воздействием формовочной или стержневой смеси, способна выдержать большое

число съёмов. Однако ее недостатками являются высокая цена и существенная трудоемкость изготовления. Древесина как материал моделей широко применяется в мелкосерийном и индивидуальном производстве отливок. Она легко поддается обработке, обладает низкой стоимостью, но быстро изнашивается при контакте с формовочной и стержневой смесями и весьма чувствительна к атмосферной влаге.

В этой ситуации безусловного внимания заслуживают альтернативные современные материалы, например, пластмассы, полимеры, композиты и т. п. Литейная пластиковая оснастка занимает промежуточное положение между металлической и деревянной, выигрывая у них в соотношении "скорость изготовления/стоимость".

Количество съёмов для пластиковой оснастки имеет достаточно широкий интервал и может варьироваться от 200 до 30000. Благодаря применению специальных добавок при изготовлении полимерных материалов литейная оснастка из пластика значительно повышает свою стойкость к ударной нагрузке и абразивному износу. Однако использование пластика в качестве материала для литейной оснастки ограничено в первую очередь ценой на материал. Кроме того для изготовления пластмассовой оснастки необходимо специальное оборудование [2].

В настоящее время многие ограничения на пути широкого применения в производстве литейной оснастки из пластмасс уходят на второй план, особенно если речь идет о выпуске мелких серий отливок ответственного назначения со сложной геометрией.

Решение этой проблемы во многом способствует нарастающая популярность так называемых технологий быстрого прототипирования Rapid Prototyping (RP – технологий) [26].

Быстрое прототипирование - это быстрый технологический процесс создания точных копий изделия или образцов для демонстрации их внешних характеристик.

Различают следующие методы быстрого прототипирования [27]:

Стереолитография (SLA - Stereo Lithography Apparatus)

Это самый первый и наиболее распространенный метод прототипирования благодаря сравнительно невысокой стоимости прототипа.

Принцип метода стереолитографии заключается в послойном отверждении жидкого фотополимера.

Лазерный луч, направляемый сканирующей системой, смещается вниз по слоям с шагом 0,025-0,3 мм. При этом методе применяется достаточно твердый, но хрупкий полупрозрачный материал. Материал легко обрабатывается, склеивается и окрашивается, обеспечивая хорошее качество моделей.

Нанесение термопластов (FDM - Fused Deposition Modeling)

Используются нити из АБС (акрилонитрилбутадиенстирол), поликарбоната или воска. Свойства используемых пластиков очень близки к конструкционным маркам. Термопластичный моделирующий материал подается через выдавливающую головку с контролируемой температурой, нагреваясь там до полужидкого состояния. Головка наносит материал очень тонкими слоями на неподвижное основание с высочайшей точностью. Последующие слои ложатся на предыдущие, отвердевают и соединяются друг с другом. Технология применяется для получения единичных образцов изделий, по своим функциональным возможностям приближенных к серийным, а также при производстве выплавляемых моделей для литья металлов.

Склеивание порошков (Binding powder by adhesives)

Используются крахмально-целлюлозный порошок и жидкий клей на водяной основе, который поступает из струйной головки и связывает частицы порошка, формируя контур модели. По окончании построения излишки порошка удаляются. Для увеличения прочности модели, имеющиеся пустоты могут быть заполнены жидким воском. Такие технологии позволяют не просто создавать 3D-объекты произвольной формы, но еще и раскрашивать их.

Лазерное спекание порошков (SLS - Selective Laser Sintering)

В SLS-технологии в качестве рабочего материала используются порошковый пластик, металл или керамика, близкие по свойствам к конструкционным маркам.

На поверхность наносится тонкий слой порошка, который затем спекается лазерным лучом, формируя твердую массу, соответствующую сечению 3D-модели и определяющую геометрию детали. SLS - это единственная технология, которая может быть применена для изготовления металлических деталей и формообразующих для пластмассового и металлического литья. Прототипы из пластмасс обладают хорошими механическими свойствами, могут быть использованы для создания полнофункциональных изделий[3].

Моделирование при помощи склейки (LOM - Laminated Object Manufacturing)

Слой прототипа создается при помощи ламинирования бумажного листа. Контур слоя вырезается лазером, а поверхность, которую нужно затем удалить, режется лазером на мелкие квадратики. После извлечения детали мелко порезанные излишки материала легко удаляются. Структура полученного прототипа похожа на древесную, боится влаги.

Технология струйного моделирования (IJM Ink Jet Modelling)

Головка устройства, содержащая от двух до 96 сопел наносит модельный и поддерживающий материал на плоскость слоя. После нанесения слоя могут проводить его фотополимеризация и механическое выравнивание.

В качестве поддерживающего материала обычно используется воск, а в качестве модельного - широкий спектр материалов, очень близких по свойствам к конструкционным термопластам. Данный метод позволяет получать прозрачные и многоцветные прототипы с различными механическими свойствами: от мягких, резиноподобных до твердых, похожих на пластики.

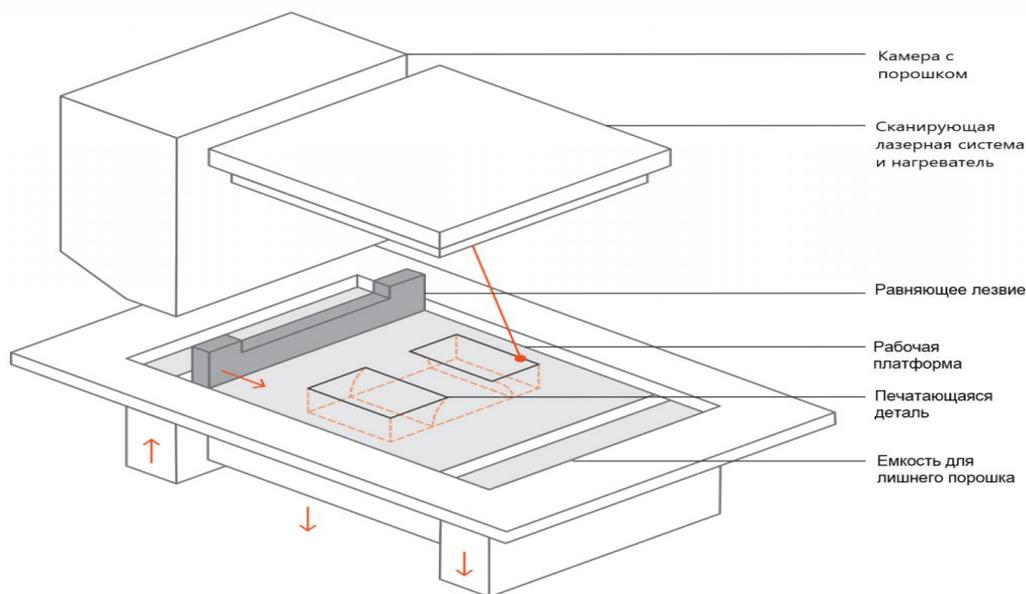


Рисунок 1 - Схема SLS 3D-принтера.

#### Список использованных источников

1. Леушин И. О. Применение RP-технологии для изготовления малогабаритной оснастки в мелкосерийном производстве литья/ Решетов В. А, Романов А. Д, Большаков А. А. // ФГБОУ ВО «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», Том 7, № 2-2 (2013).
2. Технологии 3d печати [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://3dplatforma.com/3d-printing> Режим доступа: 5. 04. 2023

## Классификация огнеупорных материалов для металлургической промышленности и литейного производства

Студент группы 10404129 Шмурадко Н.А.

Научный руководитель - Коренюгин С.В.

Белорусский национальный технический университет

Огнеупоры – это материалы на основе техногенного минерального сырья, способные сохранять без существенных нарушений свои функциональные свойства при работе в среде высоких температур и агрессивных сред. Служат в литейном и металлургическом производстве в качестве защитных покрытий (футеровки) плавильных печей и ковшей, наполнителей песчаных форм, а также для ремонта тепловых агрегатов.

Основой большинства видов огнеупорных материалов являются: оксиды ( $Al_2O_3$   $T_{пл} - 2050^\circ C$ ), кремнезем  $T_{пл} - 1713^\circ C$  и силикаты на его основе, карбиды ( $SiC$   $T_{пл} - 2500^\circ C$ ), нитриды ( $BN$   $T_{пл} - 2700^\circ C$ ), бориды ( $ZrB_2$   $T_{пл} - 2800^\circ C$ ).

Огнеупорные материалы являются важным компонентом в процессах литейного производства, так как они должны выдерживать высокие температуры и химические агрессивные среды, которые присутствуют во время процесса литья металла.

Существует несколько типов огнеупорных материалов, которые используются в литейном производстве: кремнеземистые (динасовые, кварцевые); алюмосиликатные (полукислые, шамотные, высокоглиноземистые); основные (магнезиальные, магнезиально-шпинелидные, магнезиально-силикатные, магнезиально-известковистые, известковистые); цирконистые. Выбор конкретного типа огнеупора зависит от конкретного процесса литейного производства, условий эксплуатации и химических свойств расплава.

Огнеупоры – материалы и изделия преимущественно на основе минерального сырья, обладающие огнеупорностью не ниже  $1580^\circ C$ .

Современные огнеупорные материалы, используемые в литейном производстве и металлургии, классифицируются по огнеупорности, химическому составу (табл. 1), пористости (табл. 2), формованные и неформованные огнеупорные материалы (табл. 3). По огнеупорности огнеупорные материалы разделяют на три группы: огнеупорные ( $1580^\circ C - 1770^\circ C$ ), высокоогнеупорные ( $1770^\circ C - 2000^\circ C$ ) и высшей огнеупорности (выше  $2000^\circ C$ ) (рисунок 1).

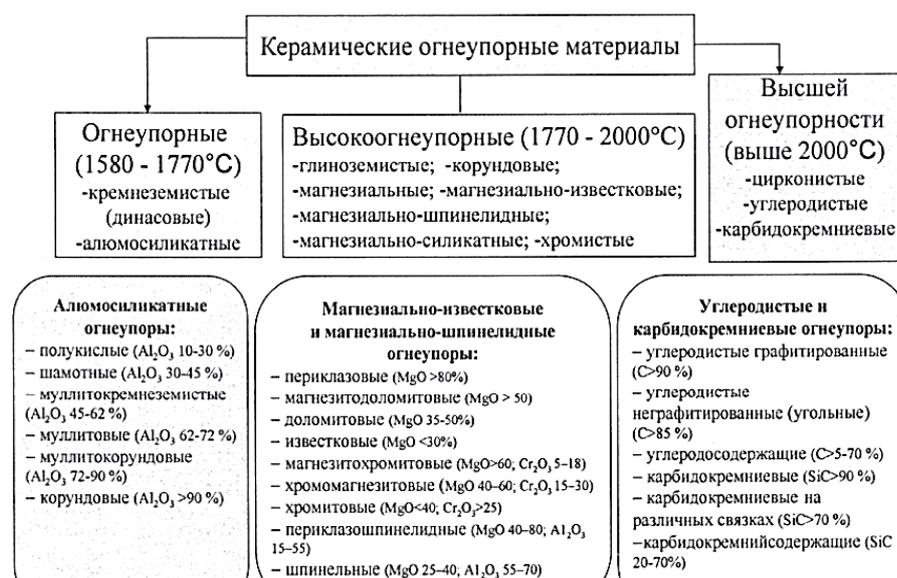


Рисунок 1 - Классификация огнеупорных материалов по огнеупорности

По химическому составу огнеупоры бывают: кислые (основа  $\text{SiO}_2$ ); основные (основа  $\text{MgO}$  и  $\text{CaO}$ ); нейтральные (основа  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). По химико-минералогическому составу они подразделяются на 15 типов, 38 групп (табл. 1).

Таблица 1 – Классификация огнеупоров по химическому составу

№	Минеральный тип огнеупоров	Минеральная группа	Содержание базовых химических соединений в огнеупорах, %
1	2	3	4
1	Кремнеземистые	Из кварцевого стекла	$\text{SiO}_2 > 97$
		Динасовые	$\text{SiO}_2 > 93$
		Динасовые с добавками	$80 \leq \text{SiO}_2 < 93$
		Кварцевые	$\text{SiO}_2 \geq 80$
2	Алюмосиликатные	Полукислые	$\text{SiO}_2 < 95, \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 28$
		Шамотные	$28 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 45$
		Муллитокремнеземистые	$45 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 62$
		Муллитовые	$62 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 72$
		Муллитокорундовые	$72 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 90$
		Из глиноземистого стекла	$40 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 90$
3	Глиноземистые	Корундовые	$\text{Al}_2\text{O}_3 > 90$
4	Глиноземизвестковые	Алюминаткальциевые	$\text{Al}_2\text{O}_3 > 65$ $10 \leq \text{CaO} \leq 35$
5	Магнезиальные	Периклазовые	$\text{MgO} \geq 85$
6	Магнезиально – известковые	Периклазо-известковые	$50 < \text{MgO} < 85$ $10 \leq \text{CaO} < 45$
		Периклазо-известковые	$35 < \text{MgO} < 75$
		Стабилизированные	$15 < \text{CaO} \leq 40$ $\text{CaO} : \text{SiO}_2 > 2$
		Известково-периклазовые	$50 < \text{MgO} \leq 50$ $45 \leq \text{CaO} \leq 85$
7	Известковые	Известковые	$\text{CaO} \geq 85$
8	Магнезиально – шпинельные	Периклазо-хромитовые	$\text{MgO} \geq 60$ $5 \leq \text{Cr}_2\text{O}_3 \leq 20$
		Хромито-периклазовые	$40 \leq \text{MgO} < 60$ $15 \leq \text{Cr}_2\text{O}_3 \leq 35$
		Хромитовые	$\text{MgO} < 40, \text{Cr}_2\text{O}_3 > 30$
		Периклазо-шпинелидные	$50 \leq \text{MgO} < 85$ $5 \leq \text{Cr}_2\text{O}_3 \leq 20$ $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 25$
		Периклазо-шпинельные	$\text{MgO} > 40$ $5 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 55$
		Шпинельные	$25 \leq \text{MgO} \leq 40$ $55 < \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 70$

9	Магнезиально – силикатные	Периклозофорстеритовые	$65 \leq \text{MgO} < 85, \text{SiO}_2 \geq 7$
		Форстеритовые	$50 \leq \text{MgO} < 65, 25 \leq \text{SiO}_2 \leq 40$
		Форстеритохромитовые	$45 \leq \text{MgO} < 60, 20 \leq \text{SiO}_2 \leq 30, 5 \leq \text{Cr}_2\text{O}_3 \leq 15$
1	2	3	4
10	Хромистые	Хромоксидные	$\text{Cr}_2\text{O}_3 \geq 90$
11	Цирконистые	Бадделеитовые	$\text{ZrO}_2 > 90$
		Бадделеитокорундовые	$20 \leq \text{ZrO}_2 \leq 90, \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 65$
		Цирконовые	$\text{ZrO}_2 > 50, \text{SiO}_2 > 25$
12	Окисные	Специальные из огнеупорных оксидов: <i>BeO, MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnO, ZrO<sub>2</sub> и др.</i>	Максимально достижимое содержание перечисленных оксидов, соединений и твердых растворов на основе этих оксидов
13	Углеродистые	Графитированные	$\text{C} > 98$
		Угольные	$\text{C} > 85$
		Углеродсодержание	$8 \leq \text{C} \leq 85$
14	Карбидкремниевые	Карбидкремниевые	$\text{SiC} > 70$
		Карбидкремнийсодержащие	$15 \leq \text{SiC} \leq 70$
15	Бескислородные	Из нитридов, боридов, карбидов, силицидов и других бескислородных соединений (кроме углеродистых)	Максимально достижимое содержание бескислородных соединений

Таблица 2 – Классификация огнеупоров по уровню плотности (пористости)

Классификация огнеупоров по плотности	Общая пористость, %	Кажущаяся открытая пористость, %	Закрытая пористость, %
Особоплотные	$\leq 3$	—	$\leq 3$
Высокоплотные	3 – 10	—	$> 3 - 10$
Повышенноплотные	10 – 16	10 – 16	—
Уплотненные	16 – 20	16 – 20	—
Среднеплотные	20 – 30	20 – 30	—
Низкоплотные	$> 30$	30 – 45	—
Высокопористые	45 – 75	45 – 70	—
Ультрапористые	75	$> 75$	—

Широкое применение в металлургии и металлургических процессах получили формованные и неформованные огнеупоры. К формованным относятся – кирпич, блоки, плиты, стаканы – дозаторы (СД), элементы шиберных затворов, стопор – моноблоки, погружные стаканы и др. штучные изделия. К неформованным относят – мертели, заправочные материалы, различные техногенные порошки, бетоны, массы.

Таблица 3 – Классификация неформованных материалов

Группа	Характеристика	Назначение
1	2	3
Огнеупорные порошки и заполнители	Огнеупорные материалы определенного зернового состава	Для изготовления огнеупорных изделий, масс, смесей, мертелей, изготовления и ремонта тепловых агрегатов, теплоизоляции и др.
1	2	3
Огнеупорные цементы	Микрозернистые, тонкодисперсные и ультрадисперсные огнеупорные материалы, твердеющие после смешивания со связкой	Для изготовления бетонных изделий, смесей, масс, покрытий и мертелей
Огнеупорные массы и смеси, в т. ч. бетонные	Массы – огнеупорные материалы, состоящие из огнеупорных порошков и заполнителей, связки (бетонные массы – вяжущего) и в необходимых случаях добавок (пластифицирующих, структурообразующих и др.), готовые к применению. Смеси – огнеупорные материалы, состоящие из огнеупорных порошков и заполнителей (бетонные смеси – также огнеупорного цемента), требующие введения связки	Для изготовления изделий, в т. ч. бетонных монолитных футеровок и их элементов, а также ремонтов огнеупорной кладки
Огнеупорные материалы для покрытий	Смесь тонкодисперсных огнеупорных материалов со связкой или без нее	Для нанесения в виде слоя, на несущего строительной нагрузки на рабочую поверхность огнеупорной или металлической конструкции с целью защиты ее от износа
Огнеупорные мертели	Смесь мелкозернистых огнеупорных материалов с пластифицирующими добавками или без них	Для заполнения швов и связывания огнеупорных изделий в кладке
Огнеупорные порошковые и кусковые полуфабрикаты	Огнеупорные материалы, нуждающиеся в дополнительной технологической обработке (плавлении, дроблении, измельчении,	Для изготовления огнеупоров

	смешивании, формовании, расфасовке и др.)	
Волокнистые теплоизоляционные материалы	Огнеупорные материалы, состоящие преимущественно из частиц, имеющих форму волокон	Для изготовления теплоизоляционных изделий и футеровок, уплотнения огнеупорной кладки и заполнения компенсационных швов

**Заключение.** Для получения качественной продукции методом литья необходимо использовать качественное сырье для изготовления форм, футеровки рабочих зон плавильных агрегатов и разливочных ковшей. Также надо учитывать рабочую среду огнеупорного материала: исключить химическое взаимодействие огнеупорного материала футеровки с агрессивными средами (расплавом, отходящими газами и шлаками).

### Список используемых источников

1. Стрелов К. К., Мамыкин П. С. Технология огнеупоров. Изд. 3-е. Москва, «Металлургия», 1978 г. 370 с.
2. Огнеупорные изделия, материалы и сырье. Справочник. Изд. 3-е. Гурова М. И., Дервянченко Л. Д., Карклит А. К., Каторгин Г. М., Левчук В. В., Маранц А. Г., Соломинская И. Ю., Тихонова Л. А. М., «Металлургия», 1977. 216 с.
3. Волочко А. Т., Шипко А. А., Демин М. И., Будзинская А. В. Мониторинг применения огнеупорных материалов на предприятиях Республики Беларусь // Литье и металлургия, №4, 2011 г., с 53 – 59.

## Машинная формовка песчаных стержней

Студент гр. 10404120 Лешок Д.И.  
Научный руководитель - Садоха М.А.  
Белорусский национальный технический университет

Стержень - формирует внутреннюю часть отливки, он не позволяет металлу заполнить все пространство в форме. Для сложных отливок могут использовать несколько стержней.

Машинная формовка стержней — это процесс производства стержней из формовочной смеси с применением специальных машин. Машинная формовка используется в массовом и серийном производстве мелких и средних отливок. Преимущества машинной формовки перед ручной формовкой содержатся в более высокой производительности, увеличенной точности и качестве изделий, а также в возможности автоматизации процесса [1-2].

Машинная формовка стержней является технологическим процессом, который может исполняться с помощью разнообразных формовочных машин, таких как прессовые, встряхивающие и пескометы. При этом нужно придерживаться правила эксплуатации оборудования и проводить постоянное техническое обслуживание.

После смешивания исходных компонентов в нужных пропорциях в бегунах, формовочная смесь выравнивается по всему объему в бункере – отстойнике с выдержкой в течение 3-4 часов, а далее подается на формовку, конечно, готовой формовочной и стержневой смеси транспортером.

Для изготовления фасонных мелких, простых по конфигурации стержней в массовом производстве используют прессовые машины, на которых стержни прессуют в разъемных металлических стержневых ящиках, верхняя половина которых зачастую применяется как прессовая плита.

Средние и крупные стержни простой конфигурации формируют обычно на встряхивающих машинах (специальных стержневых или формовочных) с перекидным и поворотным столом. Стержни изготавливают в открытых неразъемных ящиках с последующим доуплотнением верхних слоев.

Крупные стержни в условиях серийного производства изготавливают еще с помощью пескометов разнообразного типа.

Для изготовления мелких и средних стержней любой сложности зачастую используют пескодувные и пескострельные машины. Эти агрегаты отличаются достаточно высокой производительностью, на их базе имеются установки машин-автоматов для изготовления стержней. На пескодувных и пескострельных машинах делают стержни из смесей, требующие тепловой сушки, отверждаемых химически (например, углекислым газом в холодной оснастке, либо в горячей оснастке). Для заполнения стержневого ящика смесью и уплотнения ее на пескодувных и пескострельных машинах применяют сжатый воздух, давление которого составляет 570—770 кПа. При пескодувном процессе (рис. 1) сжатый воздух, поступая в резервуар 3 пескодувной машины, наполненный стержневой смесью, давит на нее и увлекает смесь через вдувные отверстия 2 плиты 5 в стержневой ящик 6, уплотняя ее силой воздушного потока. Для выхода воздуха из ящика служат специальные щелевые или сетчатые отверстия — венты 1, выполняемые в стенках стержневого ящика (нижняя вентиляция) или в наружном днище 5 резервуара 3 (верхняя вентиляция). При верхней вентиляции установка вент в стержневом ящике отпадает, что удешевляет его изготовление. Для разрыхления смеси и направления ее к вдувным отверстиям 2 служит механическая мешалка 4. Стержневой ящик прижимается к

плите 5 столом 7.

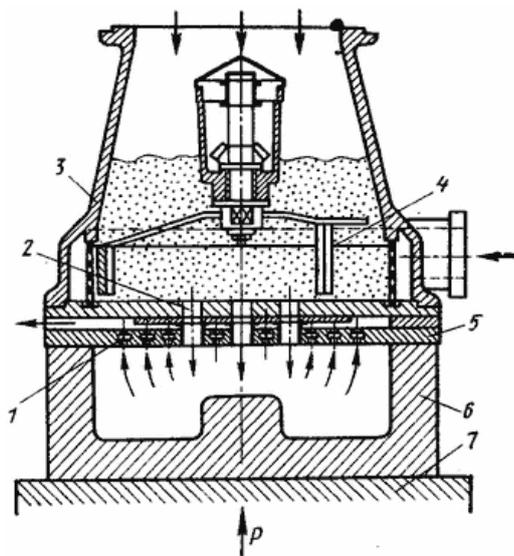


Рисунок 1. Схема пескодувного процесса:

1 — венты, 2 — вдувные отверстия, 3 — резервуар, 4 — механическая мешалка, 5 — наружное днище резервуара (плита), 6 — стержневой ящик, 7 — прижимной стол

Организация производства стержней из формовочной смеси требует правильного проектирования предприятия, оптимального сочетания основных и вспомогательных производственных звеньев. Для обеспечения пропорциональности необходимо оперативно-календарное планирование.

Один из основных недостатков производства песчаных стержней это длительный и трудоёмкий процесс, который требует наличия большого количества ресурсов и скрытых затрат. Система подготовки и очистки оборудования для производства песчаных форм требует больших затрат на энергию и время. Кроме того, песчаные стержни после заливки не могут использоваться повторно, что приводит к большому количеству отходов и не рациональному использованию ресурсов.

Однако все большее количество компаний в настоящее время переходит на машинное производство песчаных стержней, так как это позволяет повысить качество продукции и уменьшить требования к трудовым ресурсам и затратам на энергию. В значительной степени это достигается благодаря использованию новых технологий.

Одним из примеров инновационных технологий, используемых в производстве песчаных стержней, является возможность компьютерного моделирования стержней, что существенно повышает их точность и уменьшает процент брака.

Таким образом, вопрос машинного производства песчаных стержней является важным для современной металлургической промышленности. Вопросом эффективного использования ресурсов и применения инновационных технологий для повышения качества и скорости производства при этом занимаются многие компании, работающие в данном секторе.

### Список используемых источников

1. Теория и технология литейного производства: учебник / Д. М. Кукуй, В. А. Скворцов, Н. В. Андрианов. В 2 ч. Ч. 1. Формовочные материалы и смеси.
2. Литейные сплавы и плавка / А. П. Трухов, А. И. Маляров, 2004.

Студент гр. 10404120 Ткач Н.В.  
Научный руководитель - Садох М.А.  
Белорусский национальный технический университет

Литейные алюминиевые сплавы в основном содержат от 85% до 99% алюминия, а также могут включать различные добавки других металлов, таких как медь, магний, кремний, цинк и др. В зависимости от состава сплава, они обладают различными свойствами, такими как прочность, коррозионная стойкость, способность к термической обработке и другие.

Некоторые из наиболее распространенных литейных алюминиевых сплавов включают в себя [1-4]:

- Алюминий-кремний (Al-Si) - применяется для изготовления картеров двигателей и других литых деталей, таких как насосы и фланцы.

- Алюминий-медь (Al-Cu) - обладает высокой прочностью и устойчивостью к коррозии, применяется для изготовления летательных аппаратов, корпусов для морских судов и других жестких конструкций.

- Алюминий-магний (Al-Mg) - обладает высокой прочностью и легкостью, применяется в авиационной и автомобильной промышленности для изготовления крыльев, деталей шасси и других легких деталей.

- Алюминий-цинк (Al-Zn) - применяется для изготовления деталей, требующих высокой прочности и жесткости, таких как рулевые колонки, рамные соединения и другие.

Все литейные алюминиевые сплавы в жидком состоянии интенсивно растворяют газы и окисляются. При их затвердевании газы выделяются из расплава и образуют газовую и газосадочную пористость, которая снижает механические свойства и герметичность отливок. Образуемая на поверхности расплава пленка оксидов при заполнении формы может разрушаться и попадать в тело отливки, снижая ее механические свойства и герметичность. При высоких скоростях движения расплава в литниковой системе пленка оксидов, перемешиваясь с воздухом, образует пену, которая попадает в полость формы, приводя к образованию дефектов в теле отливки.

Существует несколько основных способов литья алюминиевых сплавов: литье под давлением; литье в песчаные формы; центробежное литье; литье по выплавляемым моделям.

Процесс литья металла в кокиль состоит из нескольких этапов [1-2]:

1. Подготовка кокиля. Кокиль очищается от остатков песчаных стержней, проверяется состояние окраски рабочей поверхности (при необходимости выполняется окраска). Разделительное покрытие выполняет несколько функций. Во-первых, позволяет управлять теплоотводом от отливки и процессом ее кристаллизации и охлаждения, а во-вторых, это обеспечивает получение высокого качества поверхности отливки.

2. Нагрев кокиля. Перед первым использованием кокиля его всегда нагревают до рабочей температуры. При алюминиевом литье это, обычно, около 200-250 °С. Это необходимо для того, чтобы обеспечить лучшее заполнение рабочей полости кокиля расплавом и снижения вероятности образования усадочных дефектов в отливке при кристаллизации.

3. Подготовка расплавленного металла. Металл плавится, а затем расплав очищают от окислов, шлака и других неметаллических примесей.

4. Заливка металла в кокиль. Расплавленный металл заливают в кокиль через литниковую систему. Существует несколько способов заливки металла, включая ручную, механическую и автоматическую.

5. Охлаждение. После заливки металла в кокиль отливка кристаллизуется и остывает, затем извлекается из кокиля.

Оптимальная температура заливки расплава зависит как от химического состава сплава, так и от геометрических особенностей отливки (конфигурации, толщины стенки, размеров и т. п.).

Продолжительность выдержки отливки в кокиле зависит от ее размеров и массы. Обычно отливки охлаждают в форме до температуры около 400 °С.

Преимущества литья в кокиль:

- Высокая точность изготовления деталей.
- Возможность изготовления сложных и больших изделий.
- Низкая стоимость материалов и оборудования.
- Масштабируемость производства.

Недостатки литья в кокиль:

- Большие затраты на проектирование и изготовление кокиля.
- Высокая стоимость оборудования и необходимость его технического обслуживания.
- Необходимость использования специализированного оборудования и квалифицированных специалистов.
- Возможность появления дефектов на поверхности изделий (волновая поверхность, заусенцы и др.).

При производстве отливок литьем в кокиль высока вероятность дефектов – трещин, образующихся в результате высоких внутренних напряжений в металле, которые, в свою очередь, являются следствием затрудненного процесса усадки на этапе затвердевания алюминиевого литья.

Отливки из алюминия в кокиль используются в различных отраслях промышленности, включая автомобильное, литейное, электротехническое производства и т. д.

Конструкция кокиля выбирается на этапе разработки литейной технологии. В зависимости от конфигурации и индивидуальных особенностей алюминиевого литья, кокиль может содержать различное число формообразующих частей (чаще одну или две, но может и больше).

Плоскость разъема кокиля может быть вертикальной, горизонтальной или комбинированной (криволинейной).

Стержни, необходимые для формирования полостей и отверстий отливки, в кокилях могут применяться как песчаные, так и металлические (при возможности извлечения).

С целью управления кристаллизацией, обеспечения направленного затвердевания отливок при литье в кокиль зачастую применяют принудительное охлаждение.

Кокиль может быть одноместным или многоместным, например, за одну заливку может заливаться сразу несколько литых алюминиевых заготовок.

В целом, литье в кокиль алюминиевых сплавов является эффективным и высокотехнологичным методом производства высокоточных деталей. Важно учитывать все преимущества и недостатки данного метода при выборе технологии производства в конкретной отрасли.

### **Список используемых источников**

1. Волочко А. Т., Садоха М. А. Алюминий: технологии и оборудование для получения литых изделий. - Минск: Беларус. навука, 2011. - 387с.
2. Литье в кокиль / Бураков С. Л., Вейник А. И., Дубинин Н. П. [и др.]. - М. : Машиностроение, 1980.
3. Литейные сплавы и плавка / А. П. Трухов, А. И. Маляров, 2004.
4. Садоха, М. А. Литейные сплавы и плавка: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства» / М. А. Садоха, Ф. И. Рудницкий, В. А. Калиниченко. – Минск: БНТУ, 2022. – 120 с.

### Плавка алюминиевых сплавов

Студент гр. 10404220 Моргунов Е.А., Пугач М.В.  
 Научный руководитель - Садоха М.А.  
 Белорусский национальный технический университет

Алюминиевые литейные сплавы обладают высокой удельной прочностью ( $\sigma / \rho$ ) (большей, чем у углеродистых сталей), высокой коррозионной стойкостью, достаточно высокими тепло- и электропроводностью.

Кроме того, сплавы на основе алюминия имеют хорошие технологические литейные свойства, легко обрабатываются. Именно этими обстоятельствами объясняется применение алюминиевых сплавов во всех отраслях промышленности, особенно в авиации и автостроении.

Некоторые из наиболее распространенных литейных алюминиевых сплавов включают в себя [1-4]:

- Алюминий-кремний (Al-Si) - применяется для изготовления картеров двигателей и других литых деталей, таких как насосы и фланцы.

- Алюминий-медь (Al-Cu) - обладает высокой прочностью и устойчивостью к коррозии, применяется для изготовления летательных аппаратов, корпусов для морских судов и других жестких конструкций.

- Алюминий-магний (Al-Mg) - обладает высокой прочностью и легкостью, применяется в авиационной и автомобильной промышленности для изготовления крыльев, деталей шасси и других легких деталей.

- Алюминий-цинк (Al-Zn) - применяется для изготовления деталей, требующих высокой прочности и жесткости, таких как рулевые колонки, рамные соединения и другие.

Все литейные алюминиевые сплавы в жидком состоянии интенсивно растворяют газы и окисляются. При их затвердевании газы выделяются из расплава и образуют газовую и газосадочную пористость, которая снижает механические свойства и герметичность отливок. Образующаяся на поверхности расплава пленка оксидов при заполнении формы может разрушаться и попадать в тело отливки, снижая ее механические свойства и герметичность. При высоких скоростях движения расплава в литниковой системе пленка оксидов, перемешиваясь с воздухом, образует пену, которая попадает в полость формы, приводя к образованию дефектов в теле отливки.

В качестве шихтовых материалов используют первичный алюминий и силумин в чушках, сплавы алюминиевые в чушках, возврат, лом и отходы, а также лигатуры. Приготовление лигатур производится с целью введения в алюминиевый сплав тугоплавких компонентов (Cu, Ni и др.) или активных легкоокисляющихся компонентов с минимальными потерями (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика двойных алюминиевых лигатур

Лига-тура	Содержание легирующего компонента	Температура плавления лигатуры, °С	Температура расплава при введении легирующей добавки, °С
Al – Cu	45...50	575	750
Al – Mn	10	780	850...900
Al – Ni	20	780	850...900
Al – Ti	3...4	800...850	1200...1300
Al – Mg	9...11	560...640	700...750

Лигатуры можно готовить в любой плавильной печи. Тугоплавкие лигатуры (Ti, Be, Zr, Cr) плавят в графитовых тиглях. При приготовлении всех лигатур сначала плавят алюминий, а затем небольшими порциями вводят легирующую добавку при определенной температуре (табл. 1). Плавку ведут под покровным флюсом. Расплав перемешивают для более быстрого усвоения легирующих добавок, после чего рафинируют.

Расчет шихты при плавке алюминиевых сплавов производится методом подбора или аналитическим методом с учетом угара элементов.

Загрузка шихтовых материалов обычно производится в следующей очередности: чушковый алюминий, крупногабаритный лом, переплав, лигатуры. Цинк вводят перед магнием. Материалы, вводимые в жидкий расплав, необходимо подогреть до температуры 150...200°C во избежание выброса металла. Медь вводят в расплав при температуре 740...750°C. Материалы, имеющие малую плотность, вводят в колокольчике.

Исходя из того, что поглощение газов интенсифицируется с увеличением температуры, плавку алюминиевых сплавов рекомендуется вести форсированно и при оптимальных температурах (табл. 2).

Таблица 2 – Температурные режимы плавки алюминиевых сплавов

Марка сплава	Температура, °C	
	перегрева	заливки
Al – Si	730...750	700...710
Al – Si – Mg	750	680...720
Al – Cu	740...780	690...730
Al – Cu – Si	750	680...730
Al – Cu – Zn	700—750	670—710

Расплав защищают от взаимодействия с атмосферой покровным флюсом.

Сплавы системы Al – Si – Cu плавят также в газовых печах. Шихта для газовых печей состоит из 40 % сплава в чушках и 60 % возврата, плавку ведут под покровным флюсом при температуре в газовой печи 850°C, сам сплав не перегревают выше 780°C; готовый сплав из плавильной печи выпускают через летку по желобу в печь ожидания, откуда при помощи пневмоперекачивающего устройства его подают в ковш. В ковше с помощью колокольчика, в который помещают дегазирующую таблетку, металл рафинируют. Во время транспортировки ковша поверхность металла закрывают покровным флюсом. Из ковша сплав заливают в раздаточные печи, где он также находится под покровным флюсом.

Плавка алюминий-магниевого сплава (с 9,5...11,5% Mg) имеет ряд особенностей. В качестве шихтовых материалов используют алюминий высокой чистоты А995, А99, А97, А95, магний и лигатуры: Al–Be, Al–Ti, Al–Zr, а также возврат собственного производства.

В чистый прогретый до 700°C тигель загружают чушки алюминия и лигатуру Al–Be, после расплавления и перегрева металла до 700°C вводят лигатуры Al–Ti и Al–Zr. После расплавления всей загрузки сплав очищают от шлака, тщательно перемешивают и с помощью колокольчика, изготовленного из титана, вводят магний. Перегрев сплава выше 750°C не допускается. При наличии в сплаве бериллия и титана плавку можно вести без защитного флюса. В остальных случаях применяют покровные флюсы № 4 – 6 (см. табл. 6. 1). Появление на поверхности зеркала металла темно-бурых пятен указывает на то, что сплав окисляется. Черный налет на поверхности отливок или темный цвет на изломе образцов свидетельствуют о превышении температуры перегрева сплава выше нормы. После ввода всех компонентов сплав рафинируют флюсами № 8 и 9 (см. табл. 6. 1), затем снимают шлак и производят заливку

форм. Заливка сплава по формам осуществляется в интервале температур 660...770°C в зависимости от толщины стенки отливок.

При плавке сплавов Al–Mg, содержащих более 3...4 % Mg, следует иметь в виду, что эти сплавы не только склонны к поглощению кислорода, водорода, но и взаимодействуют с азотом воздуха и с печной атмосферой. Для предотвращения образования нитридов применяют специальные флюсы, которые в своем составе, наряду с другими хлоридами, содержат обязательно хлорид магния, препятствующий выгоранию магния.

Во время плавки необходимо контролировать температуру расплава и содержание газов в металле, которые определяют по технологическим пробам, а также методом вакуумной экстракции. На заключительной стадии получения алюминиевых сплавов проводят их модифицирование.

#### **Список используемых источников**

1. Волочко А. Т., Садоха М. А. Алюминий: технологии и оборудование для получения литых изделий. - Минск: Беларус. навука, 2011. - 387с.
2. Литейные сплавы и плавка / А. П. Трухов, А. И. Маляров, 2004.
3. Садоха, М. А. Литейные сплавы и плавка: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства» / М. А. Садоха, Ф. И. Рудницкий, В. А. Калиниченко. – Минск: БНТУ, 2022. – 120 с.
4. Цыганов В. А. Плавка цветных металлов в индукционных печах. – М. : Metallurgia, 1974

**Исследование влияния параметров охлаждения на структуру  
и свойства слитка из алюминиевого сплава и разработка рекомендаций по  
оптимизации режима охлаждения**

Студент гр. 10404129 Кучмин Я.С.  
Научный руководитель - Садоха М.А.  
Белорусский национальный технический университет

Алюминиевые сплавы сегодня применяют для изготовления широкого спектра продукции. Материалы являются экономичным сырьём для производства труб, инженерных конструкций, кухонной посуды, деталей систем микроклимата и других изделий [1].

Различные алюминиевые сплавы нашли применения в различных отраслях повседневной жизни и начали подразделяться по запланированной области применения на [2]:

- *Деформируемые*. Они предназначены для получения полуфабрикатов способами горячего и холодного деформирования – прокаткой, прессованием, протяжкой. Это листы, профили, прутки, трубы.
- *Литейные*, используемые для получения фасонного литья. Характеристики литейных сплавов повышают различными способами термической обработки.
- Получаемые по технологии *порошковой металлургии* – САС и САП.

Структура сплавов для каждого нужд отличается, в данной статье пойдет речь о структуре деформируемых сплавах.

Для прессовой заготовки, вырезаемой из слитка, химический состав является одним из важнейших факторов, определяющих постоянство ее качества, от которого во многом зависят температурно-скоростные условия прессования и стабильность свойств прессованных изделий. Это следует иметь в виду при массовом производстве, когда при прессовании данного профиля переход на использование заготовок этого же сплава, но другой партии или поставки, не должен приводить к заметным изменениям его механических свойств и параметров процесса прессования или требовать опробования металла на предварительных прессовках, приводящих к нерациональным затратам времени работы пресса и увеличению количества отходов. Вместе с тем, диапазон концентраций легирующих элементов в сплавах достаточно широк и может явиться причиной таких изменений. В качестве примера можно привести исследование Лангервегера [1], разделившего сплав 6063 (0,45-0,9%Mg и 0,20-0,6% Si) на три состава, химический состав каждого варианта приведен в таблице 5, каждый из которых был предназначен для достижения различных уровней технологичности при прессовании (максимальной скорости прессования без образования дефектов) и механических свойств.

Отсюда становится понятной важность ограничения содержания легирующих элементов внутри существующих марок сплавов более жесткими пределами ( $\pm 0,025\%$ ), что позволяет в максимальной степени учесть вклад химического состава в поведение заготовки в процессе прессования и однородность свойств прессованных изделий [3].

Также немаловажным фактором является термическая обработка слитков.

Высокотемпературная гомогенизация с регламентированным охлаждением приводит к переводу фазы  $Mg_2Si$  в мелкодисперсные частицы, равномерно распределенные по твердому раствору, и заметному очищению границ зерен и дендритных ячеек от частиц фаз за счет превращения железосодержащей  $\beta$  - фазы пластинчатой формы в  $\alpha$  - фазу округлой формы. Обеднение твердого раствора, уменьшающее сопротивление металла деформации, и перевод железосодержащих частиц в модификацию  $\alpha$  оказывают благоприятное воздействие на скорость прессования и производительность пресса. Отчетливо прослеживается тенденция увеличения съема с прессовой линии с повышением доли  $\alpha$ -фазы в структуре слитков [4].

Таким образом мы можем сказать, что на структуру алюминия влияют многие факторы, какие как: первоначальное сырьё, химический состав шихты, легирующие и модифицирующие добавки, улучшающие свойства расплава, температура розлива сплава, гомогенизационный режим, а также, важную роль играет, скорость охлаждения после гомогенизации.

Влияние охлаждения на осаждение частиц  $Mg_2Si$  было исследовано с использованием двух различных типов циклов охлаждения после 6-часовой выдержки при  $580\text{ }^\circ\text{C}$ . Первый из них включал непрерывное охлаждение со скоростью до  $12\text{ }^\circ\text{C/ч}$  (воздушное охлаждение). Для размеров образцов, использованных в настоящем исследовании, воздушное охлаждение соответствовало скорости охлаждения  $2000\text{ }^\circ\text{C/ч}$ . Температуры регистрировались непосредственно на образцах в зависимости от времени, и были приняты меры для установления постоянной скорости охлаждения до  $200\text{ }^\circ\text{C}$ , после чего все образцы подвергались воздушной закалке. Вторая серия экспериментов по охлаждению включала 2-часовую изотермическую стадию при различных температурах от  $450$  до  $200\text{ }^\circ\text{C}$ . Образцы, выдержанные при  $580\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 6 ч, подвергались воздушной закалке до и после 2-часовой изотермической стадии. Эти образцы были исследованы на предмет степени осаждения  $Mg_2Si$  и размера частиц  $Mg_2Si$ . Их исследовали после травления 0,5%-ным раствором HF с помощью оптического микроскопа модели Olympus BX51M. Образцы были слегка перетравлены, чтобы облегчить прямое наблюдение мелких частиц  $Mg_2Si$  с помощью светового микроскопа. Изображение в темном поле также использовалось для улучшения разрешения. Электропроводность образцов измерялась с помощью тестовой установки Sigma для оценки степени активности осаждения.

### Вывод

Выдержка при  $540\text{ }^\circ\text{C}$  не оправдывает ожиданий, поскольку не устраняет микросегрегацию и не обеспечивает превращения  $\beta\text{-AlFeSi}$  в  $\alpha\text{-AlFeSi}$ , что желательно для улучшения качества поверхности и экструдирруемости материала. Междендритная сеть плит  $\beta\text{-AlFeSi}$  заменяется дисперсией равноосных дискретных частиц  $\alpha\text{-AlFeSi}$  и получается гомогенный твердый раствор Al (Mg, Si), начиная с  $560\text{ }^\circ\text{C}$ . Требуется выдержка в течение 6 часов при  $580\text{ }^\circ\text{C}$ , чтобы полностью преобразовать фазу  $\beta\text{-AlFeSi}$  в фазу  $\alpha\text{-AlFeSi}$  в настоящем сплаве с очень низким содержанием Mn [7].

Степень осаждения увеличивалась с уменьшением скорости охлаждения после гомогенизации. Однако при скорости охлаждения ниже  $100\text{ }^\circ\text{C/ч}$  образуются крупные частицы  $\beta\text{-Mg}_2\text{Si}$ , которые, как было показано с помощью DSC, трудно растворяются при повторном нагревании. С другой стороны, желательна скорость охлаждения ниже  $200\text{ }^\circ\text{C/ч}$  для достижения эффективного истощения матрицы твердого раствора при низком напряжении текучести и низком сопротивлении деформации экструзии. Таким образом, делается вывод, что скорость охлаждения от  $200$  до  $100\text{ }^\circ\text{C/ч}$  является оптимальной для данного сплава для обеспечения высокой экструдирруемости и качества поверхности, если после замачивания использовать непрерывное охлаждение [8].

Было обнаружено, что ступенчатое охлаждение при  $250\text{-}300\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 2 ч приводит к интенсивному осаждению мелкодисперсного метастабильного  $\beta\text{r-Mg}_2\text{Si}$  частицы, которые легко растворялись при повторном нагревании. Поэтапное охлаждение в условиях, описанных выше, по-видимому, является лучшей практикой, чем непрерывное охлаждение со скоростью от  $100$  до  $200\text{ }^\circ\text{C/ч}$  для достижения оптимальных физико-химических свойств заготовки. Первый обеспечивает более полное истощение твердого раствора алюминия, т. е. меньшие напряжения при текучести, избегая образования крупных и стабильных частиц  $Mg_2Si$ , которые очень трудно растворить во время повторного нагрева и, таким образом, пережить процесс экструзии, ухудшающий как качество поверхности, так и механические свойства.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. E. C. Beatty, in: Proceedings of the First International Aluminum Extrusion Technology Seminar, Paper no. 10, Aluminum Association, Washington, DC, 1969.
2. A. J. Bryant, G. E. Macey, R. A. P. Fielding, *Light Met. Age* (2002) 6.
3. E. C. Beatty, in: Proceedings of the Second International Aluminum Extrusion Technology Seminar, vol. 1, pp. 225–228.
4. J. Langerweger, in: Proceedings of the Conference on Aluminium Technology, London, March 1986, p. 216.
5. Фридрих Остерман. Технология применения алюминия/ Пер. С нем. Под руководством и общей редакцией д. т. н. В. Г. Борисова, к. т. н. М. З. Локшина. – М. : НП «АПРАЛ», 2019, с. 114.
6. Г. С. Макаров. Основы производства слитков из алюминиевых сплавов, легированных магнием и кремнием. –, 2010. 4 – 250 с.
7. ГОСТ 4784-97 Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые
8. EN 573-3 Алюминий и алюминиевые сплавы. Химический состав и форма деформируемых изделий.

**Варианты утилизации аспирационной пыли плавильных печей**

Магистрантка гр. 50424022 Курач Д.И.

Научный руководитель – Ровин С.Л.

Белорусский национальный технический университет,

Практически все технологические операции сопровождаются вредными выбросами, в том числе и процесс плавки. В соответствии с требованиями законодательства в области охраны окружающей среды, все предприятия обязаны проводить мероприятия по очистке и обезвреживанию аспирируемых газов перед их выбросом в атмосферу, обеспечивающие снижение концентрации и количества загрязняющих веществ в выбросах до установленных норм.

На машиностроительных предприятиях одним из главных источников выбросов являются процессы плавки. Причем выбросы плавильных агрегатов отличаются высоким содержанием как газообразных загрязняющих веществ, так и взвешенных твердых частиц – пыли. Концентрация пыли в выбросах плавильных агрегатов может достигать 15-20 г/м<sup>3</sup>, а состав пыли отличается многокомпонентностью (в пыли стале- и чугуноплавильных печей может содержаться до 15-20 различных элементов и их соединений, а в пыли агрегатов для плавки цветных металлов до нескольких десятков составляющих) и полидисперсностью (с преобладанием частиц с размерами 1-50 мкм). Традиционно аспирационная пыль, уловленная аппаратами очистки, вывозится и захоранивается на полигонах промышленных отходов [1].

В тоже время, кроме вредных веществ, аспирационная пыль плавильных агрегатов содержит в себе и большое количество полезных компонентов, к которым относятся, в первую очередь, металлы. При выплавке черных сплавов это: Fe, Mn, Cr, Cu, W, V, Ti, Zn и т. д. Однако, как правило все эти металлы присутствуют в пыли не в чистом виде, а в соединениях – в виде оксидов, силикатов, алюмосиликатов, фаялитов, ферритов и др. В качестве примера в таблицах 1 и 2 представлены элементный анализ аспирационной пыли сталеплавильных электродуговых печей, выполненный с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра, и фазовый анализ пыли по основным компонентам, выполненный с помощью дифрактометра ДРОН-3, соответственно [2].

Таблица 1 – Результаты РФА анализа аспирационной пыли дуговых сталеплавильных печей

Эле-	%	+/-	Эле-	%	+/-
Al	6,04	0,72	P	0,137	0,077
Fe	46,32	0,49	Cr	0,276	0,033
Si	17,27	0,49	Cu	0,321	0,031
Zn	3,54	0,11	Ni	0,120	0,029
Mn	2,84	0,11	Pb	0,08	0,005
Ca	3,06	0,15	S	0,089	0,039
Ti	0,68	0,11	Mg	2,94	0,15

Таблица 2 – Результаты фазового анализа пыли электродуговых печей

Фаза	Концентрация, %
Магнетит (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	37,67
Гематит (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) + Вюстит (FeO)	27,64 + 6,17
Алюмосиликат магния (AlH <sub>6</sub> MgO <sub>5</sub> Si) + Глинозем	3,24 + 2,58
Магнезитоферрит (MgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) + Хромит (FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	2,8 + 1,1
Оксид кальция (CaO)	3,42
Кварц (SiO <sub>2</sub> )	3,65
Цинка оксид (ZnO) + Оксид марганца (MnO)	4,4 + 1,6
C (сажистый углерод)	1,3
Прочие	≤ 4,5

Несмотря на значительное количество потенциально ценных компонентов в составе, по экспертным оценкам сегодня используется не более 3-5% улавливаемой пыли металлургических агрегатов. Наиболее существенными проблемами, препятствующими утилизации, являются высокая дисперсность частиц и чрезвычайная неоднородность и нестабильность гранулометрического и химического состава пыли [3].

Неоднократные попытки прямого использования (восстановления и переплавки) аспирационной пыли в электродуговых сталеплавильных печах (возврата пыли в агрегат, являющийся ее источником) ни в брикетированном виде, ни путем вдувания ее совместно с угольной пылью в реакционную зону на границу металл-шлак не привели к более-менее стабильным положительным результатам. Во всех случаях отмечалось резкое снижение производительности, энергоэффективности, экологических параметров плавки и качества получаемого металла [4].

Единственным на сегодня вариантом рециклинга (возврата) содержащегося в пыли железа в производство является подмешивание пыли к рудному сырью при производстве окатышей, которые затем используются в доменной плавке чугуна или в агрегатах внедоменной металлургии (Midrex, Corex, Fastmet, Comet и др. ) при производстве губчатого железа. Однако все эти технологии предполагают специальную достаточно затратную подготовку сырья (сбор и гомогенизацию отходов, поступающих из разных источников, измельчение и смешивание исходных компонентов, брикетирование, окомкование или получение агломерата), требуют многомиллионных инвестиций в технологию и оборудование и обеспечивают необходимую рентабельность только при очень больших объемах сырья, начиная от 150-200 тыс. тонн/год и более [2, 3].

На машиностроительных предприятиях Беларуси не собирается таких значительных объемов пыли, соответственно, строительство металлургических комбинатов полного цикла или применение указанных технологий на машиностроительных предприятиях нерентабельно.

Еще одним вариантом утилизации аспирационных пылей плавильных агрегатов является использование их в качестве специальных технологических продуктов: добавок в формовочные смеси для создания легкоотделимого пригара при изготовлении стальных отливок; добавок в стержневые смеси, для изменения их теплопроводности и снижения термических напряжений; добавок в экзотермические смеси вместо окалина; добавок при производстве цементного клинкера; красящего пигмента при производстве стройматериалов. Пыли, образующиеся при плавке легированных (быстрорежущих, нержавеющей, жаропрочных и др. ) сталей могут быть использованы в качестве модификаторов и добавок для микролегирования черных сплавов [5]. Одним из способов утилизации пыли может быть ее применение в качестве сырья, используемого для динамического легирования сталей: легирования заготовок в твердом агрегатном состоянии за счет высокоэнергетического ударного (врывного) взаимодействия с микрообъектами (3-100 микрон), движущимися со сверхзвуковыми скоростями, вызывающего сверхглубокое проникание (СГП) порошковых частиц в металлическую матрицу [6].

Однако, в большинстве случаев такому использованию аспирационных пылей в промышленных масштабах препятствует крайняя нестабильность их характеристик и состава, а те небольшие количества, в которых они применяются, не позволяют решить проблему утилизации в целом.

Наиболее перспективным направлением решения задачи использования аспирационных пылей представляется их рециклинг непосредственно на предприятиях, где они образуются, путем применения специального технологического оборудования. Такой подход позволил бы устранить необходимость в дорогостоящих логистических решениях по сбору, хранению и транспортировке пыли к удаленным местам ее переработки, в гомогенизации и усреднении ее состава, а также снять ограничения, связанные с

незначительными объемами использования пыли в качестве конечного продукта, например, в качестве модификатора некоторых литейных сплавов или сырья для динамического легирования.

В качестве основного оборудования для рециклинга аспирационной пыли пирометаллургическими методами наиболее рациональным представляется использование ротационных наклоняющихся плавильных печей (РНП), которые являются самым эффективным на сегодняшний день плавильным агрегатом для работы на дисперсной шихте. А в качестве технологий прототипов могут быть использованы процессы, разработанные в Белорусском национальном техническом университете для восстановительной плавки железной окалины [7].

### Список использованной литературы

1. Комарова, Л. Ф. Инженерные методы защиты окружающей среды: учебное пособие / Л. Ф. Комарова, Л. А. Кормина. – Барнаул: изд-во «Алтай», 2000. – 395 с.
2. Ровин, С. Л. Исследование и утилизация аспирационной пыли сталеплавильных дуговых печей / С. Л. Ровин, Д. И. Курач, С. В. Григорьев // *Литье и металлургия*. – 2023. – №1. – С. 73-78.
3. Топоркова, Ю. И. Обзор методов переработки пылей электродуговой плавки / Ю. И. Топоркова, Д. Блудова, С. В. Мамяченков, О. С. Анисимова // *iPolytech Journal. Металлургия и материаловедение*, 2021. Т. 25. № 5. С. 643–680.
4. Демин, А. В. Поиск способов утилизации пыли дуговых сталеплавильных печей на Белорусском металлургическом заводе. Части первая и вторая. / А. В. Демин, А. И. Рожков, О. М. Грудницкий, В. В. Николаев, А. В. Феклистов // *Литье и металлургия*. 2015. №3. С. 74-79.
5. Рудницкий, Ф. И. Повышение прочности серого чугуна путем введения в расплав дисперсных добавок / Ф. И. Рудницкий, С. А. Куликов, В. А. Шумигай // *Литье и металлургия*. 2018. № 3. С. 43–49.
6. Яздани-Черати Дж. Х. Динамическое легирование стали порошковыми сгустками / Дж. Х. Яздани-Черати, В. Г. Шарифзянов, Ю. С. Ушеренко, С. М. Ушеренко // *Перспективные материалы и технологии: материалы международного симпозиума 22-26 мая 2017: в 2 ч. / под ред. В. В. Рубаника*. – Витебск: ВГТУ, 2017. – Ч. 2. – С. 212-214.
7. Ровин, С. Л. Применение ротационных наклоняющихся печей для прямого получения железа из окалины и шламов / С. Л. Ровин, Л. Е. Ровин // *Металлургия: Республ. межведом. сб. научн. тр. в 2 ч.* – Минск: БНТУ, 2020. – Вып. 41, ч. 1. – С. 41–61.

# **Машины и технология обработки металлов давлением**

**Магнитные поля и их влияние на процессы ОМД**

Студент гр. 10402221 Литвиненко И.А.

Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

Важной отличительной характеристикой металла являются его магнитные свойства. Путем взаимодействия металла с магнитным полем в металлургии и машиностроении разработан ряд технологий его обработки. Магнитно-импульсная обработка металлов является очень выгодным и эффективным методом ОМД, поэтому она пользуется широкой популярностью среди современных производителей [1].

Магнитное поле – поле, действующее на движущиеся электрические заряды и на тела, обладающие магнитным моментом, независимо от состояния их движения; магнитная составляющая электромагнитного поля (рисунок 1).

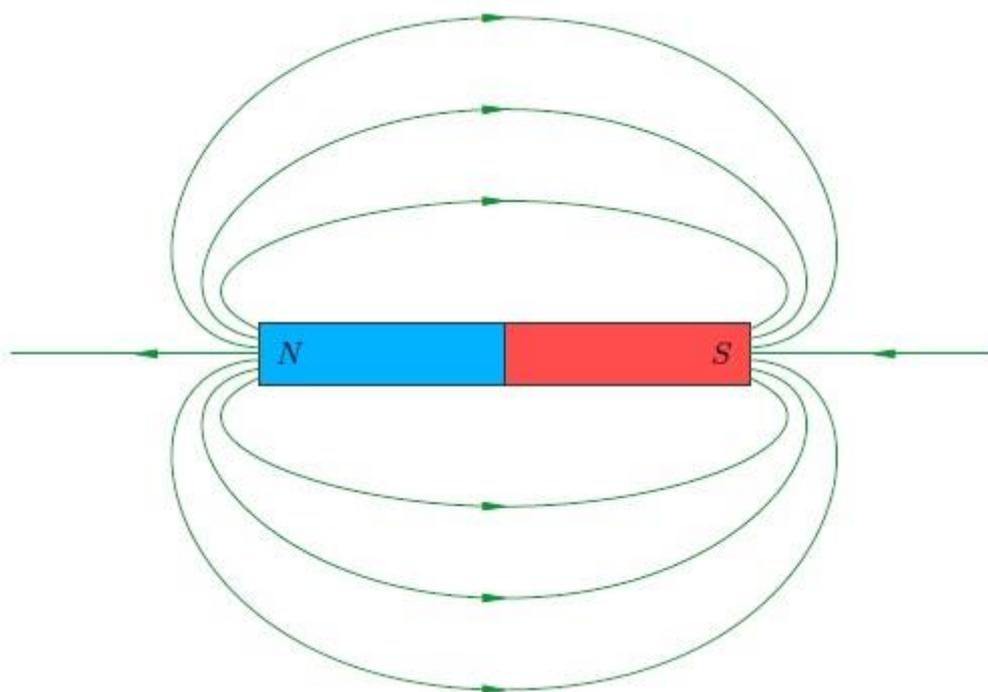


Рисунок 1 – Магнитное поле постоянного магнита

Весьма важно так же то обстоятельство, что с помощью магнитного поля можно регулировать интенсивность развития мартенситного превращения и получать на одной и той же метастабильной аустенитной стали различное сочетание прочностных и пластических свойств.

Так же присутствует магнитно-импульсная обработка металлов. Использование магнитного поля в качестве основной силы воздействия ведет к значительной экономии энергетических ресурсов, повышению экологических показателей заводов и их производительности, расширению списка материалов, с которыми можно работать. Специальные установки, в которых проводится магнитно-импульсная обработка металлов, является источником энергии (рисунок 2). Установки оснащены специальным инструментом, при помощи которого и происходят все процессы [2].

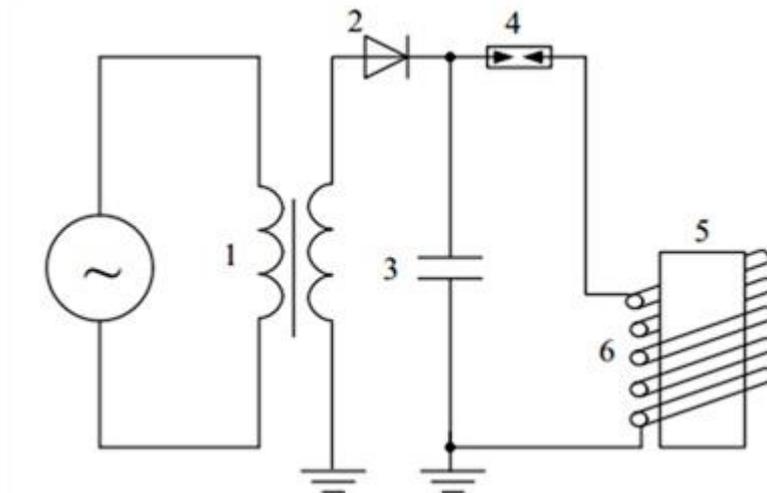


Рисунок 2 – Принципиальная схема электрической цепи установки для магнитно-импульсной обработки металлов:

1 – источник питания; 2 – выпрямитель; 3 – батарея конденсаторов; 4 – коммутирующее устройство; 5 – изделие; 6 – индуктор

Магнитно-импульсная обработка осуществляет такие операции как:

- обжим;
- раздача;
- плоская листовая штамповка.

Улучшение физико-механических показателей металла.

Так же имеет место метод электромагнитной штамповки. ЭМШ является одним из методов пластического формоизменения металлов с использованием импульсного магнитного поля. Принцип действия электромагнитных установок основан на использовании электродинамических сил, возникающих в результате взаимодействия магнитного поля разрядного тока через катушку (индуктор) с полем наведенного тока в заготовке, помещенной в рабочую зону катушки. Давление, деформирующее металлическую заготовку, создается непосредственным воздействием магнитного поля без участия промежуточных твердых, жидких или газообразных тел.

Магнитное поле, с точки зрения термодинамики, является одним из внешних параметров, воздействующих на металл – таким же, как давление и температура. При его воздействии фазовое состояние стали может изменяться. Магнитное поле представляет интерес не только для процессов, происходящих при термической обработке стали. В частности, при обработке давлением метастабильных сталей эффекты самозакалки или пластичности, наведенной превращением, могут интенсифицироваться наложением внешнего магнитного поля.

Как итог магнитное поле является технологическим фактором, применяемым для обработки металлов с целью дополнительного упрочнения сталей или достижения их высокой деформируемости. Действие магнитного поля на материал заготовки основано на взаимодействии с полем ферромагнитных фаз стали. При этом в метастабильных сталях с аустенитной парамагнитной структурой интенсифицируется деформационное мартенситное превращение, а в сталях со структурой на основе ферромагнитного феррита в очаге деформации изменяется напряженное состояние [3].

### Список использованных источников

1 Технология магнитно-импульсной обработки материалов / В. А. Глущенко [и др.]. – Самара: Издательский дом «Федоров», 2014. – 208 с.

2 Магнитно-импульсная обработка материалов / А. Б. Прокофьев [и др.]. – Самара: АНО «Издательство СНЦ», 2019. – 140 с.

3 Электромеханические процессы при магнитно-импульсной обработке металлов / И. В. Белый [и др.]. – Известия ВУЗов. Электромеханика. – 1971. – №4. – С. 442–447.

Магистрант Фролов И.Д.

Научный руководитель - Бежок А.П.

Белорусский национальный технологический университет

Для поддержания конкурентоспособности своей продукции на предприятии ОАО «БМЗ» постоянно проводятся организационно-технические мероприятия, направленные на улучшение потребительских свойств, увеличение объема и повышение рентабельности производства продукции. Связано это с тем, что потребители металлопродукции стали предъявлять повышенные требования к равномерности микроструктуры и механических свойств проката. Решение этой задачи достигается в первую очередь за счет применения технологий, обеспечивающих стабильные технологические параметры на всех этапах производства. Одной из таких задач это создание оптимальной калибровки для клетей стана 320.

Принимая во внимание выше сказанное, было выявлено тонкое место при прокатке на 13-ой клетке, связанное с необходимостью кантовки полосы, после 12-ой клетки полоса приходит с неровными краями. Клетка №13 производит выравнивание, по ширине используя небольшие силы сжатия (клетка №13 с горизонтальным расположением валков, как и остальные в группе). Овальность необходимо убирать, так как в 14 клетке идет разделение прутка на нитки, поэтому необходимо, чтобы заготовка была ровная. К проблемам стоит отнести так же значительную глубину вреза калибра - это усложняет процесс, снижает его стабильность, а валки клетки № 13 имеют малый ресурс. Контроль процесса сложен из-за того, что кантовочные устройства осуществляют прокатку своеобразным витом, что сказывается на качестве заготовки, скорости прокатки и износостойкости валков.

Разработка конструкции калибрующей клетки №13 с использованием трайб-аппарата с вертикальным расположением валков для прокатки без кантовки позволит отказаться от кантовочных устройств, позволит устанавливать изношенные валки в широком диапазоне, а также упростит процесс.

Цель и задачи исследования – исключить кантовку до и после 13-ой клетки, а также совершенствовать калибровку прокатных валков мелкосортного стана 320, с целью повышения качественных характеристик получаемого проката. Для реализации цели были решены следующие задачи:

Проанализированы деформационно-кинематические параметры прокатки;

Определены конструктивные возможности и особенности замены кассеты клетки №13 на трайб-аппарат;

Смоделирован процесс прокатки для трайб-аппарата;

Сделаны выводы по результатам моделирования, даны рекомендации производству.

Объектом исследования является технологический процесс прокатки различного сортового проката на калибрующей клетке №13 мелкосортного прокатного стана 320 ОАО «БМЗ» - управляющая компания холдинга «БМК», обеспечивающий повышение качества проката и тем самым эффективности производства.

Предметом исследования являются методы совершенствования технологических процессов, используемых при производстве катанки из заготовки сечением 125×125 мм.

Методы исследования. В работе использован процесс моделирования методом конечных элементов процесса прокатки сортового проката на мелкосортном прокатном стане 320. Моделирование проводилось для базовой (применяемой на ОАО «БМЗ») калибровки. Сформирован комплект монтажных чертежей для замены кассеты клетки №13 на трайб-аппарат.

Практическая значимость работы. Моделирование процесса прокатки позволило получить данные, которые указывают на достаточные технические характеристики трайб-аппарата

по сравнению с прокатной клетью. Разработанная математическая модель процесса прокатки сортового проката является адекватной численной моделью, что было доказано соответствием полученных результатов моделирования фактическим значениям процесса. Данная математическая модель позволяет анализировать параметры процесса прокатки и отображает возможные пути совершенствования технологического процесса на стадии проектирования.

На стане 320 ОАО «БМЗ» в промежуточной группе клетей 12 и 13 для успешного ведения прокатки арматурных профилей применяется валковая арматура для правильного входа и выхода полосы из валков. Выбор и установка арматуры существенно влияют на производительность прокатного стана, на получение точных размеров и качественной поверхности проката. Поэтому конструированию, подготовке и установке арматуры в прокатных цехах уделяют серьезное внимание. Детали валковой арматуры в процессе работы испытывают динамические воздействия со стороны полосы.

Валковую арматуру можно подразделить на три основных вида:

1. Выводные кантующие коробки (проводки) такие как *RS 6 C* и *RS 9 C* Выводные проводки предназначены для отделения выходящего конца полосы от поверхности калибра и придания ей правильного направления. Проводки клетей промежуточной группы в зависимости от их расположения относительно оси прокатки делятся на нижние и верхние;

2. Вводные кантующие коробки такие как *RE 7 A* и *RE 5 A*

Вводная арматура, обеспечивает правильную подачу полосы в валки и удержание ее в нужном положении при прокатке.

3. Передаточные устройства, передающие полосу от одной клетки к другой.

Форма рабочих поверхностей проводок соответствует сечению полосы. Для обеспечения свободного скольжения полосы и предотвращения наваривания металла ширину рабочей поверхности проводки выполняют на 3–5 мм больше ширины полосы. Нижнюю проводку устанавливают на 3–4 мм ниже дна калибра.

Для кантовки крупных сечений после чётной клетки промежуточной группы сортового стана применяют кантующие ролики.

Работа той или иной конструкции арматуры во многом зависит от выбранного материала. При прокатке рядовых сталей для арматуры скольжения черновых клетей наиболее широкое применение находит литая марганцовистая сталь.

С течением времени конструкция валковой арматуры совершенствовалась, некоторые кантующие коробки и передаточные устройства были изготовлены самостоятельно на ОАО «БМЗ».

Для реализации исследования возможности установки трайб-аппарата вместо клетки № 13 стана 320 с возможностью совершенствования процесса прокатки без кантовки были решены следующие задачи:

1. Установлены энергосиловые параметры процесса прокатки в калибрующей клетке;

2. Разработана численная модель процесса прокатки в клетке № 13 без кантовки металла;

3. Определена конструктивная возможность применения в качестве калибрующей клетки №13 трайб-аппарата;

4. Проведен анализ результатов моделирования с результатом реального процесса. Сделаны выводы по адекватности процесса;

5. Проведён сравнительный анализ результатов без кантовки в клетке № 13 по построенным численным моделям;

6. Сделаны выводы по результатам моделирования, даны рекомендации производству.

В работе использовался процесс моделирования методом конечных элементов процесса прокатки и кантовки металла в клетке № 13 на прокатном стане 320. Моделирование проводилось по базовой (применяемой на ОАО «БМЗ») калибровке.

Разработана математическая модель процесса прокатки без кантовки металла в клетке № 13, с ее помощью можно анализировать деформационные, кинематические и энергосиловые

параметры процесса кантовки. В результате диссертационной работы был определен характер и динамика напряженного состояния очага деформации в клетке №13 стана 320, определено влияние отсутствия кантовки на энергосиловые параметры очага деформации в клетке №13.

Разработаны основные положения для использования и установки в линию прокатки трайб-аппарата. Определены мероприятия для успешной подготовки и наладки оборудования для производственного процесса. Эти разработки будут использованы при прокатке на мелко-сортом стане 320 ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» при производстве всего арматурного сортамента продукции.

Студенты гр. 30402120: Силичев В.В., Скокова О.А.,  
Сергеенко Д.В., Хромых А.А.  
Научный руководитель – Шкурдюк П.А.  
Белорусский национальный технический университет

В данной научно-исследовательской работе мы рассмотрим процесс магнитно-импульсной штамповки, преимущества и недостатки данного способа обработки металлов давлением, а также ознакомимся с областью его применения.

Магнитно-импульсная штамповка характерна тем, что давление на деформируемую металлическую заготовку создается непосредственным воздействием импульсного магнитного поля, без участия промежуточных твердых, жидких или газообразных тел. Это позволяет штамповать детали из полированных и лакированных заготовок без повреждения поверхности, а также деформировать заготовки, заключенные в герметическую пластмассовую оболочку.

Магнитно-импульсная обработка основана на мгновенном разряде электроэнергии, накопленной в конденсаторной батарее, через соответствующий индуктор, являющийся рабочим органом. При этом в цепи индуктора протекает импульс тока, а в окружающем индуктор пространстве возникает импульсное магнитное поле высокой напряженности. Это магнитное поле индуцирует вихревые токи противоположного направления в металлической заготовке, помещенной вблизи индуктора.

При взаимодействии мощного поля индуктора с индуцированным в заготовке током и его магнитным полем возникают электромеханические (пондеромоторные) силы взаимодействия, стремящиеся оттолкнуть заготовку от индуктора и вызывающие ее деформацию. Магнитный импульс длится от 10 до 20 мкс, создавая давление от 3500 кгс/см<sup>2</sup>. до 39000 кгс/см<sup>2</sup>. Так же, как и при штамповке взрывом, длительность магнитного импульса во много раз меньше времени деформации заготовки. Поэтому импульсное магнитное поле непосредственно действует на заготовку лишь в начальный момент, после чего дальнейшая деформация заготовки происходит под действием полученного ею запаса кинетической энергии [1].

Движущаяся заготовка с высокой скоростью (300–400 м/с) ударяется о матрицу, в результате чего возникают огромные силы соударения, деформирующие заготовку. Импульсная магнитная штамповка получила довольно большое применение в промышленности при выполнении различных операций листовой штамповки: вытяжки, вырубки, пробивки отверстий, отбортовки, развальцовки труб, запрессовки штуцеров, обжатия труб и наконечников на тросах, сборки трубчатых деталей с оправками и т. п.

Весьма оригинальной операцией, осуществляемой магнитно-импульсной штамповкой, является пресование резьбы внутри металлических трубок и тонкостенных втулок по резьбовому болту или шпильке.

Магнитно-импульсная штамповка имеет ряд преимуществ перед другими высоко-энергетическими методами:

- возможность точного дозирования мощности импульсного разряда путём изменения ёмкости конденсатора (накопителя);
- повышение точности штампуемых деталей;
- сравнительно высокая производительность процесса;
- возможность автоматизации и встраивания магнитно-импульсных установок в производственный процесс;
- возможность выполнения сборочных операций;

– возможность деформирования заготовок за несколько разрядных импульсов, причём первые импульсы служат для разогрева заготовки и повышения её пластичности.

В результате применения магнитно-импульсной обработки представляется возможной штамповка листовых и трубчатых заготовок толщиной до 5 мм.

Размеры заготовок (диаметр, обрабатываемая площадь) обуславливаются запасом энергии установки, толщиной обрабатываемого материала, конструктивными возможностями индуктора и технологической оснасткой.

Наиболее эффективно магнитно-импульсным методом обрабатываются заготовки из меди, алюминия, магния и их сплавов.

Заготовки из углеродистых (Ст3, Ст10) и легированных (1Х18Н9Т, 30ХГСА) сталей, а также из титановых сплавов можно обрабатывать только с применением прокладок-«спутников», изготовленных, например, из отожженной меди марки М1 [2].

По типу применяемого инструмента и по характеру деформации обрабатываемой заготовки все операции, выполняемые на МИУ, можно разделить на три схемы: раздача, листовая формовка и обжим.

Установлено, что с использованием магнитно-импульсной обработки возможно получение биметаллических соединений, изготовление шарнирных соединений, сварка трубчатых заготовок, запрессовка труб в дисках, трубных досках и т. д., соединение двух изоляционных или металлических деталей путем раздачи трубы с одновременной отбортовкой, поперечная волнистая и плоская в сечении рифтовка, формообразование выступа, продольная рифтовка, формообразование конуса, концевая раздача труб, отбортовка, пуклевка, изготовление резьбы, рифление, калибровка, пробивка отверстий, вырубка, порезка.

При использовании магнитно-импульсной обработки для листовой штамповки применяются плоские спиральные индукторы.

Технологические операции, выполняемые по схеме «листовая формовка»: сборка диска с осью, отбортовка диска, сварка двух листов металла, напрессовка втулок на оси и запрессовка вкладышей в трубах, изготовление деталей типа тарелки или днища, кольцевая заготовка, продольная и поперечная зиговка, пуклевка, неглубокая отбортовка по периферии диска, прямоугольника, круглых и прямоугольных отверстий, формовка тороидальных крышек, рельефная формовка с одновременной рихтовкой недеформируемой части заготовок, калибровка листовых заготовок, пробивка отверстий, вырубка и порезка [3].

С помощью магнитно-импульсной обработки по схеме «обжим» можно выполнить следующие технологические операции: соединение металлических деталей с керамикой, стеклом, пластмассой и другими неметаллическими материалами, опрессовка кабельных наконечников, соединение двух проводов соединительной трубкой, опрессовка наконечников на канаты и др., шлангов высокого давления, опрессовка труб на металлические наконечники, сварка трубчатых заготовок, поперечная волнистая, поперечная плоская в сечении и продольная рифтовка, формообразование впадины, формообразование конуса, редуцирование труб, отбортовка, пуклевка, изготовление резьбы, рифление, калибровка, пробивка отверстий и вырубка, порезка труб.

### **Список использованных источников**

1 Технология магнитно-импульсной обработки материалов / В. А. Глушечков [и др.]. – Самара: Издательский дом «Федоров», 2014. – 208 с.

2 Магнитно-импульсная обработка материалов / А. Б. Прокофьев [и др.]. Самара: АНО «Издательство СНЦ», 2019. – 140 с.

3 Магнитно-импульсная обработка металлов: учебное пособие / А. Г. Синябрюхов [и др.]. Томск: Издательство «ТПУ», 1996. – 46 с.

## Коррозия и окисление металлов

Студенты гр. 10402221: Юнчиц А.А., Гиринский А.И.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Окисление металлов – это процесс, в ходе которого металлические элементы взаимодействуют с кислородом, что приводит к образованию оксидов металлов. Это явление может происходить как при воздействии на металл воздуха, так и воды, при высокой температуре, под воздействием кислот или щелочей.

Коррозия – это нежелательное явление, связанное с окислением металлов, которое может привести к разрушению металлических конструкций, оборудования и техники. Коррозия может быть вызвана различными факторами, включая контакт металла с кислотами или щелочами, взаимодействие металла с солями или другими химическими соединениями, контакт металла с влагой и кислородом воздуха, а также электрическими токами [1].

Коррозия может происходить на различных типах металлов, включая железо, сталь, алюминий, медь и цинк. Она может проявляться в разных формах, например, в виде пятен, сквозных отверстий, складок, трещин или облупливания поверхности металла.

Чтобы защитить металлические конструкции и оборудование от коррозии, применяются различные методы, включая использование специальных покрытий и защитных слоев, регулирование условий эксплуатации, а также применение антикоррозионных добавок и ингибиторов коррозии.

Окисление металлов и коррозия являются серьезными проблемами в обработке материалов давления, так как это может привести к ухудшению качества изделий, снижению их долговечности и безопасности. Окисление металлов происходит при взаимодействии металла с кислородом воздуха или другими окислительными средствами. В результате образуются оксиды металлов, которые могут привести к снижению качества поверхности изделий и, в случае металлов, не способных к пассивации, к разрушению материала [2].

Коррозия также может происходить из-за взаимодействия металла с другими агрессивными средствами, такими как вода, кислоты или щелочи. Это может привести к образованию нежелательных соединений на поверхности металла, которые могут привести к ускоренной коррозии.

В обработке материалов давления для предотвращения окисления металлов и коррозии применяются различные методы. Некоторые из них включают: покрытие поверхности металла защитным покрытием, таким как краски, лаки или металлические покрытия.

Использование специальных легированных металлов, которые более устойчивы к окислению и коррозии.

Использование специальных методов обработки поверхности, таких как пескоструйная обработка или шлифование, которые помогают удалить слой оксида и повысить сцепление между покрытием и металлом.

Контроль окружающей среды, например, путем поддержания правильного уровня влажности и температуры, чтобы уменьшить воздействие окислительных средств на поверхность металла.

Регулярное обслуживание и ремонт оборудования, чтобы избежать непредвиденных поломок и утечек, которые могут привести к коррозии и другим повреждениям

### **Список использованных источников**

- 1 Коррозия и защита металлов. В 2 ч. Ч. 1. Методы исследований коррозионных процессов: учебно-методическое пособие/ Н. Г. Россина [и др. ]. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 108 с.
- 2 Коррозия и защита металлов / М. А. Шлугер [и др. ]: М. :Металлургия, 1981. – 216 с.

**Высокоточная горячая объемная штамповка**

Студент гр. 10402119 Гаворовский А.П.

Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

**Преимущества высокоточной горячей объемной штамповки**

Точная горячая штамповка является весьма производительным и экономически эффективным процессом, одновременно обеспечивающим значительное повышение качества и точности продукции. Вследствие этого ее можно отнести к прогрессивным «скоростным» методам обработки металлов, подлежащим внедрению во всех отраслях промышленности. По сравнению с другими способами обработки металлов точная горячая штамповка имеет следующие преимущества:

1) уменьшает величину припусков на обработку, в результате чего помимо экономии станкочасов, затрачиваемых на снятие стружки, одновременно экономится и металл, неизменно превращаемый в стружку;

2) увеличивает механические свойства деталей по сравнению с деталями, обработанными кругом, так как в первом случае сохраняется верхний слой, и волокна нигде не перерезаются;

3) значительно повышает точность и качество поверхности штампованных поковок.

Опыт передовых заводов, а также технико-экономические подсчеты показывают, что точная горячая штамповка технически осуществима в любой отрасли промышленности и всегда себя оправдывает, за исключением некоторых случаев индивидуального производства. При этом надо считаться с тем, что иногда она вызывает увеличение стоимости поковки, покрываемое экономией при последующей обработке в механических цехах [1].

**Области применения точной горячей штамповки**

В таблице 1 перечислены детали, которые изготавливаются различными заводами по способу точной горячей штамповки.

Таблица 1 – Детали, изготавливаемые точной горячей штамповкой

Наименование деталей	Оборудование
Ручной инструмент: ключи гаечные, плоскогубцы. Ширпотреб: бритвы и т. д.	Штамповочные молоты с доской
Хирургический и слесарный инструмент – 150 наименований	Штамповочные молоты
Детали авто-и авиамооторов	
Кольца подшипниковые	Горизонтально-ковочные машины
Клапаны моторов	

Таким образом, область применения точной горячей штамповки не ограничена ручным инструментом; она проникла во все отрасли промышленности с крупносерийным и массовым производством.

Все, что сказано о точной горячей штамповке в настоящей работе, относится к мелким деталям весом до 3 кг. Точная горячая штамповка применяется, как правило, для небольших деталей. Однако принципиальных препятствий к переносу этого опыта на средние и даже крупные детали нет.

Дальнейшее развитие точной горячей штамповки должно идти по линии расширения областей применения ее не только за счет других отраслей промышленности, но и за счет охвата деталей весом более 3 кг [2].

Как процесс более производительный, чем существующие, дающий большой экономический эффект с одновременным повышением качества продукции, точная горячая штамповка должна занять в промышленности такое же важное место, как скоростная станочная обработка.

#### **Список использованных источников**

1 Семенов, Е. И. Горячая штамповка: учебное пособие / Е. И. Семенов. – М. : Московский государственный технический университет, 2013. – 204 с.

2 Золотов, А. М. Научные основы проектирования высокоточной горячей штамповки / А. М. Золотов. – СПб: Университет Петра Великого, 2003. – 351 с.

## Термомеханическая обработка

Студент гр. 10402119 Головин П.В.  
 Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

Термомеханическая обработка (ТМО) является методом обработки, позволяющим повысить механические свойства металлических материалов. ТМО – это совокупность операций пластической деформации и термической обработки, совмещенных в одном технологическом процессе, который включает нагрев, пластическое деформирование и охлаждение. Термомеханическое воздействие приводит к получению структурного состояния, которое обеспечивает повышение механических свойств.

Оптимальное сочетание пластической деформации и фазовых превращений приводит к повышению плотности и более правильному расположению несовершенств кристаллической решетки металла [1].

Различают два основных вида ТМО: высокотемпературную термомеханическую обработку (ВТМО) (рисунок 1, а) и низкотемпературную термомеханическую обработку (НТМО) (рисунок 1, б).

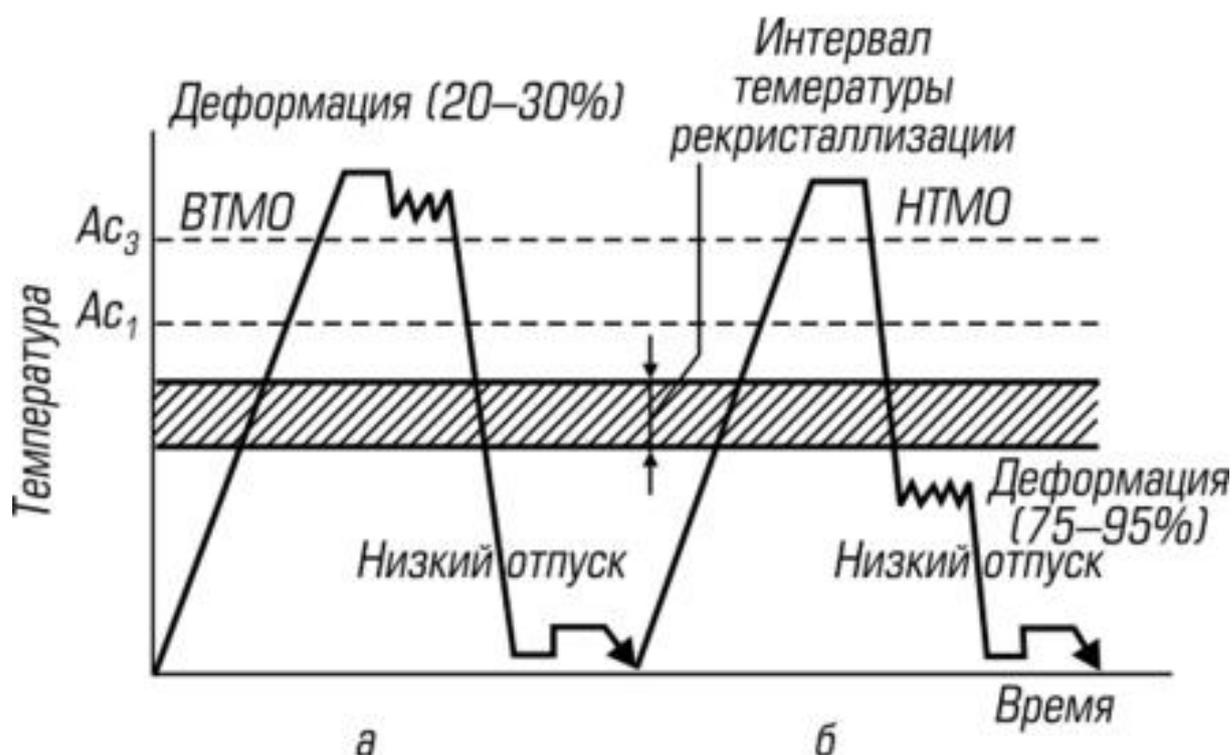


Рисунок 1 – Схемы термомеханической обработки:  
 а – высокотемпературная; б – низкотемпературная

При ВТМО деформация производится при температуре выше температуры рекристаллизации (при этом сталь имеет аустенитную структуру). Степень деформации 20–30%.

Во избежание рекристаллизации вслед за деформацией незамедлительно производится закалка ( $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) с последующим низкотемпературным отпуском ( $100\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

НТМО применяется только для легированных сталей, обладающих значительной устойчивостью переохлажденного аустенита. При НТМО деформация производится ниже температуры рекристаллизации (400–600 °С), степень деформации 75–85 %. Закалку производят сразу после деформации, а затем следует низкотемпературный отпуск (100–200 °С).

Недостатками такой обработки являются, во-первых, необходимость использования мощного оборудования для деформирования, во-вторых, стали после НТМО имеют невысокую сопротивляемость хрупкому разрушению.

Если при обычной термической обработке сталь имеет временное сопротивление при растяжении 2000–2500 МПа, то после ТМО оно достигает 2200–3000 МПа, при этом пластичность увеличивается в два раза (удлинение с 3–4% повышается до 6–8%) [2].

#### **Список использованных источников**

1 Захаров, Б. П. Термическая обработка металлов / Б. П. Захаров. – М. : Изд-во МАШГИЗ, 2006. – 204 с.

2 Новиков, И. И. Термическая обработка металлов и сплавов / И. И. Новиков – М. : Изд-во Металлургиздат., 2003. – 251 с.

## Исследование влияния калибровки инструмента на формоизменение металла при прокатке труб

Студент гр. 10402120 Цымбалюк Е.В.

Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

Одной из важных научно-технических проблем является уменьшение разностенности и уменьшение брака труб. Эта проблема актуальна для многих заводов, связанных с этой отраслью. Для примера возьмем трубопрокатный агрегат ТПА – 140 с автоматическим раскатным станом, который состоит из двух станов продольной прокатки СПР-1 и СПП-2, раскатка происходит при не высоких коэффициентах вытяжки. На СПП-1 коэффициент вытяжки  $=1,16 \div 1,5$ , а на СПП-2  $=1,07 \div 1,15$ .

В процессе прокатки в первом случае появляется увеличение стенки в выпусках калибра и в результате чего образуются лампасы, в итоге приводит к разностенности этих труб. После, при прокате в СПП-2 на вершинах калибров из-за встречного течения металла появляются зажимы. Что приводит к появлению дефекта «риска». Известно, что в процессе обработки материалов давление формоизменение в большой степени зависит от калибровки. В связи с этим основной задачей является исследование протекания металла при пластической обработке и по этим данным создание новых калибровок. В этой работе представлено исследование влияние угла конусности оправки на формоизменение трубы [1].

Исследование сделано с помощью программы моделирования. Во всех вычислительных экспериментах диаметр и толщина гильзы были равны  $D_r=159$  мм и  $S_r=10$  мм; диаметр и толщина стенки черновой трубы составляли  $D_c=149$  мм и  $S_c=7$  мм. Угол конусности приняли равным  $6^\circ$ ,  $8^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $12^\circ$  и  $14^\circ$ . Для понимания формоизменения металла в вершинах и выпусках калибра ввели параметр  $S_{\text{вып}}/S_{\text{верш}}$ .  $S_{\text{вып}}$  и  $S_{\text{верш}}$  - толщина черновой трубы в выпуск, который характеризует толщину стенки в выпуски и вершине калибра. В процессе вычислений узнали, что при  $S_{\text{вып}}/S_{\text{верш}} > 1,8$  образуется дефект «риска». Таким образом получается что если увеличить угол конусности от  $6^\circ$  до  $14^\circ$  происходит увеличение параметра от 1,32 до 1,49.

Чрезмерное увеличение параметра  $S_{\text{вып}}/S_{\text{верш}}$  приводит к тому, что лампас увеличивается, возрастает разностенность труб, а также повышается вероятность образования дефекта «риска». Таким образом, при уменьшении угла конусности уменьшается шанс на вышеуказанные дефекты.

### Список использованных источников

1 Устинова, Е. И. Выбор оптимальной схемы калибровки валков для прокатки швеллеров / Е. И. Устинова, А. М Михайленко, Д. Шварц // Сб. ст: Magnitogorsk Rolling Practice 2018: материалы III молодежной научно-практической конференции. –Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, – 2018. – С. 52–53.

## Обзор прокатного стана

Студенты гр. 10402221: Апанасевич Е.В., Мусский А.А.  
 Научный руководитель – Томило В.А.  
 Белорусский национальный технический университет

Процесс прокатки на прокатном стане основан на принципе прокатывания заготовки между валками и превращая в листы.

Прокатный стан – комплекс оборудования, в процессе которого происходит пластическая деформация металла при сдавливании вращающимися валками. Результатом становится металлическая заготовка, которая изменяет свою форму и внутреннюю структуру [1].

Прокатный стан состоит из нескольких частей (рисунок 1):

- рабочая клеть;
- шпиндель;
- шестеренная клеть;
- муфта;
- редуктор;
- электродвигатель.



Рисунок 1 – Схема прокатного стана

Рабочая клеть-основной элемент главной линии прокатного стана, который включает в себя: устройства для размещения, регулирования и закрепления прокатных валков; деформации металла в прокатных валках. Рабочая клеть состоит из 2-х массивных литых станин чугунного или стального материала, которые установлены на шихтовинах, которые прикреплены анкерными болтами к фундаменту.

Схемы расположения рабочих клеток в прокатном стане:

- одноклетевая;
- линейная;
- последовательная;
- комбинированные;
- непрерывная;

Классификация рабочих клеток по количеству и расположению валков:

- клетки дуо (двухвалковые);
  - клетки трио (нереверсивные);

- клетки кварто (четырёхвалковые);
- многовалковые клетки;
- универсальные клетки;
- клетки специальной конструкции.

Классификация станов по расположению рабочих клеток:

Одноклетьевые станы

Самые простые, к ним относят слябинги, блюминги, универсальные станы и толстолистовые кварто.

Линейные станы.

В движение приводятся одним электродвигателем, поэтому эти станы нереверсивны.

Их применяют как толстолистовые, сортовые, рельсобалочные и проволочные.

Непрерывные клетки

Металл при прокатке на станах такого типа находится одновременно в нескольких клетях, из-за этого скорость вращения валков в клетях должна регулироваться и подбираться так, чтобы расход металла в любой клетке был постоянным и равным.

Полунепрерывные клетки

Применяются в горячей прокатке листов и рулонов.

Перспективность прокатного стана состоит в его рационально сконструированности, низкие эксплуатационные расходы, высокая точность производимой им холоднокатанной полосовой стали, короткий период [2].

#### **Список использованных источников**

1 Барков, Н. А. Оборудование прокатно-прессово-волочильных цехов: учеб. пособие / Н. А. Барков. – К: Сибирский федеральный университет, 2011. – 25 с.

2 Долженков, Ф. Е. Оборудование прокатных станов: учеб пособие / Ф. Е. Долженков. – Д: Донецкий Национальный Технический Университет, 2005. – 44 с.

## Штамповка в производстве протезов костей и суставов

Студент гр. 10402119 Биленко Ю.Э.  
 Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

Эндопротезирование сустава – это один из самых современных методов оперативного лечения заболеваний опорно-двигательного аппарата, в ходе которого патологически измененные структуры, образующие сустав, заменяются на искусственные протезы, которые имеют анатомическую форму здорового сустава и позволяют выполнять весь объём движений [1].

Исходя из возраста и рода деятельности человека, могут устанавливаться как временные протезы со сроком эксплуатации до 20 лет, так и постоянные с сроком эксплуатации вплоть до смерти человека. Различия между временным имплантом и постоянным в основном заключаются в длине устанавливаемой ножки. У временных протезов ножка короче, что позволяет в большей степени сохранить кости человека. В постоянных же ножка длиннее, что в большей степени изменяет кость человека, но в то же время куда надёжнее.

На рисунке 1 представлена чаша после штамповки и уже слесарно-обработанная чаша. Как видно основной целью штамповки является снижения расходов и ускорение производства, благодаря уменьшению объёма используемого металла.



Рисунок 1– Примеры чашек эндопротезов

Материалы, из которых изготавливают современные эндопротезы суставов, обладают высокой прочностью и хорошей приживаемостью в организме человека. Металлические эндопротезы изготавливают из различных нержавеющей стальных сплавов. Они фиксируются к кости с помощью специального костного цемента. Для изготовления компонентов эндопротезов используют сплавы титана. А для изготовления поверхностей скольжения применяют сверхпрочный полиэтилен и алюмооксидную керамику, кобальт, хром, керамизированный металл OXINIUM. Эти материалы обладают хорошей износостойкостью, а также легко поддаются обработке для достижения хорошего сопряжения компонентов протеза [2].

Круг материалов, совместимых с телом человека, достаточно ограничен, поэтому мы будем рассматривать работа посвящена исследованию процесса горячей объемной штамповки поковок эндопротезов из высокопрочного деформируемого титанового сплава ВТ6. Сплавы типа ВТ6, принадлежащие к  $\alpha+\beta$ -классу, относятся к числу наиболее распространенных титановых сплавов. Их используют для изготовления крупногабаритных сварных и сборных конструкций летательных аппаратов, баллонов, работающих под внутренним давлением в широком интервале температур (от  $-196$  до  $+450$  °С), и целого ряда других конструктивных элементов авиационной, ракетной и гражданской техники. Около 50 % используемого в авиакосмической промышленности титана приходится на сплав ВТ6.

Эффективным методом обработки указанного материала является горячая объемная штамповка, улучшающей структуру, свойства и эксплуатационных характеристики изделий,

что обуславливает значительное повышение технико-экономических показателей производства [3].

Температурный интервал горячей штамповки титана и его сплавов близок к температурному интервалуковки. Основными факторами, определяющими характер структуры титановых сплавов, являются температура, степень и скорость деформации. Низкая теплопроводность титана и высокий коэффициент трения между металлом и инструментом приводят к неравномерности деформации и к неоднородности структуры и свойств в объеме штампуемой заготовки. Разнозернистость по сечению детали является следствием того, что наравне с зонами интенсивного течения металла в заготовке образуются области затруднённой деформации. Поскольку в процессе деформации наблюдается тепловой эффект, температура заготовки повышается. При этом в зонах интенсивной деформации, где локализуется тепловой эффект, температура металла может значительно превышать температуру фазового превращения сплава. В зонах затруднённой деформации образуется крупнозернистая структура с пониженной пластичностью и выносливостью. Снижение температуры нагрева под штамповку может в определённой степени исключить опасность местного перегрева заготовки. Однако снижение температуры приводит к увеличению сопротивления деформированию, износа инструмента, расхода энергии, необходимости использовать более мощное оборудование [4].

Штамповку титановых заготовок осуществляют на гидравлических и кривошипных прессах. При штамповке на прессах металл деформируется приблизительно в 1,5 раза проще, чем на молотах, что повышает стойкость штамповой оснастки, а также опасность перегрева металла и превышения температуры  $\beta$ -превращения. При штамповке на гидравлических прессах происходит более равномерная деформация и проработка структуры. Пластичность титановых сплавов при штамповке на прессах увеличивается на 10–20 %.

Наиболее рациональным для эффективного производства эндопротезов тазобедренного сустава из титанового сплава ВТ6 может быть технология горячей объемной штамповки.

#### **Список использованных источников**

1 Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.orthoscheb.com/technology/endoprotezirovanie-sustavov>. – Дата доступа: 08. 02. 2023.

2 Научный журнал Успехи современного естествознания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=35400>. – Дата доступа: 08. 02. 2023.

3 Центральный металлический портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://metallichekiy-portal.ru/marki\\_metallovtitVT6](https://metallichekiy-portal.ru/marki_metallovtitVT6). – Дата доступа: 08. 02. 2023.

4 Новостной портал Беларусь сегодня [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/titany-meditsinskoymysli.html>. – Дата доступа: 08. 02. 2023.

## Пути совершенствования технологии штамповки на КГШП для деталей поглощающих аппаратов

Студент гр. 10402120 Бородич Л.А.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Основным техническим назначением этих устройств является гашение энергии удара, возникающей при комплектации составов в автоматическом режиме.

Отсутствие рациональных подготовительных операций при штамповке поковок типа пластин и пластин с отрезками на кривошипных горячештамповочных прессах, а также износ опорных шеек коленчатого вала заводского пресса обуславливает наличие неравномерных зазоров при упругой деформации системы пресс и штамп и приводит к перерасходу металла.

Процессы осадки сопровождаются неравномерным течением металла, характер которого зависит от температурных и скоростных условий деформации, формы инструмента и степени деформации обрабатываемой детали. Коэффициент контактного трения играет важную роль на формоизменение, а также, соотношение размеров заготовки, условия ее остывания и другие факторы. Следовательно, неравномерность деформации при осадке можно контролировать и эффективно использовать для естественного профилирования заготовок без штамповки в технологияхковки и штамповочной штамповки [1].

Целесообразно внедрять операций осадки выпуклыми продолговатыми пластинами заготовок или слитков в технологииковки поковок пластинчатого типа, это позволяет сократить отходы за счет уменьшения размера «язычков» при протяжке. Аналогичное использование выпуклых продолговатых осадочных плит для перераспределения металла на подготовительных переходах объемной штамповки обеспечит улучшение заполнения конечных ручьев при производстве поковок, близким к прямоугольнику.

Базовая технология кузнечного производства «неподвижная пластина» включает нагрев прутка перед резкой, отрезку цилиндрической заготовки размерами 80–100 мм (вес 4,55 кг), нагрев ее до 1100°С (нагрев возможен как в камерной газовой печи, так и в кузнечном-индукционном нагревателе), вертикальная установка и осадка плоскими плитами на 20% служит для сбивания окалины, предварительная и окончательная штамповка в открытых потоках КГШП 40 МН. Обрезку стружки осуществляют в горячем виде на обрезном прессе с усилием 3,0 МН. Поковка подается от КГШП на обрезной пресс транспортером [2].

Быстрое охлаждение плоских поковок на штампе повышает устойчивость металла к деформации, что дополнительно способствует раскрытию системы пресс и штамп и проявлению «недоштамповки». Масса стружки при изготовлении поковки «неподвижной пластины» достигает 1,5 кг, т. е. до 68 % от массы поковки, а при штамповке поковки «опорной пластины» – до 2,8 кг, т. е. до 59 % от массы поковки. Для того чтобы стабилизировать конечные размеры поковок в области полотна и отрезков и, соответственно, уменьшить брак, необходимо либо создавать большие удельные усилия на гравировку, что требует использования оборудования большей мощности, либо перераспределять деформации по переходам штамповки с локализацией давления в зонах сложной формы.

На основе предлагаемого способа повышается эффективность процессов штамповки поковок из пластин за счет использования подготовительно-заготовительной осадки выпуклыми продолговатыми пластинами. Чтобы уменьшить перекосы в системе пресс и штамп и устранить влияние зазоров в системе коленчатых валов, блок штампов крепится к ползуну прессы.

Таким образом, обеспечивается законченность конструкции полотна и процессов поковок, исключается «недоштамповка» с уменьшением толщины стружки до нормируемого значения (5–6,2 мм). Было отмечено увеличение долговечности готовых гравюр штампа на 23 %. Перспективным направлением исследований является определение ограничений рассматриваемого метода профилирования по возможностям формообразования процессов типовых поковок.

#### **Список использованных источников**

- 1 Полухин, П. И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов: справочник / П. И. Полухин. – М.: Металлургия. – 1983. – 352 с.
- 2 Ковка и штамповка: справочник / Е. И. Семенова [и др.] в 4 т. Т. 2. Горячая объемная штамповка / под ред. – М.: Машиностроение, 1986. – 592 с.
- 3 Банкетов, А. Н. Кузнечно-штамповочное оборудование / А. Н. Банкетов, Ю. А. Бочаров. – М.: Металлургия. – 1982. – 243 с.

**Рабочее оборудование для импульсной штамповки**

Студент гр. 10402221 Вашкевич А.А.

Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

Импульсная штамповка – это технологический процесс, используемый для обработки металла и других материалов путем нанесения на них определенной формы и размера. Рабочая среда для импульсной штамповки включает в себя штамповочный пресс, инструменты и приспособления, материалы и технологические процессы. В данном реферате мы рассмотрим основные требования к рабочей среде для импульсной штамповки и методы ее оптимизации.

Основным требованием к рабочей среде для импульсной штамповки является высокая точность и повторяемость результатов. Это достигается за счет использования специальных приспособлений, контрольно-измерительных приборов и калибров, которые позволяют контролировать размер и форму изделий в процессе их изготовления.

Кроме того, для достижения высокой производительности и надежности оборудования необходимо использовать специальные материалы и технологические процессы, а также регулярно проводить техническое обслуживание и контроль качества.

Еще одним важным требованием к рабочей среде для импульсной штамповки является безопасность операторов. Для этого используются специальные защитные приспособления и проводится обучение правильной технике работы с оборудованием.

Штамповочный пресс является оборудованием для преобразования энергии в импульсной штамповке. Он представляет собой механическое устройство, которое применяет силу для формования материала в определенную форму.

Основные параметры штамповочного пресса, влияющие на качество изделий и производительность, скорость движения штампа, глубина хода и частота ударов. Для оптимизации работы штамповочного пресса необходимо правильно настроить его параметры и обеспечить регулярное техническое обслуживание.

Инструментом для импульсной штамповки является штамп. Штамп – это специальный инструмент, который используется для нанесения на материал определенной формы и размера. Он может быть выполнен из различных материалов, в зависимости от требований к обрабатываемому материалу и характеристикам процесса штамповки.

Рабочая среда для импульсной штамповки должна соответствовать определенным требованиям, чтобы обеспечить высокое качество процесса штамповки и безопасность для операторов. Основные требования к рабочей среде для импульсной штамповки включают в себя:

1) Оборудование. Для проведения процесса импульсной штамповки необходимо использовать специальное оборудование, включающее в себя генератор импульсов, пресс, систему управления и контроля. Каждый компонент оборудования должен соответствовать требованиям безопасности и надежности, чтобы обеспечить успешный процесс штамповки.

2) Вентиляция. При проведении импульсной штамповки происходит выброс мелких частиц материала и пыли, что может быть опасно для здоровья операторов и привести к загрязнению рабочей среды. Поэтому необходимо обеспечить эффективную систему вентиляции, которая будет удалять вредные выбросы из рабочей зоны.

3) Освещение. Импульсная штамповка требует высокой точности и аккуратности, поэтому необходимо обеспечить хорошее освещение рабочей зоны, чтобы операторы могли работать с максимальной точностью и безопасностью.

4) Защитное оборудование. Для безопасной работы с оборудованием импульсной штамповки необходимо использовать защитное оборудование, включающее в себя очки,

маски, перчатки, наушники и другие средства защиты. Это позволит избежать возможных травм и повреждений [1].

Для импульсной штамповки можно выделить следующие основные элементы:

1) Штамповочный пресс – основной элемент установки, который применяет силу для формования материала в определенную форму. Пресс может быть как ручным, так и автоматическим.

2) Штамп – инструмент, который используется для нанесения на материал определенной формы и размера.

3) Материал – предмет, который обрабатывается в процессе импульсной штамповки. Материал может быть металлическим, пластмассовым или любым другим материалом, который может быть обработан с помощью данной технологии.

4) Контрольно-измерительные приборы – используются для контроля размеров и формы изделий в процессе их изготовления.

5) Калибры – используются для проверки размеров и формы изделий после прохождения через штамп.

6) Приспособления – используются для фиксации материала и штампа в процессе обработки.

7) Электроды – используются для передачи электрического заряда на материал во время процесса импульсной штамповки.

8) Электропитание – обеспечивает питание для прессы и электродов.

9) Управляющая панель – используется для управления параметрами прессы и других элементов установки.

10) Защитные приспособления – используются для обеспечения безопасности оператора и окружающей среды в процессе работы с установкой.

Таким образом, схема установки для импульсной штамповки представляет собой сложную систему, состоящую из нескольких элементов, которые взаимодействуют между собой для формирования материала в определенную форму и размер [2].

#### **Список использованных источников**

1 Энциклопедия по машиностроению XXL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mash-xxl.info/info/51314/>. – Дата доступа: 10. 03. 2023.

2 Гуляев, А. П. Магнитно-импульсная обработка металлов / А. П. Гуляев. – Воронеж: ЭНИКМАШ, 1986. – 542 с.

**Термомеханическая обработка ударным прессованием**

Студент гр. 10402120 Винниченко А.Д.

Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

Ударная экструзия – это процесс формовки металла, при котором заготовка-полуфабрикат сжимается через отверстие в матрице для получения изделия с меньшей площадью поперечного сечения. Они классифицируются в зависимости от направления потока материала и геометрии формируемого продукта. Процесс, который исследуется в этом исследовании, называется экструзией стержня вперед.

Выдавливание стержней вперед представляет собой процесс формования металла с преобладанием сжимающих напряжений, хотя при определенных обстоятельствах также возникают растягивающие напряжения [1]. В зоне пластической деформации большие смещения на внешнем конусе приводят к увлечению центра в обратном направлении течения материала. Таким образом, сжимающие напряжения в центре постепенно уменьшаются и могут наблюдаться растягивающие напряжения. Это особенно критично с точки зрения целостности заготовки при обработке соединяемых разнородных материалов. Что касается их практики сварки, то в зоне соединения есть некоторые дефекты, такие как пустоты. При наличии растягивающих напряжений пустоты, имеющиеся в зоне соединения, перерастают в трещины и распространяются. Эти трещины остаются в микроструктуре после формирования и отрицательно влияют на свойства продукта. При деформации может иметь место даже полное отделение двух материалов друг от друга. Поэтому возникновение растягивающих напряжений следует поддерживать на допустимом уровне конструктивными средствами. Считается, что хороший контроль над напряженным состоянием в зоне соединения может быть достигнут за счет использования специальной оснастки с функцией наложения противодействующей силы.

Поперечное сечение разработанной оснастки для ударного выдавливания показано на рисунке 1.

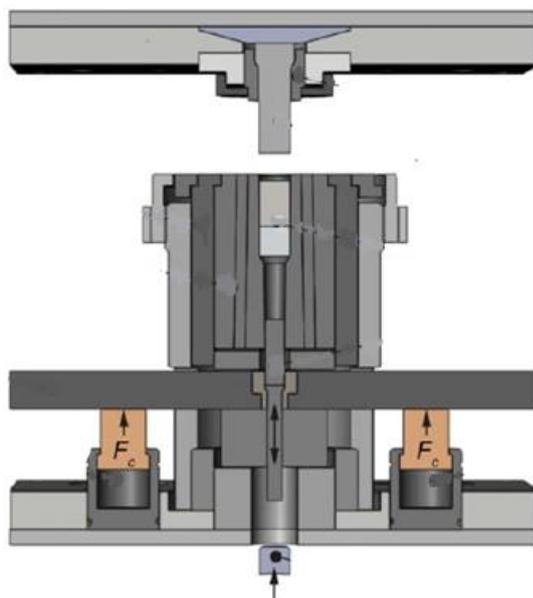


Рисунок 1 – Инструмент для ударной экструзии с функцией наложения противодействующей силы

Под предварительно напряженным пресс-формой расположен механизм наложения противодействия, основными компонентами которого являются поперечная балка, две сверхмощные газовые пружины и ответный штифт. Газовые пружины встроены в опорную плиту для поддержки поперечной балки с обоих концов. Размеры компонентов были определены таким образом, что к тому времени, когда зона соединения начнет входить в конус матрицы, кончик экструдированного участка будет контактировать с ответным штифтом и начнет вызывать смещения вниз [2]. Движение контрштифта вниз ограничивается поперечной балкой из-за конического сопряжения в центре. Следовательно, приложенные смещения будут передаваться на газовые пружины.

Сопротивление газовых пружин приложенным смещениям создаст требуемую противодействующую силу. Величину противодействующей силы можно изменить, просто регулируя давление наполнения газовых пружин, что обеспечивает простое средство для оценки влияния величины противодействующей силы на свойства зоны соединения. Максимальная противодействующая сила, которая может быть достигнута при использовании этой установки, составляет приблизительно 110 кН. После завершения хода деформации пуансон возвращается в верхнюю мертвую точку, а сформированная заготовка высвобождается из штампа с помощью встроенного выталкивателя пресса. Максимальная противодействующая сила, которая может быть достигнута при использовании этой установки, составляет приблизительно 110 кН. После завершения хода деформации пуансон возвращается в верхнюю мертвую точку, а сформированная заготовка высвобождается из штампа с помощью встроенного выталкивателя пресса. Максимальная противодействующая сила, которая может быть достигнута при использовании этой установки, составляет приблизительно 110 кН. После завершения хода деформации пуансон возвращается в верхнюю мертвую точку, а сформированная заготовка высвобождается из штампа с помощью встроенного выталкивателя пресса.

#### **Список использованных источников**

- 1 Сторожев, М. В. Ковка и объемная штамповка стали: справочник / М. В. Сторожев. – М. : Машиностроение, 1967. – 156 с.
- 2 Семенов, Е. Н. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка и штамповка : справочник / Е. Н. Семенов. – Изд. 2-е. – М. : URSS, 1986. – 67 с.

**Особенности обработки титана давлением**

Студент: гр. 10402120 Гаан В.В.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Обработка титана и его сплавов имеет много важных особенностей. Титан и его сплавы требуют узкого диапазона температуры для обработки. Титан может нагреваться в электрических или пламенных печах, где он изолируется от прямого контакта с огнем. Температура аллотропического превращения для чистого титана равна 882–885 °С.  $\alpha$ -титан пластичнее  $\beta$ -титана, что объясняется особенностями кристаллической структуры. Примеси в титане (кислород, азот, водород и др.) значительно ухудшают его пластичность. Все это следует учитывать при разработке технологииковки, штамповки, прессования и прокатки технического титана.

Из-за высоких значений предела прочности и текучести, а также низких антифрикционных свойств холоднаяпластическая деформация титановых листов являетсяболее трудной операцией, чем стальных. Ввидубольшой прочности титана и повышенных сил трения требуется более мощное оборудование и происходит быстрый износ штампов. На заготовках под штамповку не допускаются зазубрины, выбоины, резцы и пр., так как титан очень чувствителен к концентраторам напряжений, которые во время деформирования могут привести к трещинам и разрывам. Кромки заготовок приходится тщательно зачищать и округлять. При нагреве заготовокнеобходимо учитывать возможную анизотропию свойств титановых листов [1].

Вследствие роста зерен при высоких температурах (особенно выше 870 °С) пластичность титана снижается. Поэтому большую часть операций по обработке титана и его сплавов производят при температуре 790 °С, чтобы не снижать их механические свойства. Для улучшения свойств готовую поковку подвергают отжигу.

Титан и его сплавы обрабатывают свободной ковкой на том же оборудовании, что и сталь, но при меньшей скорости деформации. Объемная штамповка титана отличается от объемной штамповки стали. При построении штампов для титана необходимо применять большие уклоны (10 %) и большие радиусы в переходах. Заготовки из титана и его сплавов нагреваются до 870–980 °С, что обеспечивает хорошее заполнение штампов.

Прокатка титана и его сплавов для изготовления листов, фасонных профилей из проката и труб. Оборудование для прокатки титана такое же, как и для прокатки стали. Листы получают горячей и холодной прокаткой заготовок. Толстые и плотные листы прокатывают из кованных сутунок на линейных и непрерывных станциях. При прокатке толстых листов заготовки нагревают до 1050–1100 °С, а тонкие – не выше 1000 °С. Простые профили (круг, квадрат, уголок) прокатывают на сортовых станках по той же технологической схеме, как и нержавеющей сталь [2].

При штамповке применяют выколотку как вспомогательную операцию. Производят выколотку на пневматических выколоточных молотах и ручным способом припомощи молотка и специального инструмента. Выколотку пластичных титановых сплавов (BT1-0, OT4-0) можно производить в холодном состоянии промежуточными отжигами или с нагревом до 300–500 °С и окончательным отжигом после изготовления. Остальные сплавы длявыколотки требуют обязательного нагрева па 550–700 °С. Вытяжку титана обычно сопровождают использованием графитовой смазкой (50 % графита и 50 % масла). При прессовании титановых сплавов смазкой служит смесь, содержащей графит, слюду и другие добавки. Матрицы, изготовленные из карбида титана, устраняют налипание металла к их поверхности и обеспечивают хорошее качество изделий.

### **Список использованных источников**

1 Мажарова, Г. Е. Обработка титановых сплавов давлением / Г. Е. Мажарова. – М: Металлургия, 1977. – 96 с.

2 Гуляев, А. П. Металловедение: учебное пособие для вузов / А. П. Гуляев. – 5-е изд. – М: Металлургия, 1977. – 647 с.

**Методика выявления дефектов на полуфабрикатах и изделиях,  
получаемых листовой штамповкой методами технического зрения**

Студентка гр. 10402119 Галимская П.В.  
Научный руководитель – Костюченко Ю.А.  
Белорусский национальный технический университет

Развитие современного листоштамповочного производства, особенно в условиях массового и серийного производства, характеризуется совершенствованием и развитием методов, обеспечивающих минимизацию брака полуфабрикатов и готовых изделий [1].

Системы технического зрения и библиотека OpenCV могут быть использованы для автоматического выявления дефектов в деталях, полученных листовой штамповкой [2]. Для этого можно использовать следующий алгоритм решения задачи, связанной с выявлением дефектов:

1) Получение изображения детали с помощью камеры или другого устройства, совместимого с OpenCV.

2) Обработка изображения посредством фильтрации, бинаризации, коррекция контраста и повышение резкости, чтобы повысить качество изображения, устранить шум и обеспечить дальнейший анализ изображения.

3) Сегментация изображения (пороговое преобразование, выявление границ, кластеризация) для разделения детали на отдельные области, с целью дальнейшего определения областей, в которых могут присутствовать дефекты.

4) Выделение признаков (контуры, границы, текстуры и пр. ) для получения информации о геометрической структуре и свойствах каждой области, что позволит сравнить нормальные участки с дефектными.

5) Визуализация результатов, заключающаяся в выведении изображения с пометками, указывающими на местоположение дефектов, что позволит операторам принять решение о допустимости детали или о необходимости дополнительных испытаний. Помимо прочего, такая задача может обрабатываться при помощи интеллектуальных систем автоматически.

Важно отметить, что разработка и внедрение системы технического зрения и OpenCV для выявления дефектов в деталях, полученных листовой штамповкой, требует тщательного подхода и адаптации под конкретные производственные условия, однако, подобная методика является универсальной [3].

Типовым примером для реализации программы, позволяющей выявлять дефекты в виде царапин на поверхности листового металла, с использованием систем технического зрения, может являться следующий программный код, реализованный в Python с использованием библиотек NumPy и OpenCV:

```
import cv2
import numpy as np
def detect_scratches(image_path):
# Загрузка изображения
image = cv2. imread(image_path)
gray = cv2. cvtColor(image, cv2. COLOR_BGR2GRAY)
# Фильтрация изображения для улучшения качества
blurred = cv2. GaussianBlur(gray, (5, 5), 0)
# Выделение границ с использованием оператора Canny
canny_edges = cv2. Canny(blurred, 100, 200)
# Дилатация границ для улучшения обнаружения царапин
kernel = np. ones((3, 3), np. uint8)
```

```

dilated = cv2. dilate(canny_edges, kernel, iterations=1)
# Поиск контуров царапин
contours, _ = cv2. findContours(dilated, cv2. RETR_EXTERNAL, cv2.
CHAIN_APPROX_SIMPLE)
# Фильтрация контуров по размеру и форме (если необходимо)
filtered_contours = []
for contour in contours:
    if cv2. contourArea(contour) > 100: # Пороговое значение площади контура
        filtered_contours. append(contour)
# Вывод результатов
result_image = cv2. drawContours(image, filtered_contours, -1, (0, 255, 0), 2)
cv2. imshow('Scratches Detected', result_image)
cv2. waitKey(0)
cv2. destroyAllWindows()
# Запуск функции обнаружения царапин
detect_scratches('path/to/your/image. jpg').

```

Данный программный код обеспечивает возможность для выявления дефектов в виде царапин на поверхности полуфабрикатов и готовых изделий, получаемых листовой штамповкой и визуализацией выявленных дефектов. При необходимости, можно обеспечить задание параметров, в виде пороговых значений для игнорирования достаточно мелких дефектов, не сказывающихся на последующие эксплуатационные характеристики конечных изделий.

### **Список использованных источников**

1 Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Технология листовой штамповки» для специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Машины и технология обработки металлов давлением»; сост. : В. А. Томило [и др. ]. – Минск : БНТУ, 2022. – 224 с.

2 Петрович, Ю. В. Методика контроля качества поверхности заготовок на наличие дефектов методом технического зрения / Ю. В. Петрович, А. В. Радионов; науч. рук. Ю. А. Костюченко // Новые материалы и технологии их обработки [Электронный ресурс]: сборник научных работ XXIII Республиканской студенческой научно-технической конференции, 21–22 апреля 2022 года / сост. : А. П. Бежок, И. А. Иванов. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 140–141.

3 Костюченко, Ю. А. Методика контроля размеров штампованных деталей методом технического зрения / Ю. А. Костюченко, А. Н. Боярчук, И. Л. Кулинич // Современные технологии для заготовительного производства [Электронный ресурс]: сборник научных работ Республиканской научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов МТФ БНТУ (проводится в рамках 75-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ), 14 апреля 2022 года / сост. : А. П. Бежок, И. А. Иванов. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 84–85.

## Медицинское оборудование и способы его производства методом обработки материалов давлением

Студенты гр. 10402221: Германович М.С., Петрович Д.А.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Медицинское оборудование – это широкий спектр устройств, которые используются для диагностики, лечения и ухода за пациентами. Это включает в себя множество различных устройств – от простых инструментов, таких как шприцы и термометры, до сложных медицинских аппаратов, таких как рентгеновские аппараты и сканеры.

Способы производства медицинского оборудования включают в себя множество технологий, одной из которых является обработка материалов давлением. Обработка материалов давлением включает в себя использование прессов и формовочных станков для создания различных деталей и компонентов.

Примером медицинского оборудования, созданного методом обработки материалов давлением, является корпус медицинского прибора. Корпусы медицинских приборов изготавливаются из различных материалов, таких как металлы и пластмассы, и используются для защиты электронных компонентов внутри прибора (рисунок 1).

Медицинское оборудование играет важную роль в современной медицине и является неотъемлемой частью обеспечения высокого уровня медицинской помощи. В этой статье рассмотрим способы производства медицинского оборудования методами обработки материалов давлением [1].



Рисунок 1 – Медицинское оборудование произведённое методом ОМД

Прессование является одним из самых распространенных способов производства медицинских изделий, таких как шприцы и пластинки для хроматографии. Этот процесс включает в себя сжатие материала с использованием высокого давления и температуры, чтобы создать форму или изделие.

Формовочные станки используются для создания сложных компонентов, таких как корпуса медицинских приборов, с использованием форм и материалов высокой плотности. Этот процесс также включает в себя использование высокого давления и температуры для формовки материала в нужную форму.

Штамповка – это метод, при котором листовой металл деформируется под действием силы штампа. Этот процесс позволяет создавать металлические детали с высокой точностью и повторяемостью. Примерами медицинского оборудования, которое может быть произведено методом штамповки, являются лезвия для хирургических ножей, компоненты для зубных имплантов и металлические заготовки для ортопедических инструментов.

Ковка – это метод, при котором металл нагревается до определенной температуры и затем деформируется под действием механической силы. Этот процесс позволяет создавать металлические детали с высокой прочностью и долговечностью. Примерами медицинского оборудования, которое может быть произведено методомковки, являются металлические инструменты для хирургии и зажимы для зубных инструментов.

Выдавливание – это метод, при котором металл деформируется под действием силы гидравлического пресса. Этот процесс позволяет создавать металлические детали различных форм и размеров с высокой точностью. Примерами медицинского оборудования, которое может быть произведено методом выдавливания, являются металлические компоненты для зубных коронок и каркасы для ортопедических изделий

Обработка материалов давлением имеет ряд преимуществ для производства медицинского оборудования. Одним из главных преимуществ является возможность создания деталей и компонентов с высокой точностью и повторяемостью. Кроме того, этот метод производства обладает высокой эффективностью и может быть использован для производства многих деталей одновременно [2].

#### **Список использованных источников**

1 Информационный ресурс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://met-all.org/obrabotka/prochie/omd-obrabotka-metallov-davleniem-sposoby-vidy.html>. – Дата доступа: 06. 03. 2023.

2 Информационный ресурс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Медицинское\\_изделие](https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Медицинское_изделие). – Дата доступа: 20. 03. 2023.

**Обзор материалов выполнения оснастки**

Студенты гр. 10402221: Гиринский А.И., Юнчиц А.А.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Оснастка – это специальное оборудование, которое используется для изготовления деталей и изделий из металла. Она может быть выполнена из разных материалов в зависимости от требований к производству. В данном обзоре мы рассмотрим аналоги материалов, которые используются для изготовления оснастки.

**Стальной сплав:** Сталь является самым распространенным материалом для изготовления оснастки. Стальной сплав обладает высокой прочностью, износостойкостью и стойкостью к высоким температурам. Однако, сталь имеет недостатки, такие как низкая стойкость к коррозии и трудность в обработке [1].

**Алюминий** – легкий материал, который обладает высокой прочностью, стойкостью к коррозии и хорошей теплопроводностью. Он также легко обрабатывается и может быть использован для создания сложных форм. Однако, алюминий не так прочен, как сталь и не подходит для работы в высоких температурах [2].

**Титан** – очень прочный и легкий металл, который обладает высокой стойкостью к коррозии и высокой теплостойкостью. Он также устойчив к химическим воздействиям. Однако, титан является дорогим материалом и трудно обрабатывается.

**Чугун** – тяжелый и прочный материал, который хорошо подходит для изготовления оснастки для литья. Он обладает хорошей теплопроводностью и стойкостью к износу. Однако, чугун имеет низкую прочность на растяжение и не подходит для работы в высоких температурах.

**Пластмассы** – это легкие, прочные и недорогие материалы, которые могут быть использованы для создания оснастки для литья и штамповки. Они также могут быть использованы для создания сложных форм. Однако, пластмассы могут иметь низкую стойкость к теплу и износу.

Каждый из этих материалов имеет свои преимущества и недостатки, и выбор конкретного материала зависит от требований к производству и особенностей конкретного проекта. Например, для производства деталей из тонких листов металла может быть использована оснастка из алюминия или пластмассы, тогда как для производства деталей из более толстых листов может потребоваться оснастка из стального сплава или чугуна.

Кроме того, существует множество других материалов, которые могут быть использованы для изготовления оснастки, включая бронзу, медь, нержавеющей сталь и др. Каждый из этих материалов имеет свои уникальные свойства и может быть более или менее подходящим для конкретного проекта.

При выборе материала для оснастки необходимо учитывать требования к прочности, стойкости к коррозии, теплостойкости и другим свойствам, а также бюджет проекта и технологические возможности для обработки материала [3]. Все эти факторы должны быть учтены при выборе наиболее подходящего материала для создания оснастки.

Оснастка должна быть способна выдерживать высокие температуры, которые могут возникать во время производства, особенно при использовании методов горячей штамповки и литья под давлением. Следует также учитывать стойкость к износу, так как оснастка может быть подвержена интенсивному механическому воздействию во время производства. Важно выбирать материал, который обладает достаточной прочностью и износостойкостью, чтобы выдерживать такие условия эксплуатации.

Еще один важный фактор – это возможность обработки материала и изготовления оснастки из него. Некоторые материалы могут быть сложными в обработке, что может увеличить стоимость изготовления оснастки. Кроме того, для создания оснастки из некоторых материалов могут потребоваться специальные инструменты и оборудование.

В целом, выбор материала для оснастки должен быть основан на анализе всех факторов, связанных с производством конкретного продукта. Необходимо учитывать требования к качеству и производительности продукта, бюджет проекта и возможности для обработки материала. Необходимо выбирать материал, который будет наиболее подходящим для создания качественной, надежной и экономически эффективной оснастки.

### **Список использованных источников**

1 Конструирование оснастки и изделий из неметаллических материалов [Электронный ресурс]: методические указания по курсовому проектированию для студентов специальности 1-36 01 02 «Материаловедение в машиностроении» / сост. : В. Г. Дашкевич, А. А. Андрушевич. – Минск: БНТУ, 2020. – 47 с.

2 Проектирование и применение технологической оснастки в машиностроении: учебное пособие / А. П. Чурбанов, А. Б. Ефременков. – Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 316 с.

3 Терушкина, Н. П. Технологическая оснастка: учебное пособие / Н. П. Терушкина. – Саров, 2016. – 280 с.

Студенты гр. 10402120: Дешко Г.Д., Шекало Д.В.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

В современном мире промышленные предприятия выпускают всё больше и больше продукции, что сказывается и на потребности комплектующих, в том числе и различных пружин. По собранным данным производителями пружин, около половины пружин, приобретаемых различными предприятиями, являются импортными, что подразумевает низкую конкурентоспособность пружинной проволоки и пружин отечественного производства из-за. Низкая конкурентоспособность имеет место быть из-за более низкого уровня качества продукции, более длительных сроков изготовления и высокой цены по сравнению с импортными производителями. Пружинная проволока должна обладать высокими прочностными и усталостными характеристиками, равномерными по длине. Одним из наиболее важных требований является однородность микроструктуры, особенно для закалено-отпущенной пружинной проволоки, широко применяющейся в автомобилестроении. Зачастую требуемые свойства готовой проволоки определяются характеристиками исходной заготовки (катанки), произведенными технологическими операциями и номенклатурой применяемого оборудования [1].

Технологический процесс производства пружинной проволоки состоит из чередующихся операций обработки металлов давлением (волочение) и термических операций (закалка, отжиг и отпуск). Возможно изготовление проволоки без применения термической операции за счет применения сорбитизированной катанки. Применение термической операции позволяет улучшить механические свойства проволоки, а также добиться однородности микроструктуры, что положительно сказывается на качестве производимой продукции. При нагреве стали в печи обеспечивается получение мелкозернистого гомогенного аустенита (а значит и мартенсита). Волочение является подготовительной операцией, формирующей мелкодисперсную ячеистую структуру металла.

Для увеличения качества проволоки следует уделять большое внимание характеристикам исходной заготовки, к которым относятся:

- марка стали;
- процентное содержание неметаллических включений;
- дисперсность микроструктуры;
- наличие несовершенств макроструктуры;
- наличие поверхностных дефектов;
- степень деформируемости металла.

Термическая обработка проводится с различными техническими требованиями (равномерность нагрева заготовки, минимизация обезуглероживания, уменьшение образования окалины и нежелательных образований) для повышения механических показателей заготовки. Выбор оборудования для термической обработки занимает один из важных пунктов при разработке тех процесса изготовления пружин. В качестве производителей оборудования для термообработки агрегаты фирмы «FIB» (Бельгия), «WireKörner» (Германия) и «Redyne» (Великобритания).

При разработке технологического процесса изготовления пружинной проволоки особое внимание уделяется режимам волочения. Режимы для пластической деформации проволоки (волочения) определяются на основе расчета суммарных и единичных обжатий, профилем рабочей части волок [2].

В настоящее время при разработке маршрутов волочения характер напряженного состояния в очаге деформации не учитывается, что негативно сказывается на производимой проволоке. В настоящей работе представлены результаты экспериментальной проверки в производственных условиях маршрутов волочения проволоки диаметром 4,00 мм из стали марки 70, спроектированных по новой методике, приведенной в работе [3]. Данная методика заключается в зависимости вида напряженного состояния в очаге деформации от полуугла волоки, единичных обжатий, а также определении энергетических затрат волочения. Изготовленная по усовершенствованному технологическому маршруту проволока обладает повышенными пластическими свойствами (относительное сужение, число перегибов и скручиваний), равномерной мелкодисперсной структурой по сравнению с проволокой, протянутой по традиционному режиму. Новый маршрут волочения обладает меньшей энергоемкостью.

Для производства холоднотянутой и закаленно-отпущенной проволоки диаметром 4,00 мм выбраны рациональные маршруты волочения, способствующие формированию требуемых механических свойств и гомогенной микроструктуры готовой продукции при меньших затратах на ее производство. Методика позволяет проектировать режимы как при использовании волочильных станов магазинного типа, так и современных прямоточных машин.

### **Список использованных источников**

1 Белогур, В. П. Без пружины нет машины // Пружины, 2017. – № 2. – С. 1–4.

2 Сметнёва, Н. Ю. Состояние и перспективы развития производства пружинной проволоки / Н. Ю. Сметнёва, В. А. Харитонов // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. А. Б. Моллера. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2018. – Вып. 24. – С. 65–74.

3 Харитонов, В. А. Совершенствование методики расчета маршрутов волочения для высокоуглеродистых сталей / В. А. Харитонов, М. Ю. Усанов // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия», 2017. – № 8. – С. 92–95.

## Промышленная прецизионная ковка

Студент гр. 10402120 Капанец И.И.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Технология формовки в её нынешнем виде, восходит к одному из древнейших ремёсел – ковке. С изобретением и распространением паровых машин в девятнадцатом веке обработка металлов отделилась от нынешней основной технологии и превратилась в сегодняшнюю промышленную, механизированную и частично высокоавтоматизированную технологию производства.

Требования к форме и функциональности кованных деталей постоянно возрастали, как и спрос на эти изделия. Разработки в области материаловедения привели к созданию ценных материалов, которые можно подвергать термической обработке непосредственно при ковке с использованием соответствующего оборудования и технологического процесса. Это приводит к более точным деталям и становится всё более экономичным. В области производства инструментов, использование современных инструментальных сталей, производственных процессов (например, высокоточного фрезерования) и процессов обработки поверхностей (например, азотирование) позволяет более экономично производить оптимизированные для технологического процесса долговечные инструменты дляковки. Начиная с кузнечных молотов и шпиндельных прессов, использующих только энергию, бывшие в использовании формовочные машины превратились в силовые станки. Гидравлические прессы, а также механические прессы с кривошипным или эксцентриковым приводом. Постоянные разработки в области технологий привода и управления привели к созданию более эффективных кузнечных систем. Благодаря растущей механизации и автоматизации всей цепочки процессаковки можно было достичь всё более высоких количественных характеристик при увеличении объёма работы и точности воспроизведения. Сегодня можно производить компоненты различной геометрии с массой компонентов от нескольких граммов до нескольких тонн с помощью различных процессов горячей штамповки и их комбинации.

Стремительный рост автомобильной промышленности в последние десятилетия создал значительную потребность в компонентах привода и трансмиссии. В тоже время возросли требования к этим компонентам с точки зрения грузоподъёмности и эксплуатационных характеристик. Эта тенденция по-прежнему не нарушена и привела к новым разработкам в области машин и инструментов. Растущая конкуренция со странами с низкой заработной платой на мировом рынке усиливает постоянно растущее ценовое давление, которое требует новых и дальнейших разработок в области производства и производственных технологий [1].

Производство зубчатых колёс характеризуется постоянными усилиями по рационализации и снижению затрат. Стремление к большей эффективности требует использования новых технологий мощных зубьев. На рисунке 1 показаны примеры изделий из ассортимента прецизионных кованных зубьев.



Рисунок 1 – Примеры изделий изготовленных с помощью прецизионнойковки

Несмотря на значительные преимущества металлообрабатывающих производственных процессов, формирование косозубых и прямозубых колёс до сих пор не получило широкого распространения. Нынешний недостаточный срок службы инструмента и неадекватное качество зубьев шестерён считаются серьёзными проблемами для внедрения в промышленную практику и всё ещё является предметом исследований [2].

#### Список использованных источников

- 1 Беренс, Б. А. Комплексная обработка материалов / Б. А. Беренс, А. Бугеша. – Справочный модуль по материаловедению, 2014. – 427 с.
- 2 Охрименко, Я. М. Технологическая неравномерность деформации / Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство. 1997. – С. 42–45.

## Экономичные области применения горячего прессования стальных труб

Студент гр. 10402120 Каранчуков Р.В.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

В зарубежной практике производства бесшовных труб из высоколегированных сталей и сплавов получил широкое распространение метод горячего прессования. В настоящее время в странах Европы работает несколько десятков прессовых установок в том числе с редуционно-растяжными станами. Совершенствования конструкции прессовых установок, режимов деформации, технологических смазок позволило успешно применять это метод и для производства труб из рядовых углеродистых и нержавеющей сталей. Использование прессования для изготовления труб из этих сталей в последние годы стало ещё более актуальным в связи с применением в качестве заготовок металла непрерывной разливки. Таким образом, возникла необходимость экономического сравнения различных способов производства бесшовных труб, определения экономически целесообразных областей применения процесса прессования и отдельных типов прессовых установок для конкретного сортамента труб [1].

Техника-экономическое сравнение выполнили по данным технических проектов для прессовых установок и для цехов-аналогов. В анализе приняли аналогичны сортамент для всех сравниваемых трубных установок: гладкие бесшовные трубы общего назначения из углеродистых сталей и нержавеющей X18H10T. Различные профили, ребристые трубы, а также трубы из малопластичных металлов и сплавов в данной работе не рассматривали т. к в большинстве случаев из-за сложной конфигурации изделия или низкой пластичности металла они могут быть изготовлены только на прессах. Не представилось также возможным учесть более высокое качество прессовых труб. Сортамент горячекатаных бесшовных труб общего назначения, получаемых на трубопрокатных установках массовыми партиями, включает трубы диаметром от 20 до 820 мм. Наибольший удельный вес составляют трубы диаметром от 20 до 250 мм со стенкой толщиной от 3 до 20 мм из углеродистых и нержавеющей сталей, которые приняли для исследования. Для цехов- аналогов предусмотрели применение круглой углеродистой заготовки, прокатанной из непрерывного квадратного металла. В цехе с пилигримовой установкой заготовкой служат литые многогранные слитки. Для производства нержавеющей труб на всех установках приняли кованую заготовку после обдирки, которую в случае прессования предварительно сверлят и обтачивают [2].

Для производства труб общего назначения из углеродистых сталей процесс прессования экономично применять при больших объёмах производства, т. е. при применении установки с трубопрофильным прессом усилием не менее 5000 КН. Производства рядовых труб из нержавеющей стали особенно эффективно на установке с прессом усилием 1600 КН по сравнению с их получением холодным волочением. При использовании в качестве исходной заготовки непрерывнолитого слитка производства нержавеющей труб становится экономически целесообразным на всех типах прессовых установок.

### Список используемых источников

- 1 Данилов, А. Ф. Горячая прокатка и прессование труб / А. Ф. Данилов, А. З. Балакин. – Изд. 2-е. – М. : Москва, 1973. – 534 с.
- 2 Манегин, Ю. В. Горячее прессование труб и профилей : учеб. -метод. пособие / Ю. В. Манегин. – Москва. : Металлургия, 1980. – 213с.

### **Формоизменение при холодной объемной штамповке**

Студенты гр. 30402120: Ковальчук К.В., Коренько С.И.,  
Ковалевич А.А., Коробов Д.В.  
Научный руководитель – Шкурдюк П.А.  
Белорусский национальный технический университет

Формоизменение при холодной объемной штамповке происходит в основном за счет реализации процессов с осевой симметрией течения металла.

Наиболее полную характеристику формоизменяющих операций холодной объемной штамповки дает их классификация по кинематике относительного движения металла и инструмента, согласно которой все эти операции делят на простые и комбинированные.

К простым операциям относят те, в которых металл может двигаться относительно инструмента только в одном направлении.

При комбинированных операциях металл имеет два или несколько возможных направлений движения. Комбинированные операции могут быть последовательные и совмещенные. При последовательных операциях на первом этапе сначала реализуется одно число движений, а затем другое. При этом чаще всего на первом этапе реализуется движение в одном направлении, затем оно прекращается и металл движется в другом направлении, т. е. Процесс состоит из нескольких простых операций, осуществляемых последовательно по времени. Совмещенная операция является частным случаем комбинированной, при которой движение металла в двух или нескольких направлениях протекает одновременно. Общее преимущество всех комбинированных операций заключается в уменьшении числа штамповочных операций, а соответственно в сокращении технологического цикла, уменьшении номенклатуры штамповой оснастки, и, как правило, в увеличении точности размеров получаемых изделий.

Все простые формоизменяющие операции иногда делят на открытые и закрытые. При открытых операциях перемещение металла в направлении, перпендикулярном движению деформирующего инструмента, не ограничено боковыми стенками инструмента, а форма изделия в плане не задана инструментом, и в основном определяется анизотропией металла, условиями трения, правильностью геометрической формы заготовки. При закрытой операции перемещение металла в поперечном, относительно действия инструмента направлении, ограничено боковыми стенками инструмента. Обычно процесс состоит из открытого этапа, который постепенно переходит в закрытый, так как по мере движения инструмента возникает и увеличивается контакт металла с боковыми стенками штампа.

К основным формоизменяющим операциям холодной объемной штамповки относят: предварительное деформирование заготовок, осадку, высадку, выдавливание.

Предварительное деформирование обеспечивает обжатие рубленой заготовки в матрице для придания ей требуемой формы. Предварительное деформирование позволяет устранять дефекты после рубки и получать точные по форме и размерам заготовки, что создает благоприятные условия для дальнейшей штамповки и повышает стойкость штампов.

#### **Осадка**

Усилие предварительного деформирования можно рассчитывать по формуле усилия осадки.

Осадка – это операция холодной объемной штамповки, при которой формообразование полуфабриката происходит за счет уменьшения высоты заготовки с одновременным увеличением ее поперечного размера.

Различают открытую и закрытую осадку. При открытой осадке сжатие металла между элементами штампа сопровождается свободным радиальным течением (рисунок 1).

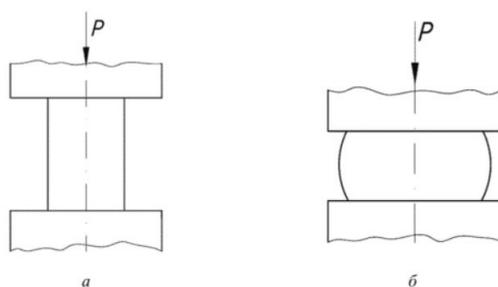


Рисунок 1 – Схема открытой осадки:  
*a* – до осадки; *б* – в процессе осадки

Действие сил трения между заготовкой и инструментом приводит к возникновению следующих особенностей процесса:

- неравномерному движению частиц по контактным поверхностям с образованием зон прилипания;
- переходу боковой поверхности на поверхность контакта;
- образованию бочкообразной боковой поверхности;
- разделению объема деформируемой заготовки на зоны (по аналогии с осадкой при ковке).

Открытую осадку применяют для калибровки по высоте с получением параллельности торцов заготовки.

В процессе закрытой осадки выделяют две стадии. На первой стадии до соприкосновения боковой поверхности заготовки со стенками инструмента идет открытая осадка, а после этого начинается вторая стадия, которая заключается в радиальном течении металла в клиновую щель, возникающую между инструментом и заготовкой.

Закрытую осадку применяют для калибровки по высоте и диаметру (поперечному сечению), получения параллельных торцов, перпендикулярных основной оси заготовки, уменьшения отношения высоты заготовки к ее диаметру, производства заготовок для выдавливания полости, роликов подшипников и других деталей ответственного назначения.

К осадке можно также отнести деформирование по схеме осадки с образованием облоя и без облоя с получением деталей сложной конфигурации (рисунок 2).

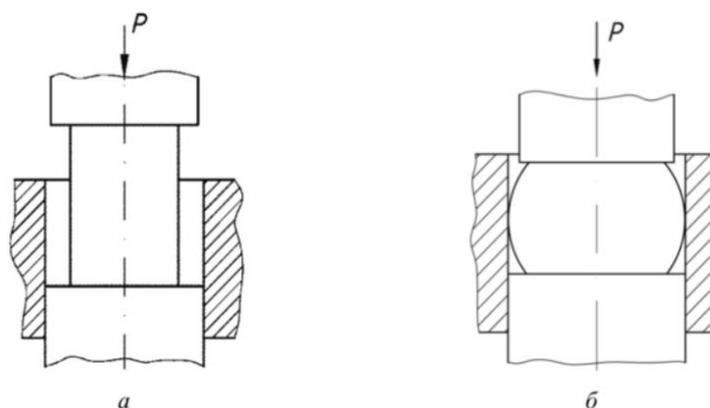


Рисунок 2 – Схема закрытой осадки:  
*a* – до осадки; *б* – в процессе осадки

### Высадка

Высадка – это осадка части заготовки. Особенно широко эту операцию применяют для высадки головок болтов, винтов, заклепок на холодновысадочных прессах-автоматах. Это

оборудование характеризуется очень высокой производительностью, достигающей нескольких сотен деталей в минуту.

Высадка при холодной объемной штамповке может быть открытой и закрытой. Открытую высадку сплошного стержня осуществляют с защемлением одного и обоих концов заготовки. Характер течения металла при открытой высадке и открытой осадке практически одинаков (рисунок 3).

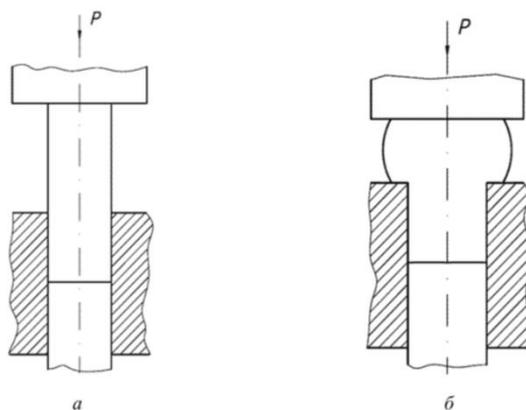


Рисунок 3 – Схема открытой высадки:  
а – до высадки; б – в процессе высадки

Открытую высадку применяют для калибровки заготовок, образования местных утолщений на одном конце, обоих концах и в средней части заготовки, набора металла для последующей штамповки при производстве заготовок крепежных и других ступенчатых деталей.

Процесс закрытой высадки сплошного стержня можно условно разбить на этапы. Первый этап начинается открытой осадкой, затем следует пластический изгиб до соприкосновения выпуклых частей заготовки со стенками инструмента. Только после этого происходит собственно закрытая осадка. Оформление боковой поверхности по всей длине высаживаемой части сопровождается образованием заусенца по месту разъема инструмента и резким ростом давления. Для того чтобы избежать образования заусенца, штамповку ведут с облоем полости штампа или при заданном давлении излишек металла направляют прямым выдавливанием в компенсатор.

#### **Выдавливание**

Выдавливание – это вытеснение металла под действием пуансона в отверстие пуансона или в зазор между пуансоном и матрицей. Различают следующие основные виды выдавливания: прямое, обратное и поперечное.

При прямом выдавливании сплошного стержня из сплошной заготовки течение металла заготовки относительно боковых стенок матрицы происходит в направлении движения пуансона (рисунок 4).

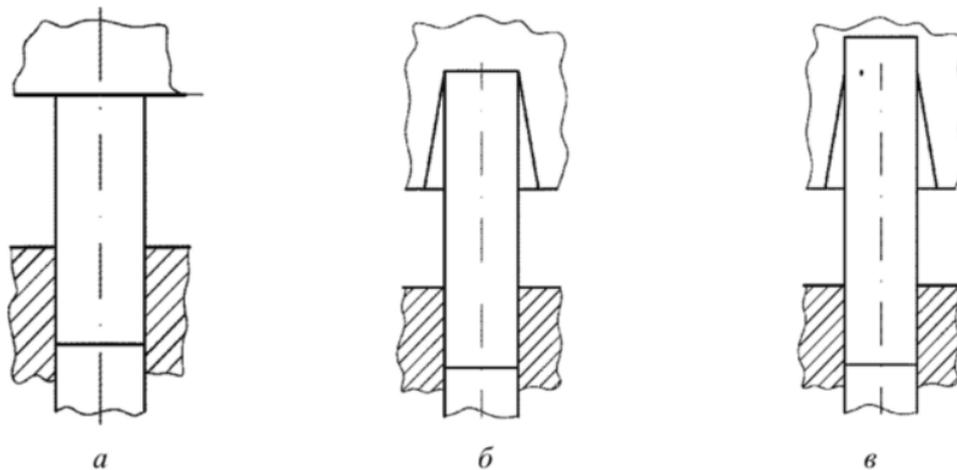


Рисунок 4 – Схемы предварительной высадки с использованием:  
*a* – плоского пуансона; *б* – пуансона с конической полостью;  
*в* – пуансона с конической полостью и цилиндрическим пояском

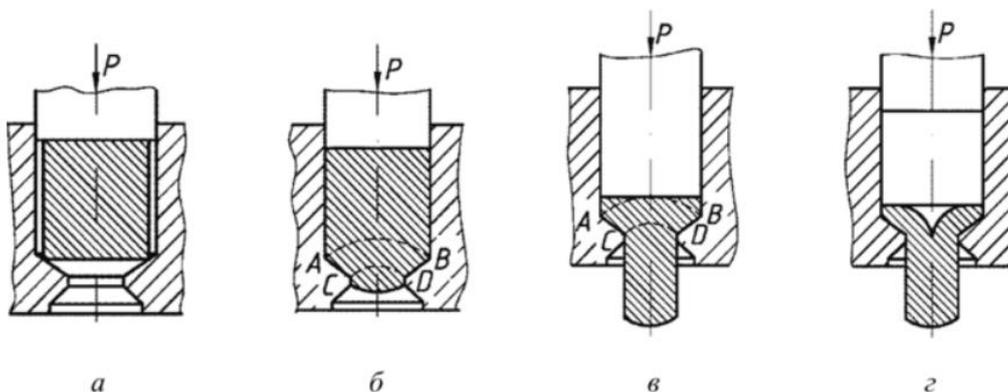


Рисунок 5 – Стадии прямого выдавливания сплошного стержня:  
*a* – перед выдавливанием; *б* – распрессовка;  
*в* – переход от установившейся стадии к неустановившейся;  
*г* – образование пресс-утяжины

На первой стадии, называемой распрессовкой, происходит заполнение всех зазоров между инструментом и заготовкой, и заготовка полностью по всему контуру принимает форму рабочего инструмента. В конце распрессовки заканчивается формирование очага деформации, а усилие по окончании первой стадии достигает максимального значения. На второй стадии процесса, называемой установившейся, усилие выдавливания несколько уменьшается, что связано в основном с уменьшением высоты оставшейся в матрице заготовки, а, следовательно,  $l_{75}$  и с уменьшением усилия, затрачиваемого на преодоление трения. При дальнейшем движении пуансона начинается третья заключительная стадия, называемая нестационарной, которая сопровождается резким увеличением относительных скоростей перемещения металла в центральной зоне с образованием центральной и боковой утяжин. Поэтому процесс выдавливания останавливают до момента образования утяжин (рисунок 5).

### Редуцирование

Редуцирование – представляет собой операцию, при которой происходит уменьшение поперечного сечения заготовки. В отличие от выдавливания при редуцировании сплошного стержня между заготовкой и боковыми стенками полости матрицы имеется зазор, который исключает трение между заготовкой и боковыми стенками матрицы (рисунок 6).

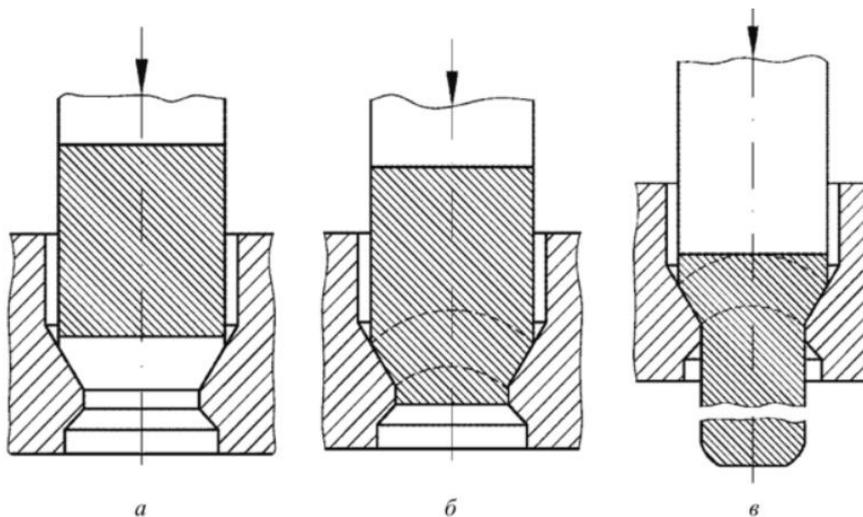


Рисунок 6 – Схема редуцирования сплошного стержня:  
*а* – перед выдавливанием; *б* – окончание распрессовки;  
*в* – промежуточный момент установившейся стадии

Главное условие возможности осуществления редуцирования заключается в том, чтобы свободная часть заготовки, через которую передается усилие штамповки, не осаживалась. Редуцирование обеспечивает, по сравнению с прямым и другими видами выдавливания, наибольшую точность размеров, наименьшую шероховатость поверхности изделия при значительно большей стойкости инструмента. Процесс редуцирования характеризуется следующими особенностями. При редуцировании, особенно с пониженной деформацией за переход, неравномерность деформации по сечению больше, чем при прямом выдавливании. Соответственно поверхностный слой упрочняется сильнее, чем сердцевина. Эти явления усиливаются при двух и более последовательных редуцированиях, что может привести к появлению как поверхностных, так и внутренних трещин и даже к отслаиванию внешнего слоя от сердцевины. Неравномерность деформации уменьшают подбором более рациональных значений углов конуса матрицы и деформации, уменьшением трения, а также улучшением структуры штампуемого металла.

При редуцировании сплошного стержня, в отличие от прямого выдавливания, выбор высоты заготовки не ограничен условиями трения о боковые стенки матрицы, а выбор большей деформации ограничен условиями продольной устойчивости свободной части заготовки, зависящими от качества торцов, продольной кривизны и состояния заготовки. Редуцирование применяют при изготовлении заготовок ступенчатых валов, шестерен, деталей со шлицами и канавками. Прямое выдавливание применяют также для получения полых деталей, используя как сплошные, так и полые заготовки.

#### Список использованных источников

- 1 Технология конструкционных материалов: учебник для машиностроительных специальностей ВУЗов / А. М. Дальский [и др. ]. – М. : Машиностроение, 2005. – 448с.
- 2 Оборудование машиностроительных предприятий / А. Г. Схиртладзе [и др. ]. – Волгоград: ВолГТУ, 2005. – 128 с.

## Повышение качества поверхности при штамповке

Студент гр. 10402119 Корнилов М.С.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Вырубка со сжатием, требующая специализированного оборудования и высокоточных дорогих штампов, не всегда оказывается экономически целесообразной для получения деталей с точными размерами и боковой поверхностью, перпендикулярной плоскости заготовки и обладающей низкой шероховатостью. Достаточно хорошее качество вырубаемых деталей можно получить путем применения операции зачистки.

Назначение операции зачистки – повышение точности размеров обрабатываемой детали и получение повышенного качества боковой поверхности детали по сравнению с обычной вырубкой и пробивкой. Зачисткой обрабатывают заготовки из цветных металлов и сплавов (медь и медные сплавы, алюминий и алюминиевые сплавы и др. ), низкоуглеродистой стали и титановых сплавов. Зачистку применяют в основном в приборостроении вместо механической обработки, что существенно снижает трудоемкость изготовления детали.

Размеры деталей, подвергающихся зачистке, не превышают 150–2100 мм при толщине материала 3–4 мм. Зачистка более крупных деталей связана с трудностями при изготовлении штампов. Зачистку деталей толщиной более 3–4 мм (до 8–10 мм) выполняют за несколько операций.

Шероховатость поверхности после зачистки  $Ra = 1,25 \dots 0,32$  мкм при толщине до 3 мм и  $Ra = 2,5 \dots 1,25$  мкм при толщине более 3 мм. При этом достигается точность размеров, соответствующая 8–11-му качеству [1].

Ширина отделяемого зачисткой слоя материала всегда меньше толщины заготовки. Процесс его отделения принципиально иной по сравнению с таковым при вырубке и пробивке. Повышение качества поверхности среза при зачистке достигается срезанием припуска на боковых поверхностях детали с переводом части материала в стружку. Отделение припуска в виде стружки происходит постепенно, по мере опускания пуансона вплоть до опорной поверхности заготовки, а не путем скалывания, как при обычной вырубке и пробивке.

В зависимости от того, какой контур обрабатывают (внешний или внутренний), работает только одна режущая кромка инструмента. Отделение стружки осуществляется в основном режущей кромкой матрицы при зачистке наружного контура и режущей кромкой пуансона при зачистке внутреннего контура. Образование гладкой поверхности при срезании стружки зависит от остроты режущих кромок, толщины срезаемого припуска, механических свойств материала заготовки и ряда других факторов. При зачистке по наружному контуру, необходимо укладывать заготовку в штампе так, чтобы блестящий пояс был обращен к матрице, а при зачистке внутреннего контура – к пуансону. Это позволяет на заключительной операции зачистки срезать минимальный припуск, что позволяет избежать отрыва припуска с образованием шероховатой поверхности на заключительной стадии срезания стружки [2].

Схема деформирования при срезании припуска по наружному и внутреннему контурам детали показана на рисунке 1.

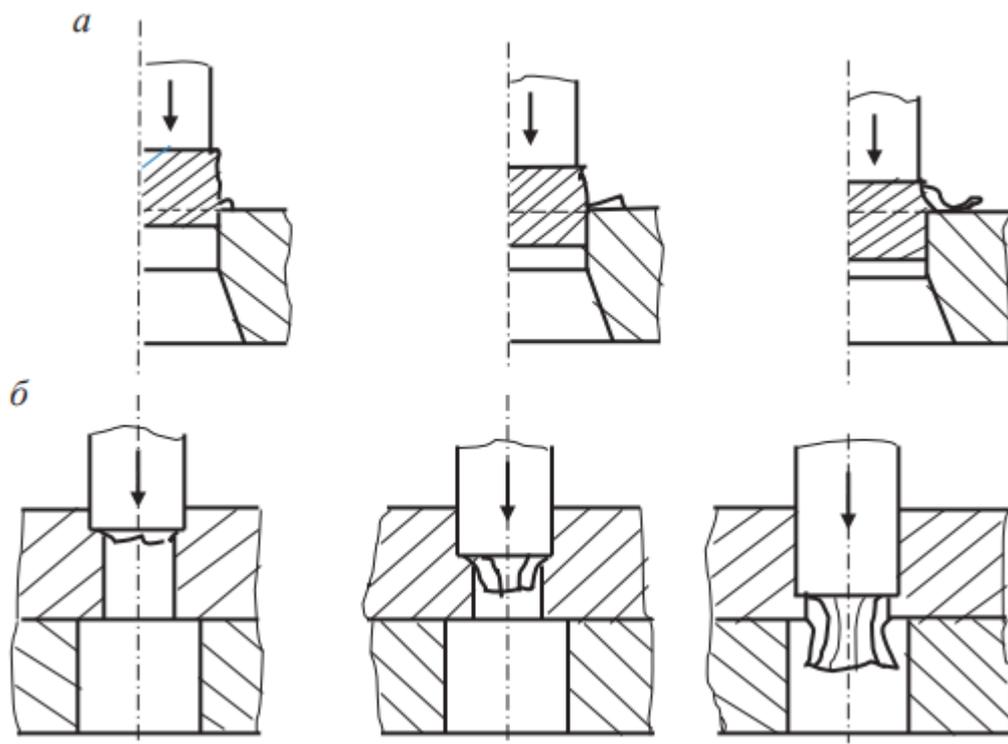


Рисунок 1 – Схема зачистки (а) по наружному и (б) внутреннему контуру

Зачистка может осуществляться как пуансоном, размеры которого меньше размеров матрицы, так и пуансоном, большим матрицы. Зазор  $z$  при этом составляет  $0,01 - 0,02$  мм на сторону. В последнем случае зазор  $z$  отрицательный. Пуансон при этом не доходит до режущей кромки матрицы на  $0,2 - 0,3$  мкм. Стружка упирается в торец пуансона и отделяется при проталкивании следующей детали. Ввиду малых зазоров при зачистке пуансоном с размерами меньшими размеров матрицы необходимо тщательно изготовлять инструмент. При зачистке пуансоном больше матрицы требуется применение прессов высокой точности и тщательная установка штампов.

Зачистке могут быть подвергнуты как отдельно взятые отверстия, так и группы отверстий одновременно. Образование стружки при зачистке отверстий происходит так же, как и при зачистке наружного контура, но при зачистке отверстий последовательное образование кольцевых элементов стружки протекает внутри отверстия, поэтому стружка не разрывается, а сохраняется целой, в виде трубочки с блестящей внутренней и шероховатой наружной поверхностью (рисунок 1, б).

Применяют комбинированный способ, совмещающий пробивку и зачистку. Такой способ осуществляется ступенчатым пуансоном. Конструкция матрицы та же, что и при пробивке, у одной части пуансона зазор с матрицей  $-z_1$ , у другой  $-z_2$ . В начале рабочего хода осуществляется пробивка отверстия, при дальнейшем движении пуансона срезается припуск.

Пробивка ступенчатым пуансоном листового материала обеспечивает высоту неровностей  $1,6-10$  мкм, но высокой точности достичь невозможно. Отверстие получается коническим.

Необходимо отметить, что зачистка позволяет удалить механическим путем упрочненный слой, расположенный по контуру детали и отверстия, которые получены обычной вырубкой и пробивкой. При выполнении формоизменяющих операций (например, отбортовки отверстия) отсутствие упрочненного слоя по контуру позволяет повысить предельную степень деформации [1].

### **Список использованных источников.**

1 Бурдуковский, В. Г. Технология листовой штамповки: учебное пособие / В. Г. Бурдуковский. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 224 с.

2 Билибин, К. И. Холодная штамповка: учеб. пособие по курсу «Технология электронных средств» / К. И. Билибин, В. П. Григорьев. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 68 с.

## Плазменная обработка и резка материалов

Студент гр. 10402119 Красовский Н.Р.

Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

Плазменная обработка – процесс обработки материалов при помощи низкотемпературной плазмы, генерируемой дугowymi или высокочастотными плазмотронами, с целью изменения формы, размеров, структуры обрабатываемого материала или состояния его поверхностного слоя. Разновидностями плазменной обработки являются: разделительная и поверхностная резка, нанесение покрытий, напыление, сварка.

Плазменная резка – вид плазменной обработки материалов, при котором в качестве режущего инструмента вместо резца используется струя плазмы рисунок 1 [1].

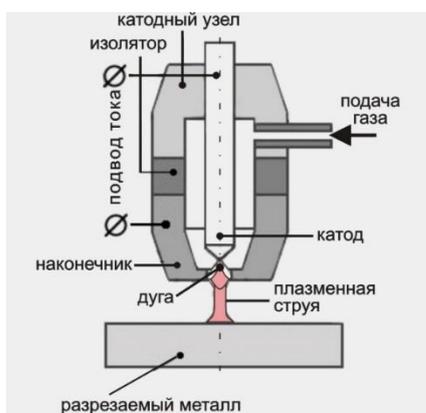


Рисунок 1 – Схема резки плазменной струей

Принцип работы заключается тем, что между электродом и соплом аппарата, или между электродом и разрезаемым металлом зажигается электрическая дуга. В сопло подается газ под давлением в несколько атмосфер, превращаемый электрической дугой в струю плазмы с температурой от 5000 до 30000 градусов и скоростью от 500 до 1500 м/с. Толщина разрезаемого металла может достигать до 1500 мм. Первоначальное зажигание дуги осуществляется высоковольтным импульсом или коротким замыканием между анодом и катодом в случае косвенной дуги, и форсункой и разрезаемым металлом в случае прямой дуги. Форсунки охлаждаются потоком газа (воздушное охлаждение) или жидкостным охлаждением. Воздушные форсунки, как правило, надежнее, форсунки с жидкостным охлаждением используются в установках большой мощности и дают лучшее качество обработки. Используемые для получения плазменной струи газы делятся на активные (кислород, воздух) и неактивные (азот, аргон, водород, водяной пар). Активные газы в основном используются для резки чёрных металлов, а неактивные – цветных металлов и сплавов [2].

Преимущества:

- обрабатываются любые металлы;
- скорость резания малых и средних толщин в несколько раз выше скорости газоплазменной резки;
- небольшой и локальный нагрев разрезаемой заготовки, исключаяющий её тепловую деформацию;
- высокая чистота и качества поверхности разреза;
- безопасность процесса (нет необходимости в баллонах со сжатым кислородом, горючим газом и т. д.);

- возможна сложная фигурная вырезка;
- отсутствие ограничений по геометрической форме;
- можно использовать для неметаллических изделий;
- высокая производительность за счёт высокой скорости резки тонких и средних толщин;
- точные и высококачественные резы, часто не требующие дополнительной механической обработки;
- сравнительно низкая цена;
- при изготовлении простых деталей плазменная резка в 2–3 раза выигрывает у лазерной по скорости.

Недостатки:

- повышенные требования к техническому обслуживанию;
- процесс довольно сложный и требует высокой квалификации оператора;
- во время резки металла в воздух выбрасывается большое количество вредных газов;
- допуски не такие точные, как при лазерной резке;
- угол отклонения от перпендикулярности реза не должен превышать 10–50 в зависимости от толщины детали (в противном случае существенно расширяется рез, что приводит к быстрому износу расходных материалов);

#### **Список использованных источников**

- 1 Соснин, Н. А. Плазменные технологии: руководство для инженеров / Н. А. Соснин, С. А. Ермаков, П. А. Тополянский. – СПб: Изд-во Политехнического ун-та, 2013. – 406 с.
- 2 Плазменная технология в производстве СБИС / Д. Толливер [и др. ]; под ред. Н. Айнспрука, Д. Брауна. – М. : Мир, 1987. – 469 с.

## Поперечно-клиновая прокатка

Студент гр. 10402119 Кудрявцев Е.А.  
 Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

Поперечно-клиновая прокатка – высокопроизводительная ресурсосберегающая технология обработки металлов давлением с коэффициентом использования металла (КИМ) 0,8–0,98, предназначенная для получения осесимметричных деталей, преимущественно типа ступенчатых валов.

Используется для производства деталей в автомобилестроении, станкостроении, приборостроении, сельхозмашиностроении, тракторостроении, авиастроении, мотовелостроении, горнодобывающей и атомной промышленности. Обработываются практически все конструкционные стали, а также латунь, титан, цирконий и никель.

Метод поперечно-клиновой прокатки позволяет производить изделия из заготовок, представленных на рисунке 1 имеющих круглое 1, шестигранное 2 или квадратное сечение 3, а также из трубы 4. В результате прокатки, начальный профиль преобразуется в круг 5,6.

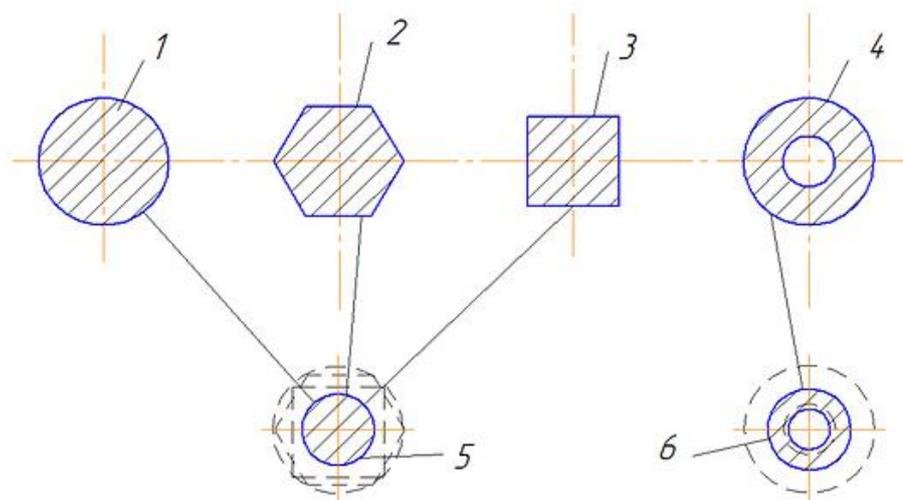


Рисунок 1 – Виды сечений:

1, 2, 3, 4 – исходящее сечение; 5, 6 – полученное сечение

Назначение разработки – максимальная экономия материальных и энергетических ресурсов с созданием высококачественных деталей в кузнечно-штамповочное производстве. Поперечно-клиновая прокатка – высокопроизводительная ресурсосберегающая технология обработки металлов давлением с коэффициентом использования металла 0,8–0,98. Методом ПКП изготавливают детали типа тел вращения с удлиненной осью, формообразование которых осуществляется путем перераспределения металла вдоль оси заготовки движущимся поперек оси плоским клиновым инструментом. Конфигурация деталей весьма многообразна: с цилиндрическими, коническими и сфероидальными поверхностями со всевозможными канавками и выступами. Получаемые детали отличаются высокой прочностью и износостойкостью в процессе эксплуатации [1].

При осуществлении клиновой прокатки сечение заготовки деформируется в круг меньшего диаметра или с преобразованием локального участка из круга меньшего диаметра в круг большего диаметра. Процесс прокатки с увеличением диаметра получил название прокатка с набором (рисунок 2).

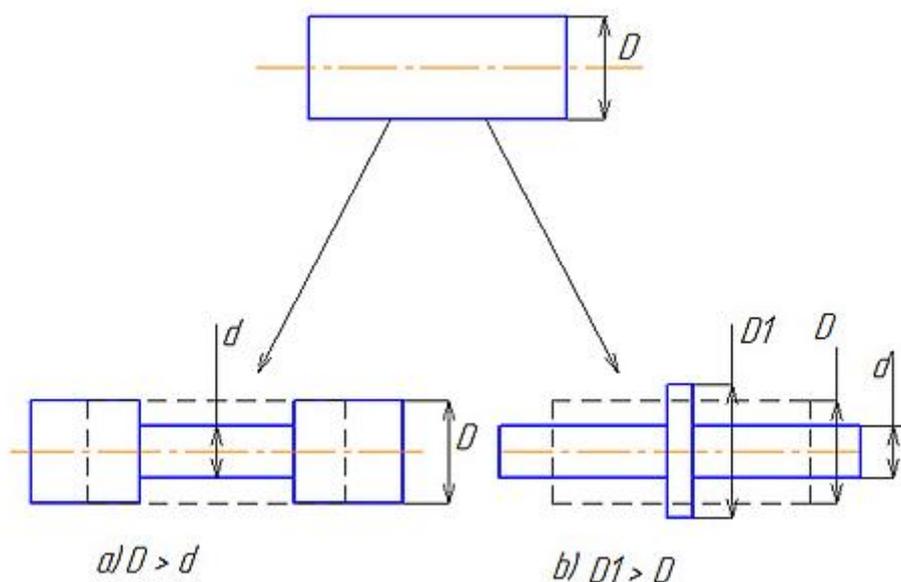


Рисунок 2 – Варианты деформации:

а – с уменьшением диаметра заготовки;

б – с одновременным уменьшением и увеличением диаметра заготовки; где  $D$  – диаметр исходной заготовки,  $D1$  и  $d$  – диаметры конечной заготовки

Низкая себестоимость обеспечивается использованием при изготовлении универсального фрезерного и шлифовального оборудования. В разработанных технологиях конструкция инструмента оптимизирована как по количеству составных частей, так и по выбору оптимального соотношения конструктивных параметров. Оптимизация выполнялась на основе результатов исследования корреляционных зависимостей напряженного состояния, формоизменения заготовки и геометрии очага деформации, с учетом жесткости инструмента и реальных механических свойств прокатываемого металла [2].

Преимущества и инновации

- уменьшение нормы расхода металла на 30–60 %;
- увеличение производительности труда;
- высокая точность и чистота поверхности изделий;
- улучшение эксплуатационных характеристик получаемых изделий на 20–30 %;
- стойкость инструмента до его полного выхода из строя составляет 1 млн. изделий;
- исключение или сведение к минимуму заключительной чистовой обработки изделий;
- снижение энергопотребления процесса.

Таким образом, технология поперечно-клиновой прокатки может быть использована по двум направлениям: для производства заготовок изделия, являющихся телами вращения и для производства заготовок под последующую штамповку.

#### Список использованных источников

1 Садко, В. И. Поперечно-клиновая прокатка: руководство по практическому применению / В. И. Садко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 176 с.

2 Клушин, В. А. Совершенствование поперечно-клиновой прокатки / В. А. Клушин, Е. М. Макушок, В. Я. Щукин. – Минск: Наука и техника, 1980. – 89 с.

## Использование ультразвуковых волн в прокатке

Студенты гр. 10402221: Кусиков А.С., Лебедев Д.В.  
 Научный руководитель – Томило В.А.  
 Белорусский национальный технический университет

Прокатка – это процесс формирования металлических листов, полос и проволоки с помощью механической деформации. Этот процесс является важным этапом производства многих металлических изделий, включая автомобильные детали, трубы, судовое оборудование и многое другое. Одним из методов, применяемых для улучшения качества и эффективности процесса прокатки, является использование ультразвуковых волн [1].

Различают три основных вида прокатки рисунок 1:

1) Продольную прокатку. Валки вращаются в этом способе в разные стороны. Это наиболее распространенный способ. Применяется для изготовления профильного и листового проката.

2) Поперечную прокатку. Валки вращаются в одну сторону и придают вращение заготовке, которая формируется вдоль оси валков. Используется для изготовления круглых профилей.

3) Поперечно-винтовую. Валки располагаются под углом друг к другу, вращаясь в разные стороны. Заготовка получает вращательное и поступательное движение. Применяется для получения бесшовных труб и проката с периодическим профилем.

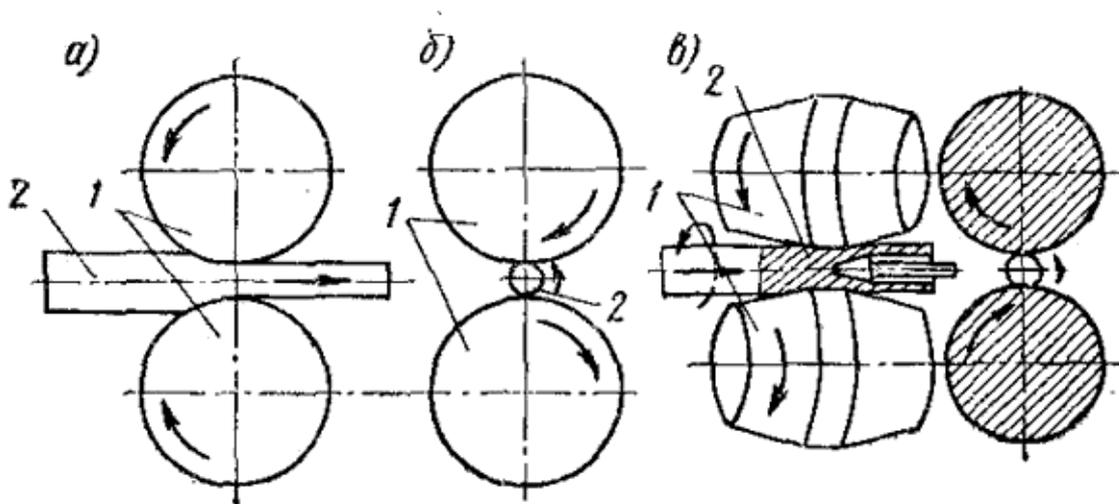


Рисунок 1 – Основные способы прокатки:

1 – валки; 2 – материал

а – продольная, б – поперечная, в – поперечно-винтовая

Ультразвуковые волны – это звуковые волны с частотой выше 20 кГц, которые могут быть использованы для неразрушающего контроля металлических материалов. В контексте прокатки ультразвуковые волны используются для улучшения качества металла, снижения нагрузки на оборудование и увеличения скорости производства.

Одним из способов использования ультразвуковых волн в прокатке является применение ультразвукового вибромассажа. Этот метод заключается в том, что на обрабатываемую металлическую поверхность наносится специальный препарат, после чего на нее направляются ультразвуковые волны. В результате поверхность металла начинает вибрировать, что приводит к удалению нежелательных частиц и улучшению ее качества.

Другой метод использования ультразвуковых волн в прокатке – это воздействие ультразвуковых волн на оборудование, используемое в процессе. Ультразвуковые волны могут использоваться для снижения трения между обрабатываемым металлом и оборудованием, что приводит к снижению нагрузки на оборудование и увеличению его срока службы. Кроме того, ультразвуковые волны могут быть использованы для очистки оборудования от нежелательных частиц, что также способствует улучшению качества продукции и снижению износа оборудования.

Одним из преимуществ использования ультразвуковых волн в прокатке является возможность получения более высокого качества продукции. Ультразвуковые волны могут помочь устранить дефекты металла.

Процесс использования ультразвуковых волн в прокатке может проходить несколько этапов, в зависимости от конкретной задачи и используемого метода. Рассмотрим основные этапы процесса:

1) подготовка поверхности металла. Перед началом обработки ультразвуковыми волнами металлическая поверхность должна быть подготовлена. Это может включать удаление нежелательных частиц, наложение специальных препаратов или покрытий, а также обработку поверхности для создания оптимальных условий для прохождения ультразвуковых волн.

2) направление ультразвуковых волн. Ультразвуковые волны могут быть направлены на металлическую поверхность с помощью различных устройств. Это могут быть специальные генераторы ультразвука, которые создают вибрации на поверхности, или устройства с пьезоэлектрическими элементами, которые преобразуют электрический сигнал в ультразвуковые волны.

3) воздействие ультразвуковых волн. Ультразвуковые волны, проходя через металлическую поверхность, создают в ней вибрации, которые могут иметь различную частоту и интенсивность. Это может приводить к удалению нежелательных частиц, улучшению качества металла и снижению нагрузки на оборудование.

4) контроль качества продукции. После воздействия ультразвуковых волн на металлическую поверхность может быть проведен контроль качества продукции. Это может включать проверку наличия дефектов, таких как трещины, пузыри и включения, а также проверку геометрических параметров и других характеристик.

5) оптимизация процесса. Для достижения наилучших результатов при использовании ультразвуковых волн в прокатке может потребоваться оптимизация процесса. Это может включать изменение параметров ультразвуковых волн, использование различных препаратов или покрытий, а также выбор оптимального оборудования для воздействия ультразвуковых волн на металлическую поверхность [2].

#### **Список использованных источников**

1 Информационный ресурс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studopedia.net/5\\_53650\\_osnovnie-vidi-prokatki--sortament-prokatki.html](https://studopedia.net/5_53650_osnovnie-vidi-prokatki--sortament-prokatki.html). – Дата доступа: 03. 03. 2023.

2 Интернет-энциклопедия Металлообработка-2023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.metobr-expo.ru/ru/articles/tehnologiya-ultrazvukovoy-obrabotki-metalloy/>. – Дата доступа: 02. 03. 2023.

**Магнитно-импульсная обработка материалов давлением**

Студенты группы 10402221 Лебедев Д. В., Кусиков А.С.

Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

Магнитно-импульсная обработка материалов давлением (МИО) является инновационным методом, используемым в области металлообработки. Он основан на создании высокочастотных импульсов магнитного поля, которые генерируются специальными генераторами и передаются через катушки к материалу, подвергаемому обработке. Рассмотрим подробнее процесс МИО материалов давлением (рисунок 1) [1].

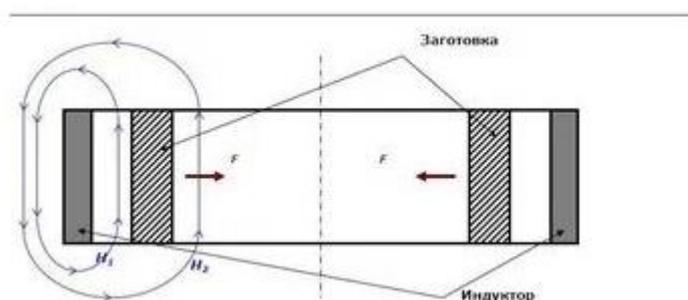


Рисунок 1 – Схема магнитно-импульсная обработка материалов

**Подготовка материала.** Перед началом процесса МИО материал должен быть подготовлен. Это может включать очистку от грязи, жира и других загрязнений, а также обработку поверхности материала для создания оптимальных условий для прохождения импульсов магнитного поля.

**Расположение катушек.** Катушки, через которые передаются импульсы магнитного поля, располагаются вокруг материала. Их количество и расположение зависят от размеров и формы материала.

**Создание импульсов магнитного поля.** Специальные генераторы создают высокочастотные импульсы магнитного поля, которые передаются через катушки на материал. В результате создается магнитное поле, которое воздействует на структуру материала (рисунок 2) [2].

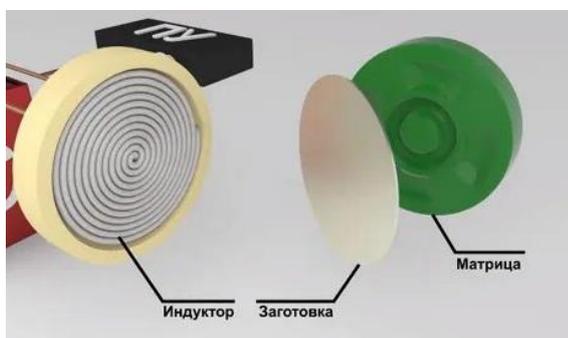


Рисунок 2 – Магнитно-импульсная обработка металлов. Теория

**Деформация материала.** Под воздействием импульсов магнитного поля происходит деформация материала. Это может проявляться в изменении формы, размеров и структуры материала.

Получение желаемого результата. В результате прохождения импульсов магнитного поля через материал достигаются желаемые результаты. Это может включать улучшение механических свойств материала, увеличение его прочности, повышение его устойчивости к коррозии и другим агрессивным средам.

Контроль качества продукции. После процесса МИО может быть проведен контроль качества продукции. Это может включать проверку наличия дефектов, таких как трещины и включения, а также проверку геометрических параметров и других характеристик.

Ниже перечислены некоторые из особенностей и преимуществ МИО:

Увеличение прочности материала: МИО способствует улучшению механических свойств материала, таких как прочность и твердость. Это происходит благодаря изменению микроструктуры материала и созданию сжимающих напряжений в его внутренних слоях

Увеличение износостойкости: МИО может существенно повысить износостойкость материала, что особенно важно для элементов, подвергающихся повышенному износу.

Улучшение долговечности: Улучшение механических свойств материала и увеличение его износостойкости ведут к увеличению долговечности изделий, изготовленных из этого материала.

Малое воздействие на окружающую среду: МИО является относительно безопасной технологией с точки зрения воздействия на окружающую среду. Это процесс, который не использует опасные химические вещества или высокотемпературные процессы.

Высокая эффективность: МИО может быть использована для обработки широкого спектра материалов, включая металлы, полимеры, керамику и композиты. Она также может быть применена к элементам различной формы и размера.

Низкая стоимость: МИО является относительно недорогой технологией, по сравнению с другими методами улучшения механических свойств материалов.

Минимальные деформации: МИО позволяет получать высокую прочность материалов без существенных деформаций. Это позволяет использовать эту технологию для изготовления точных изделий с высокой повторяемостью [3].

### **Список использованных источников**

1 Технология магнитно-импульсной обработки материалов / В. А. Глушников [и др. ]. – Самара: Издательский дом «Федоров», 2014. – 208 с.

2 Магнитно-импульсная обработка материалов / А. Б. Прокофьев [и др. ]. – Самара: АНО «Издательство СНЦ», 2019. – 140 с.

3 Интернет-журнал «Наука и Техника» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://naukatehnika.com/magnitno-impulsnaya-obrabotka-metallov-ot-teorii-k-praktike.html>. – Дата доступа: 01. 03. 2023.

## Особенности разработки поковок для зубчатых колес

Магистрант гр. 50424022 Жогло А.Г.,  
студент гр. 10402221 Лукашевич В.В.  
Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

Зубчатые колеса являются одними из самых распространенных механизмов в промышленности. Они используются во многих отраслях, включая автомобильную, металлургическую, энергетическую и многие другие.

Разработка поковок для зубчатых колес (рисунок 1) является непрерывным процессом, который требует постоянного совершенствования и улучшения. Необходимо следить за новыми технологиями, материалами и методами производства, чтобы повышать качество и эффективность процесса.

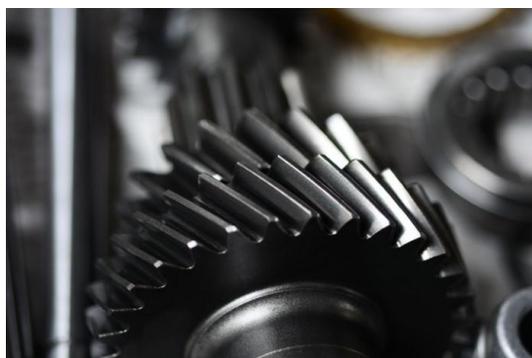


Рисунок 1 – Зубчатое колесо

Особенности этого процесса включают в себя следующие аспекты: Поковки для зубчатых колес обычно изготавливаются из высокопрочных сталей, таких как углеродистая и легированная сталь. Это позволяет им выдерживать высокие нагрузки и длительное время сохранять форму и размеры.

### Конструкция поковки

Для каждого зубчатого колеса требуется индивидуальная конструкция поковки. Конструкция должна быть оптимизирована для обеспечения необходимой прочности, жесткости и точности размеров. Процесс ковки: Поковки для зубчатых колес изготавливаются методом горячей ковки, который позволяет получить высокую прочность и точность размеров [1]. В процессе ковки используется высокоточное оборудование и контроль качества, чтобы обеспечить соответствие размеров и формы поковки требованиям.

### Обработка поверхности

После ковки поковки для зубчатых колес требуют обработки поверхности, чтобы удалить остаточный материал, повысить точность размеров и улучшить поверхностную шероховатость.

### Термическая обработка

По температурным режимам штамповку разделяют на холодную, горячую и полугорячую. Для последних двух необходима предварительная термическая обработка материала с целью уменьшения сопротивления деформациям.

После обработки поверхности поковки для зубчатых колес могут подвергаться термической обработке для улучшения их свойств прочности и устойчивости к износу.

### Контроль качества

В процессе разработки поковок для зубчатых колес осуществляется контроль качества, который включает в себя проверку размеров, формы, твердости и других параметров, чтобы убедиться, что поковки соответствуют требованиям. В целом, разработка поковок для зубчатых колес требует высокой точности и тщательного контроля качества, чтобы обеспечить соответствие размеров и формы зубчатого колеса требованиям.

#### Учет технологических факторов

При разработке поковок для зубчатых колес необходимо учитывать технологические факторы, которые могут повлиять на качество и точность изготовления поковки. Например, необходимо учитывать температуру и времяковки, скорость охлаждения и другие факторы, которые могут повлиять на микроструктуру материала и его свойства.

#### Использование современных технологий

Современные технологии, такие как компьютерное моделирование, численное моделирование и машинное обучение, могут помочь в разработке поковок для зубчатых колес. Широкую популярность получили такие программные обеспечения как Qform, DEFORM 3D, MathCad, MATLAB и прочие. Эти технологии могут помочь улучшить точность моделирования, оптимизировать процессы, ускорить разработку новых поковок и предположить развитие процесса операции [2]. Пример модели поковки показан на рисунке 2.



Рисунок 2 – Компьютерная модель зубчатого колеса

#### Учет особенностей применения

При разработке поковок для зубчатых колес необходимо учитывать особенности их применения. Например, если зубчатое колесо будет использоваться в условиях высоких нагрузок или в экстремальных условиях, то поковка должна быть более прочной и устойчивой к износу.

#### Соблюдение стандартов

Разработка поковок для зубчатых колес должна соответствовать международным и национальным стандартам, таким как ISO, DIN, ASTM и другим. В странах СНГ предпочтителен ГОСТ 7505–89 [3]. Это обеспечит единый подход к проектированию и изготовлению поковок и повысит их качество и надежность. Таким образом, разработка поковок для зубчатых колес является сложным и ответственным процессом, который требует высокой точности, тщательного контроля качества и учета различных факторов. Однако правильная разработка поковок позволяет создавать высококачественные зубчатые колеса, которые обеспечивают высокую производительность и надежность механизмов и машин.

Таким образом, разработка поковок для зубчатых колес является сложным и ответственным процессом, который требует высокой точности, тщательного контроля качества и

учета различных факторов. Однако правильная разработка поковок позволяет создавать высококачественные зубчатые колеса, которые обеспечивают высокую производительность и надежность механизмов и машин.

#### Учет экономических факторов

При разработке поковок для зубчатых колес необходимо учитывать экономические факторы, такие как стоимость производства и конкурентоспособность на рынке. Например, можно использовать экономически эффективные материалы и технологии, чтобы снизить стоимость производства поковок.

#### Оптимизация производственного процесса

Разработка поковок для зубчатых колес должна включать оптимизацию производственного процесса, чтобы улучшить его эффективность и снизить стоимость производства. Например, можно использовать автоматизированные системы контроля качества и процессов, чтобы минимизировать количество бракованных изделий и повысить производительность.

#### Системный подход

Разработка поковок для зубчатых колес должна осуществляться с помощью системного подхода, который учитывает все аспекты процесса, начиная от проектирования и заканчивая контролем качества готовой продукции. Это позволит минимизировать возможные ошибки и повысить эффективность производства.

#### Контроль качества

Контроль качества является важной частью разработки поковок для зубчатых колес. Необходимо установить строгие стандарты качества и проводить регулярный контроль качества во время производства, чтобы гарантировать высокое качество и точность поковок.

Совершенствование технологий обработки зубчатых колес реализуется созданием высокоэффективных методов производства, прогрессивного инструмента и современного оборудования, позволяющих повысить производительность процесса формирования зуба и обеспечить требуемую точность параметров цилиндрических зубчатых колес.

### **Список использованных источников**

1 Кондрашов, В. А. Высокоэффективная зубообработка цилиндрических зубчатых колес / В. А. Кондрашов // Наука и Техника. – 2013. – № 12. – С. 132–137.

2 Жогло, А. Г. Анализ дефектов полугорячей объемной штамповки (ПГОШ) элемента муфты гидравлической «Корпус левый» / А. Г. Жогло, Н. Г. Якубчик ; науч. рук. В. А. Томило // Новые материалы и технологии их обработки [Электронный ресурс] : сборник научных работ XXIII Республиканской студенческой научно-технической конференции, 21–22 апреля 2022 года / сост. : А. П. Бежок, И. А. Иванов. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 122125.

3 Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. ГОСТ 750589. – Введ: 01. 07. 1990. – «Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам», 1990. – 40 с.

Студент гр. 10402119 Маркевич А.В.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Индукционный нагрев получил широкое распространение в промышленности и научных исследованиях, от получения и обработки полупроводниковых материалов до нагрева слитков цветных и черных металлов под прессование и прокатку; сфера его применения его постоянно расширяется. Развиваются новые технологические процессы, такие как импульсная высокоскоростная термообработка, высокотемпературный нагрев, плавка оксидов и других непроводящих материалов в холодных тиглях, нагрев крупногабаритных слитков под пластическую деформацию на промышленной и пониженной частотах.

Особенно сложные требования выдвигает включение индукционных нагревателей в состав гибких автоматизированных производственных систем, когда изменение в определенных пределах сортамента нагреваемых изделий и режима их нагрева является нормальным условием эксплуатации оборудования [1].

Применение индукционного нагрева и перспективы его развития в условиях интенсификации производства обусловлены рядом постоянно действующих причин:

Высоким качеством нагрева вследствие быстроты процесса, отсутствием загрязнений, достижимостью любых температур, возможностью использования различных атмосфер и вакуума и т. д. ; существует ряд процессов, реализация которых без индукционного нагрева практически не возможна;

Гибкостью и высокой точностью управления из-за малой инерционности процесса, возможности точного дозирования энергии, наличием нескольких каналов управления;

Сбережением материальных, трудовых и во многих случаях энергетических ресурсов за счет уменьшения потерь материала в процессе нагрева, повышения качества продукции, увеличение производительности;

Уменьшением вредных воздействий на окружающую среду и улучшением условий труда обслуживающего персонала.

Суммарная мощность установок для индукционного нагрева металлов достигает у нас в стране сотен тысяч киловатт и быстро возрастает дальше, так как на многих предприятиях этот вид нагрева принимается в качестве основного. Мощности отдельных установок в особенности для нагрева проката составляют десятки тысяч киловатт.

Сквозной индукционный нагрев – это нагрев металлических заготовок перед обработкой давлением (ковка, штамповка, прокатка, волочение и т. д. ), а также нагрев под объёмную термообработку. Наиболее широкое применение сквозной нагрев нашел в кузнечном производстве [2].

Сквозной нагрев в кузнечных цехах осуществляется обычно при малой удельной мощности, передаваемой в заготовку. Большие удельные мощности могут привести к оплавлению поверхности раньше, чем сердцевина достигнет ковочной температуры.

При малой удельной мощности тепловые потери с поверхности заготовки могут значительно снижать КПД нагрева. Поэтому между поверхностью и медной водоохлаждаемой трубкой, образующей индуктирующий провод, должна быть помещена тепловая изоляция. Для равномерного сквозного нагрева заготовок диаметром 30–100 мм, которые чаще других нагреваются током частотой 1000–8000 Гц, требуется от одной до пяти минут.

Производительность ковочных агрегатов обычно составляет 3–5 заготовок в минуту. Поэтому для обеспечения непрерывной загрузки ковочных агрегатов, как правило, в индукторе должно находиться несколько заготовок. При этом длина индуктора получается

большой, так что на ней легко разместить индуктирующий провод с числом витков, достаточным для прямого подсоединения его к источнику тока.

Технологии сквозного нагрева металлов характеризуются высокими требованиями к нагреву с точки зрения экономичности процесса и качества продукта.

#### **Список использованных источников**

1 Мансуров, А. М. Технология горячей штамповки / А. М. Мансуров. – М. : Машиностроение, 1971. – 415 с.

2 Безручко, И. И. Индукционный нагрев для объемной штамповки / И. И. Безручко. – М. : Машиностроение, 1987 – 126 с.

## Волочение

Студент гр. 10402221 Мартынов А.Л.  
 Научный руководитель – Томило В.А.  
 Белорусский национальный технический университет

Волочение является одним из методов обработки металлов, при котором с помощью специальных приспособлений происходит изменение размеров, формы и структуры металлических заготовок. Классификация оборудования для волочения основана на характеристиках процесса исходного материала.

Классификация по способу загрузки материала:

1) Ручная загрузка. Используется для обработки небольших заготовок, требующих высокой точности обработки.

2) Механическая загрузка. Используется для обработки более крупных заготовок, когда необходимо сократить время загрузки.

Классификация по типу волочильных станков:

1) Прямолинейные станки. Используются для волочения заготовок в одном направлении.

2) Круговые станки. Используются для волочения заготовок в круговом направлении, что позволяет получать заготовки со сложными формами.

3) Спиральные станки. Используются для волочения заготовок в спиральном направлении, что позволяет получать заготовки со спиральной формой.

В зависимости от конкретных производственных задач и особенностей материала может использоваться один или несколько типов оборудования для волочения. Классификация оборудования помогает выбрать оптимальный метод обработки металла с учетом требований к качеству, скорости производства и экономической эффективности [1].

В зависимости от конкретных производственных задач и особенностей материала, могут использоваться различные виды волочения.

Волочение на закреплённой оправке

Один из наиболее распространённых методов волочения труб с середины XIX века. Закреплённая (короткая) оправка чаще всего цилиндрическая, иногда ей придают цилиндрикоконическую форму, что улучшает её центровку в очаге деформации. Закреплённые оправки выполняются полыми для труб большого диаметра и сплошными для тонкостенных труб меньшего диаметра (рисунок 1).

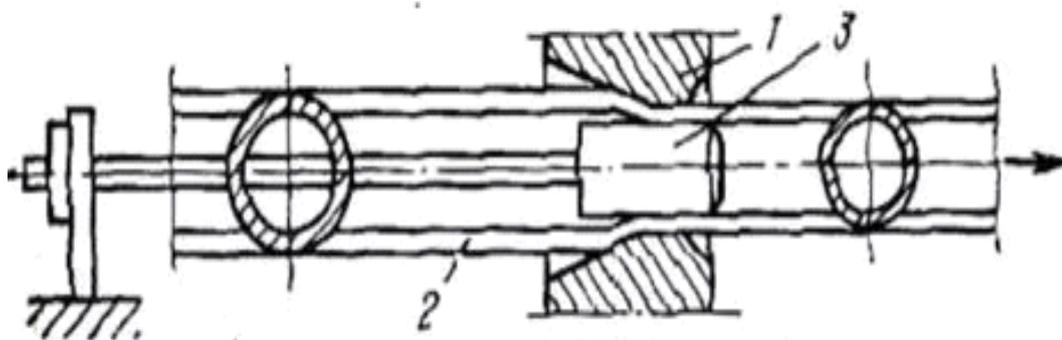


Рисунок 1 – Закреплённые оправки:

1 – волока (фильера); 2 – изделие; 3 – оправка

Волочение на самоустанавливающейся оправке

Волочение труб с обработкой внутренней поверхности заготовки незакреплённой самоустанавливающейся оправкой, удерживаемой в очаге деформации уравниванием действующих на неё втягивающих и выталкивающих сил (рисунок 2).

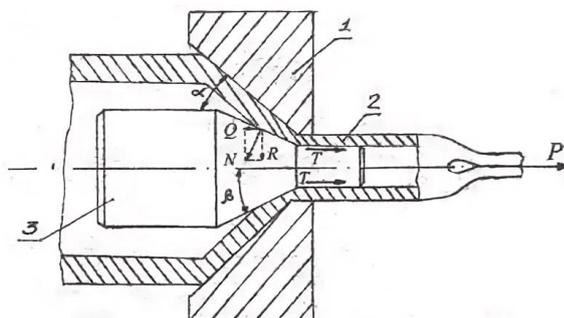


Рисунок 2 – Внутренней поверхности заготовки:  
1 – волока; 2 – изделие; 3 – оправка.

### Профильное волочение

Используется для обработки заготовок, которые имеют сложную профильную форму.

При профильном волочении, заготовка проходит через матрицы и валки с различным расположением рифлений, что позволяет получать заготовки с заданной формой. Способы волочения профилей:

1) Волочение без оправки – для уменьшения наружного диаметра трубы (рисунок 3).

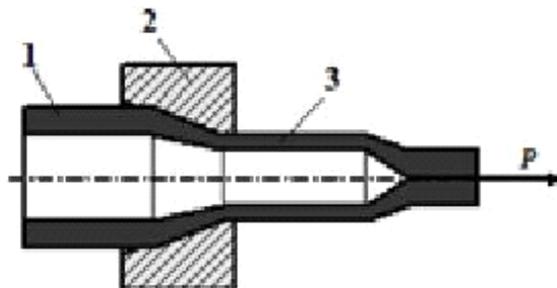


Рисунок 3 – Волочение без оправки:  
1 – исходная заготовка; 2 – волока (фильера); 3 – готовое изделие

2) Волочение на короткой оправке – для труб с качественной внутренней поверхностью, имеющих регламентированную толщину стенки (рисунок 4).

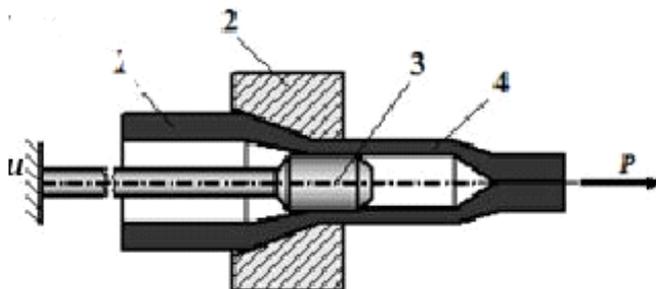


Рисунок 4 – Волочение на короткой оправке:  
1 – заготовка; 2 – волока (фильера); 3 – короткая оправка; 4 – изделие.

3) Волочение на плавающей оправке – для получения труб большой длины (рисунок 5).

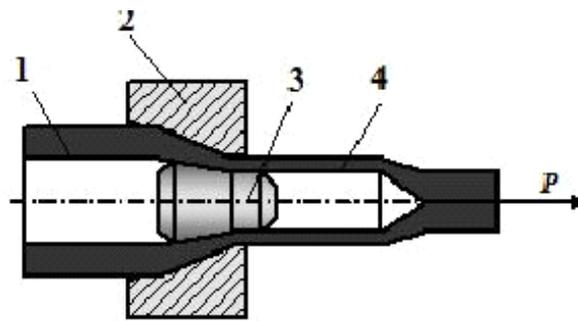


Рисунок 5. 1 – заготовка; 2 – волока (фильера); 3 – изделие; 4 – плавающая оправка.

Волочение труб – это процесс производства труб, при котором круглый заготовительный материал (обычно стальная заготовка) пропускается через конусную матрицу и тянется с помощью гидравлической тяговой силы через серию трубообразующих матриц, что приводит к увеличению длины и уменьшению диаметра заготовки, пока не достигнут желаемые размеры трубы (рисунок 6).

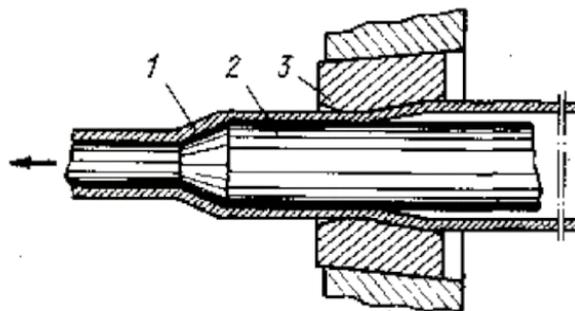


Рисунок 6 – Волочение труб  
1 – труба; 2 – оправка; 3 – волока.

Волочение прутка – это процесс производства металлических изделий, при котором круглый или прямоугольный заготовительный материал пропускается через коническую матрицу и тянется с помощью гидравлической тяговой силы через серию волочительных матриц, что приводит к изменению формы и размеров заготовки. Процесс волочения прутков и других профилей широко используется в производстве различных металлических изделий, таких как проволока, стержни, шестигранные, квадратные и прямоугольные прутки, профилированные трубы и т. д. (рисунок 7) [2].

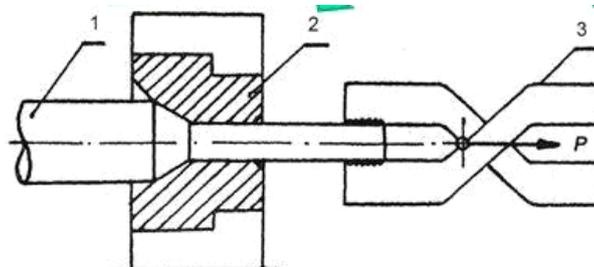


Рисунок 7 – Волочение проволоки:  
1 – заготовка; 2 – волока (фильера); 3 – захватное устройство

В зависимости от конкретных требований к обработке металла, могут использоваться один или несколько видов волочения.

Волочение используется для изменения размеров, форм и структуры металлических заготовок. Он применяется в различных отраслях промышленности, включая машиностроение, автомобильную, электротехническую, строительную, а также производство бытовой техники, мебели, упаковки и многих других отраслей.

Основные применения волочения в промышленности:

Производство проволоки различных типов и размеров для производства сварочных электродов, пружин, крепежных изделий и других изделий.

Производство штанг, труб и других заготовок, которые используются в строительстве и производстве мебели.

Изготовление листового металла различных типов и размеров для использования в производстве автомобилей, бытовой техники и других изделий.

Производство металлических сеток и решеток, которые используются в строительстве, сельском хозяйстве и других отраслях.

Изготовление металлических изделий различных типов и размеров, включая детали машин и оборудования, кузова автомобилей, корпуса электротехнических изделий и многие другие.

Применение волочения позволяет значительно увеличить производительность и точность процесса обработки металла, а также снизить стоимость производства. Однако для достижения высокого качества изделий, необходимо использовать высокоточное оборудование и тщательно контролировать процесс обработки [3].

### **Список используемых источников**

1 Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Теория обработки металлов давлением» для специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/95888/Teoriya\\_obrabotki\\_metallov.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/95888/Teoriya_obrabotki_metallov.pdf?sequence=1&isAllowed=y). – Дата доступа: 03. 03. 2023.

2 Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Волочение>. – Дата доступа: 04. 03. 2023.

3 Теория обработки металлов давлением: учеб, для студентов вузов / М. В. Сторожев, Попов Е. А. - 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1977. – 423с.

## Повышение надежности и долговечности инструмента штампового оборудования

Студент гр. 10402120 Мартынов Д.В.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Повышение надёжности – одна из важнейших задач машиностроения. Она возрастает в связи с требованиями большей производительности предприятий. Одними из важнейших условий, которые должно удовлетворять оборудование является его долговечность, безотказная работа и надёжность в связи с техническими требованиями предприятия.

Мероприятия по повышению надёжности и безотказности в машиностроении предусматривают: конструкторские и технологические мероприятия. В каждом конкретном случае конструктор и технолог должны правильно выбирать и использовать наиболее эффективные средства и технологии для повышения долговечности и надёжности оборудования.

Оптимальным решением вопроса повышения надёжности и долговечности – применение стали, имеющую повышенную твердость. Наиболее подходящей является марки X12Ф1 (1,01 % С; 0,4 % Si; 0,25 % Mn; 0,99 % Cr и 0,13 % V) [1], вместо стали У8. Средняя долговечность штампа, изготовленных из стали X12Ф1, возрастет в 1,3 раза [2]. Сопротивление разрушению, вызванное усталостью, может зависеть не только от объёмных свойств материала, но и от условий формирования поверхностного слоя, что приводит к изменению формы заготовки, напряжению. Напряженное состояние поверхностного слоя имеет особенности:

- максимальные напряжения на поверхности при таких видах нагрузок, как изгиб и скручивание;
- высокие локальные напряжения, которые возникают в поверхностных слоях из-за наличия концентраторов напряжений, микротрещин;
- остаточные напряжения, которые возникают в поверхностных слоях в процессе механической, химической и термической обработки для нанесения покрытия.

Остаточные напряжения повышают вероятность деформации и разрушению. На характер и величину остаточных напряжений на поверхности существенно сказывается использование методов поверхностного упрочнения и нанесения покрытий различного назначения [4]. После пластической деформации, цементации, азотирования заготовки имеют максимальные напряжения сжатия, а после нанесения гальванических покрытий, снижающих насыщенность углеродом поверхностного слоя стальных деталей. В данных слоях прослеживаются максимальные остаточные напряжения растяжения. На практике утверждается, собственно как, остаточные напряжения сжатия на поверхности образцов увеличивает шанс разрушения, вызванные усталостью, потому что остаточные растягивающие напряжения в поверхностном слое снижают значения вышеуказанного показателя. Долговечность штампов, изготовленных из одного и того же материала по одной и той же технологии, может отличаться под влиянием определённых факторов. Это случается из-за процесса разрушения, вызванного усталостью, который состоит из 2-ух стадий – зарождение трещины, на которую влияет состояние поверхности и концентрация напряжений, и локального разрушения.

Существует вероятность, что горячая заготовок с максимально приближенной формой и азотировано обработанной поверхности улучшат свойства усталостного разрушения и увеличат стойкость перед разрушением [3]. Долговечность и надёжность зависит от износостойкости материала. Если поверхность валов покрыта нитритом титана, то долговечность уже определяется свойствами покрытия. Таким образом, вероятность растрескивания покрытия можно уменьшить путем предварительного азотирования поверхностного слоя, например, с

помощью азотирования [4]. В качестве альтернативы механической обработке была предложена технология изготовления матриц – горячей штамповкой и пуансонов – литьём под давлением.

Таким образом, из исследования по данной теме можно сделать вывод:

Для повышения долговечности и надежности штампового оборудования необходимо:

– использование стали X12Ф1, вместо стали У8;

– азотирование поверхности;

– использование изготовления матриц – горячей штамповкой и пуансонов – литьём под давлением.

Использование этих методов позволяет увеличить долговечность валков в 1,3 раза.

### **Список использованных источников**

1 Металлопродукция из сталей нержавеющей и сплавов на железоникелевой основе коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных: ГОСТ 5949–2018. введ. РБ 01. 07. 2019. – Минск: Белорус. гос. ин–т стандартизации и сертификации, 2019. – 35 с.

2 Углов, В. В. Плазменно-имперсионная имплантация азота и быстрорежущую сталь. Фазовый состав и механические свойства / В. В. Углов [и др.] // Физика и химия обработки материалов, 1999. – № 5. – С. 18–25.

3 Трощенко, В. Т. Сопротивление материалов деформированию и разрушению: справ. пос. : в 2 кн. / В. Т. Трощенко [и др. ]. – Киев: Наумова думка, 1993. – 683с.

4 Шестакова, Е. Н. Пути повышения качества кованных прокатных валков / Е. Н. Шестакова, А. И. Потапов, Г. А. Орлов. – Уральский Федеральный Университет им. Б. Н. Ельцина, Институт машиноведения УрО РАН г. Екатеринбург. – 486 с.

**Использование гидравлических форсунок  
для автоматического охлаждения методических печей**

Студенты группы 10402221: Мусский А.А., Апанасевич Е.В.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Надежная работа металлургической печи зависит от качества огнеупорных материалов, конструкции и стойкости охлаждаемых элементов и осуществима только при правильном охлаждении. Система охлаждения существенно влияет на конструкцию печи, ее фундаментальность и надежность.

Для охлаждения элементов печей, находящихся в зоне высоких температур, на металлургических заводах используют воду. Расход воды, идущей на охлаждение, в среднем составляет 95 % общего расхода, затрачиваемого на технические нужды.

Охлаждение элементов и узлов металлургических печей, работающих в тяжелых температурных условиях, позволяет: предохранять их от прогара, повышать стойкость кладки, обеспечивать неизменность профиля печи.

Испарительное охлаждение металлургических печей в настоящее время является наиболее совершенным и экономичным. Применение его увеличивает срок службы металлургических печей и повышает надежность их работы, устраняет прогар деталей, сокращает расход охлаждающей воды и дает возможность использовать тепло.

Основная идея испарительного охлаждения.

Процесс, сопровождающийся возникновением сплошного слоя пара между поверхностью нагрева и жидкостью, называют пленочным кипением [1].

При пузырьковом кипении жидкость непосредственно омывает поверхность нагрева между действующими центрами парообразования, причем ее пограничный слой перемешивается образующимися в нем паровыми пузырями. Вследствие этого интенсивность теплоотдачи к жидкости при пузырьковом кипении весьма велика и возрастает с увеличением числа действующих центров парообразования. При пленочном кипении жидкость отделена от поверхности нагрева слоем малотеплопроводного пара, вследствие чего интенсивность теплоотдачи во много раз меньше, чем при пузырьковом кипении. По этой причине переход от пузырькового режима кипения к пленочному, при неизменной плотности теплового потока, сопровождается резким возрастанием температуры поверхности нагрева [2,3].

Использование капельного кипения позволяет в несколько раз повысить интенсивность процесса испарения и, соответственно, увеличить эффективность работы испарительного охлаждения методических печей.

Для данного условия работы системы испарительного охлаждения необходимо распылять капли технической воды на глассажные и подовные трубы из специально подобранных гидравлических форсунок, которые помогают доставить капли и равномерно распределить их количество по трубам. Примерная схема автоматизированной системы испарительного охлаждения с использованием гидравлических форсунок представлена на рисунке 1.

Для правильной и эффективной работы новой системы испарительного охлаждения необходима автоматизация данной установки.

Для определения температуры глассажных труб требуется установить датчик температуры, который будет отслеживать температурный режим трубы в данный момент. В зависимости от установившегося значения система либо отключается (если температура находится в допустимом диапазоне), либо начинается процесс испарительного охлаждения, то есть насос начинает нагнетать воду из бака в систему труб с гидравлическими форсунками. Капли воды начинают охлаждать глассажные трубы.

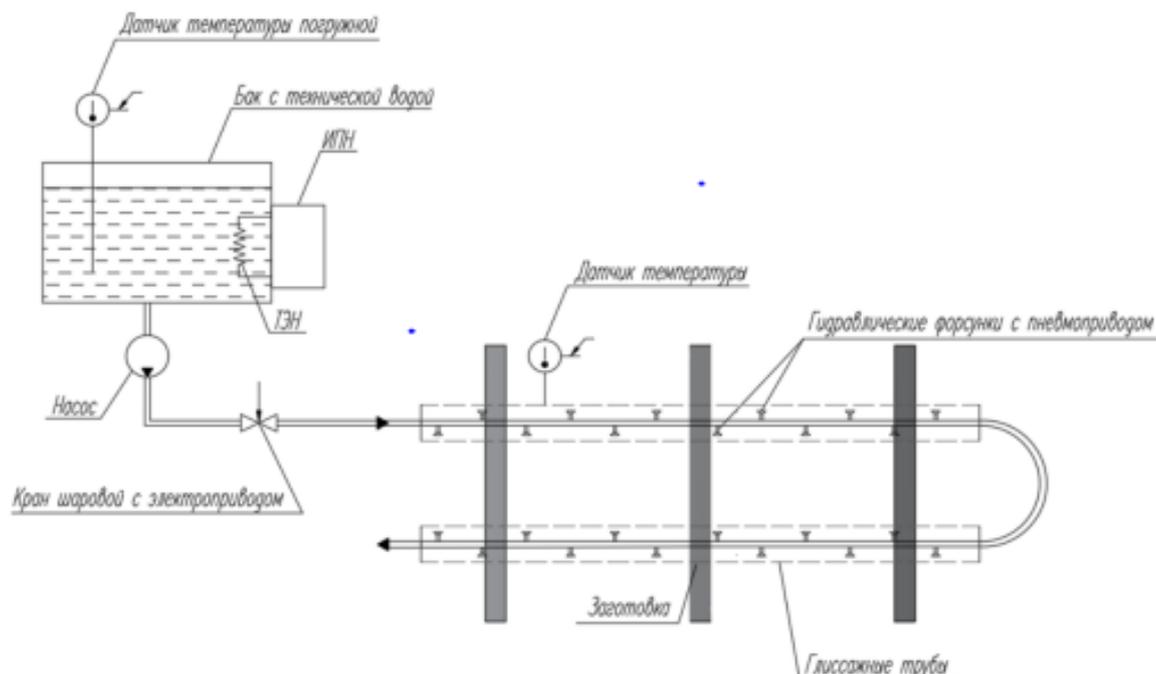


Рисунок 1 – Схема автоматизированной системы испарительного охлаждения с использованием гидравлических форсунок.

На Рисунке 2 представлена зависимость времени полного испарения небольшой капли жидкости от величины температурного напора. Левые ветви зависимости  $\tau = f(\Delta t)$  соответствуют интервалу температурного напора, при котором жидкость в капле смачивает поверхность нагрева и в ней наблюдается пузырьковое кипение. Интенсивность теплоотдачи такого режима испарения велика и еще больше увеличивается с ростом температурного напора и, соответственно, с уменьшением времени испарения.

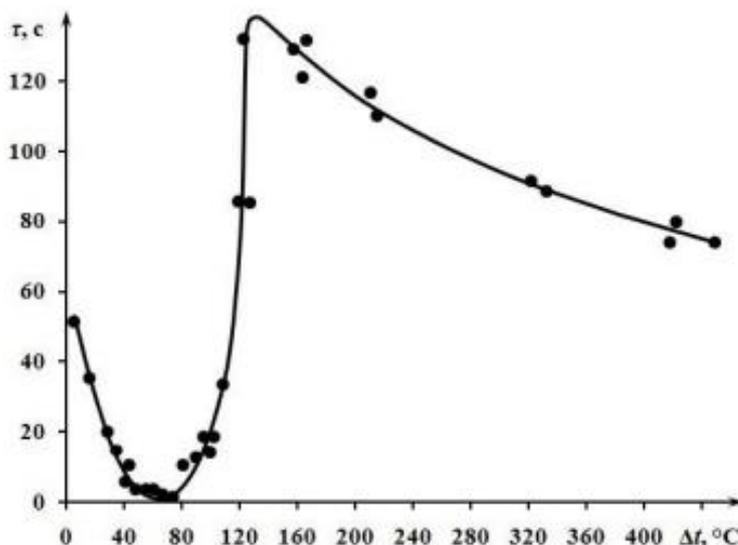


Рисунок 2 – Зависимость времени испарения от температурного напора  $\eta = f(\Delta t)$  капли воды размером мм на поверхности нагрева

При некотором значении температурного напора (в рассматриваемом случае при  $\Delta t_{кр1} \approx 67$  °C) капля перестает растекаться и начинает принимать сфероидальную форму, а время испарения начинает увеличиваться с ростом температурного напора. В начале перехода

капли в сфероидальное состояние наблюдается прерывистое контактирование жидкости с поверхностью нагрева, а интенсивность теплоотдачи начинает уменьшаться с ростом температурного напора.

Благодаря данной установке, возможно, сократить расходы технической воды для работы системы испарительного охлаждения, при этом эффективность данного охлаждения возрастет примерно в 1,4 раза [2,3].

#### **Список использованных источников**

1 Google Академия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scholar.google.ru/schhp>. – Дата доступа: 18. 04. 2023.

2 Теплообмен при капельном кипении жидкости в технологических аппаратах: дис. . . . канд. тех. наук: 05. 17. 08: защищена 12. 02. 18: утв. 15. 02. 18 / Васильев Петр Сергеевич. – Волгоград, 2018. – 245 с.

3 Панюлайтис, А. С. Автоматизированное устройство испарительного охлаждения методических печей с использованием гидравлических форсунок / А. С. Панюлайтис, В. Г. Барабанов, П. С. Васильев. – ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – С. 73–76.

## Штамповка в изготовлении кузовных деталей машин

Студенты гр. 10402221: Кашмель А.В.,  
Евстратовский А.В.

Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Кузов авто самая важная часть автомобиля. Поскольку на нем крепятся все детали. Кузов контактирует с внешней средой и подвергается разрушению. При изготовлении кузова большое внимание уделяют прочности. Для большинства кузовных деталей используют сверхтвердые стали, которые требуют сложного подхода при обработке [1].

Что бы сделать кузов следует соблюдать последовательность изготовления. Для начала берут компоновочный чертеж (рисунок 1).

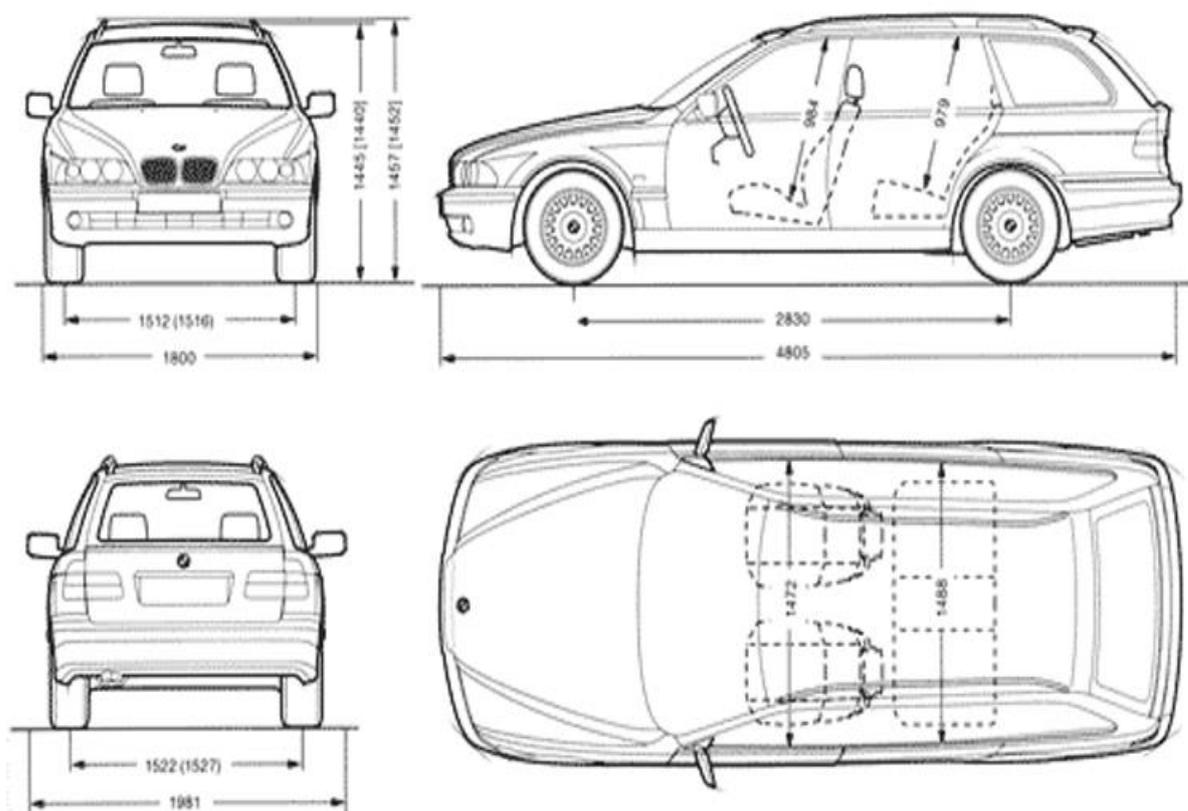


Рисунок 1 – Чертеж автомобиля

На основе этого чертежа необходимый металл подвергается холодной штамповке.

При штамповке деталей, изготовленных из листового металла на заготовку оказывается значительное давление. Под воздействием такого давления заготовка деформируется, приобретает требуемую конфигурацию и размеры. По итогу лист металла принимает форму штампа, после чего достается и отправляется на химическую обработку [2].

Именно благодаря технологии холодной листовой штамповки стало возможен серийный выпуск авто. Качество кузовных деталей значительно выросло.

Штамповка дает возможность:

- производства изделий различных геометрических форм и размеров, качество и точность изготовления которых позволяют сразу использовать их по прямому назначению;

– полной механизации и автоматизации производственных процессов, что достигается, в частности, путем оснащения производства роторно-конвейерным оборудованием для штамповки листового металла (рисунок 2);

– серийного производства изделий, геометрические параметры которых отличаются особо высокой точностью.



Рисунок 2 – Процесс штамповки

Использование такой технологической операции, как объемная штамповка, позволяет превратить металлический лист в изделие, прочностные характеристики которого находятся на высоком уровне [3].

Применение методов штамповки деталей из листового металла позволяет изготавливать как очень массивные изделия, используемые при производстве машиностроительной продукции, водных и воздушных судов, так и миниатюрные детали.

#### **Список использованных источников**

1 Преображенский, А. А. Технология изготовления автомобильных кузовов: учеб. пособие / А. А. Преображенский. – М. : Изд. стер., 1990. – 256 с.

2 Пачурин, Г. В. Кузов современного автомобиля: учеб. пособие / Г. В. Пачурин. – М. : Изд. стер., 2018. – 316 с.

3 Савич, Е. Л. Ремонт кузовов легковых автомобилей: учеб. пособие / Е. Л. Савич. – М. : Изд. стер., 1998. – 102 с.

## Новый процесс производства высокоточной бесшовной стальной трубы

Студент гр. 10402120 Вязов Ю.М.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время высокоточные толстостенные бесшовные стальные трубы с малым отверстием широко используются в производстве различных пневматических или гидравлических компонентов. Для их внутреннего и внешнего диаметров требуется высокая точность и малая шероховатость поверхности.

Традиционная технология механической обработки имеет ряд недостатков. Из-за длинной трубы длина соответствующего держателя инструмента будет увеличиваться, что может привести к вибрации и деформации во время обработки. Чтобы обеспечить высокую точность размеров и качество поверхности внутреннего отверстия, в последующем требуется несколько проходов развертывания и полировки. Однако это влечет за собой большие трудозатраты и временные затраты на обработку трубы. Проводится около 30 операций, таких как глубокое сверление, развертывание глубоких отверстий, электролитическая полировка, хонингование и обработка внутренних отверстий. При глубокой обработке углеродистой стали скорость сверления составляет всего 10~14 мм/мин, но глубокое сверление занимает 28~40 мин (длина трубы 400 мм). Однако шероховатость внутреннего отверстия достигает всего Ra 0,4~0,8 мкм после многократного развертывания и полировки. Для достижения приемлемых результатов в Ra 0,2 мкм, необходима электрополировка внутренней.

Традиционный процесс холодной прокатки эффективнее и выглядит следующим образом: выплавка стали, круглая прокатка стали, прошивка, травление, холодная прокатка, отжиг, полировка внутренней и внешней поверхностей. Основное преимущество холодной прокатки отражено в следующих моментах: очаг деформации холодной прокатки подвергается сжимающим напряжениям, что способствует пластической деформации. Коэффициент удлинения при прокатке ( $\mu$ ) может достигать 4–7, скорость уменьшения диаметра может достигать 75–85 %, а отклонение толщины стенки трубы после холодной прокатки уменьшается. Холодная прокатка приводит к плотной структуре трубы и мелкозернистости. При этом механические и физические свойства трубы улучшаются одновременно, а предел прочности при растяжении увеличился. от 581 МПа до 1096 МПа. Однако труба может подвергаться водородному охрупчиванию и межкристаллитной коррозии во время травления, и большинство существующих холоднокатаных бесшовных труб представляют собой тонкостенные трубы. Традиционный процесс холодной прокатки не может производить трубы с отношением диаметра к толщине  $\leq 3$  после отпуска. Кроме того, он также нуждается в повторной термообработке и полировке, поэтому эффективность его ниже, чем у нового предлагаемого процесса прокатки.

Новый процесс производства высокоточной бесшовной стальной трубы выглядит следующим образом: закалка и отпуск, механическое хонингование, холодная пильгерная прокатка, вакуумный отпуск, готовое изделие.

Этот метод подвергался проверкам. Результаты показывают, что скорость подачи положительно коррелирует с нормальным давлением на единицу площади, а увеличение нормального давления на единицу площади полезно для уменьшения шероховатости внутренней стенки [1]. С увеличением скорости подачи шероховатость (Ra, Rq и Rz) постепенно уменьшается. При подаче от 1 до 3 мм/ход внутренняя поверхность Ra трубы уменьшается с 0,285 мкм до 0,165 мкм, Rz изменяется с 0,746 мкм до 0,485 мкм, а Rq изменяется от 0,318 мкм до 0,221 мкм, значительно снижается шероховатость внутренней поверхности трубы. Однако по мере постепенного увеличения подачи до 6 мм/ход Ra трубы уменьшается с 0,165 мкм до 0,146

мкм, Rz изменяется с 0,487 мкм до 0,485 мкм, а Rq изменяется с 0,221 мкм до 0,181 мкм, уменьшение шероховатости имеет тенденцию замедляться. Причина может заключаться в том, что с увеличением скорости подачи увеличивается толщина масляной пленки между внутренней поверхностью трубы и оправкой. Когда толщина масляной пленки слишком велика, это влияет на уменьшение толщины внутренней стенки, и тенденция к уменьшению шероховатости замедляется.

Микроструктура исходной трубы перед прокаткой представляет собой отпущенный сорбит, а ориентация зерен имеет случайное распределение. После прокатки зёрна вытягиваются вдоль направления прокатки, за счет значительной холодной деформации сформировывается волокнистая структура. Кроме того, плотность дислокаций также быстро возрастала с увеличением степени деформации, что является одной из основных причин возникновения наклепа [2]. За счет образовавшихся дислокационных ячеек, препятствующих скольжению дислокаций, предел текучести увеличивается с 985 МПа до 1125 МПа, а предел прочности увеличивается с 1134 МПа до 1178 МПа. Предел текучести снижается с 1125 МПа до 912 МПа, предполагается, что множество дислокаций, возникающих на границах зерен в процессе холодной прокатки, восстанавливаются в процессе отпуска, и плотность дислокаций уменьшается, прочность снижается, а пластичность и вязкость возвращаются к уровню до прокатки;

Эффективность подготовки и качество поверхности толстостенной трубы новой холодной прокаткой намного лучше, чем при традиционном процессе механической обработки и традиционном процессе прокатки.

#### **Список использованных источников**

1 Акасаки, Х. Н. Прогресс в технологии изготовления труб и их перспективы на будущее – применение и производство / Х. Н. Акасаки. – Токио : Ниппон Стил Тех, 2004. – 90 с.

2 Гуляев, Ю. Г. Методика расчета скоростного режима непрерывной прокатки труб / Ю. Г. Гуляев, Е. Е. Шифрин. – Металлург, 2014. – 910 с.

Студент гр. 10402119 Губар П.Г.

Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

Гидравлический привод (или, сокращенно, гидропривод) широко применяется в производственных машинах, механизмах, в том числе в металлорежущих станках. Если в электроприводе электроэнергия поступает от внешнего источника, то в гидроприводе источник энергии – движение жидкости под давлением создается преобразованием других видов энергии – в основном электричества.

Гидравлический привод состоит (рисунок 1) из бака 1 с рабочей жидкостью, гидронасоса 2, контрольно-регулирующей и распределительной гидроаппаратуры (дресселя 3, гидрораспределителя 4 и предохранительного клапана 6) и исполнительного устройства (гидродвигатель, гидроцилиндр и др.) 5, которым приводится в действие рабочий орган производственной машины.

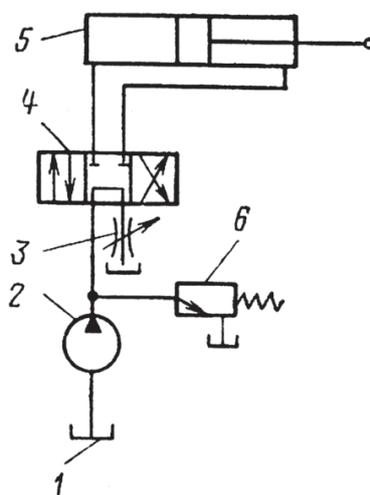


Рисунок 1 – Гидравлический привод:

1 – бак с рабочей жидкостью; 2 – гидронасос; 3 – дроссель; 4 – гидрораспределитель;  
5 – исполнительное устройство; 6 – предохранительный клапан

Рабочая жидкость – минеральное масло марок ИГП-18, ИГП- 30, ИГП-38 и др., которое применяется в гидравлическом приводе станков для передачи движения и скорости силовому органу. Масло, применяемое в качестве рабочей жидкости, должно быть однородно по химическому составу, иметь высокую температуру вспышки, низкую температуру застывания и не должно содержать водорастворимых кислот и щелочей, т. к. они вызывают коррозию и появление мылообразующих жиров, образующих пену, которая является причиной неравномерного движения силового органа [1].

Установившаяся температура масла в баке гидросистемы во время работы не должна превышать 55 °С, 70 °С и т. д., если в технических условиях или заменяющих их технических документах на конкретный станок не предусматривается меньшее значение.

Температура масла в гидробаке должна быть не более 70 °С, если выделяемое гидросистемой тепло не оказывает существенного влияния на точность работы станка.

Гидронасос – устройство, всасывающее рабочую жидкость из гидробака и нагнетающее ее в гидросистему. Гидронасос в производственных машинах приводится в действие электродвигателем.

По принципу действия, т. е. по способу передачи механической энергии жидкости, насосы подразделяются на объемные (поршневые, пластинчатые, шестеренчатые, винтовые) и центробежные. Основными величинами, характеризующими работу насоса, являются производительность, давление, потребляемая мощность, коэффициент полезного действия и высота всасывания.

Производительностью насоса называется объемное количество жидкости, подаваемое насосом в единицу времени. Оно обозначается  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , л/с).

Энергия жидкости в гидросистеме характеризуется давлением. За единицу давления принимается давление, получающееся при действии силы в  $1 \text{ кгс}/\text{см}^2$ . Эта единица давления называется технической атмосферой и обозначается ата. В СИ килограмм-сила на квадратный сантиметр будет равна  $100 \text{ кПа}$ . Полезная мощность всегда меньше потребляемой за счет потерь, возникающих в насосе. Более высокие значения КПД соответствуют насосам больших размеров. Для поршневых насосов КПД составляет  $0,60\text{--}0,92$ , для осевых –  $0,7\text{--}0,85$ .

Исполнительные устройства предназначены для преобразования энергии потока жидкости в механическую энергию вращательного, возвратно-поступательного или возвратно-поворотного (качатального) движения выходного звена (поршня со штоком или лопасти с валом) и связанных с ним устройств.

Широкое распространение гидропривода объясняется тем, что этот привод обладает рядом преимуществ перед другими видами приводов машин. Вот основные из них.

- бесступенчатое регулирование скорости движения выходного звена гидропередачи и обеспечение малых устойчивых скоростей. Минимальная угловая скорость вращения вала гидромотора может составлять  $2\text{...}3 \text{ об/мин}$ ;

- небольшие габариты и масса. Время разгона, благодаря меньшему моменту инерции вращающихся частей не превышает долей секунды в отличие от электродвигателей, у которых время разгона может составлять несколько секунд;

- частое реверсирование движения выходного звена гидропередачи. Например, частота реверсирования вала гидромотора может быть доведена до  $500$ , а штока поршня гидроцилиндра даже до  $1000$  реверсов в минуту. В этом отношении гидропривод уступает лишь пневматическим инструментам, у которых число реверсов может достигать  $1500$  в минуту;

- большое быстродействие и наибольшая механическая и скоростная жесткость. Механическая жесткость – величина относительного позиционного изменения положения выходного звена под воздействием изменяющейся внешней нагрузки. Скоростная жесткость – относительное изменение скорости выходного звена при изменении приложенной к нему нагрузки;

- автоматическая защита гидросистем от вредного воздействия перегрузок благодаря наличию предохранительных клапанов;

- хорошие условия смазки трущихся деталей и элементов гидроаппаратов, что обеспечивает их надежность и долговечность. Так, например, при правильной эксплуатации насосов и гидромоторов срок их службы доведен в настоящее время до  $5\text{...}10$  тыс. ч работы под нагрузкой. Гидроаппаратура может не ремонтироваться в течение долгого времени (до  $10\text{...}15$  лет);

- простота преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное и возвратно-поворотное без применения каких-либо механических передач, подверженных износу.

Говоря о преимуществах гидропривода, следует отметить простоту автоматизации работы гидрофицированных механизмов, возможность автоматического изменения их режимов работы по заданной программе.

Гидроприводу присущи и недостатки, которые ограничивают его применение. Основные из них следующие:

- изменение вязкости применяемых жидкостей от температуры, что приводит к изменению рабочих характеристик гидропривода и создает дополнительные трудности при эксплуатации гидроприводов (особенно при отрицательных температурах);

- утечки жидкости из гидросистем, которые снижают КПД привода, вызывают неравномерность движения выходного звена гидропередачи, затрудняют достижение устойчивой скорости движения рабочего органа при малых скоростях;

- необходимость изготовления многих элементов гидропривода по высокому классу точности для достижения малых зазоров между подвижными и неподвижными деталями, что усложняет конструкцию и повышает стоимость их изготовления;

- взрыво- и огнеопасность применяемых минеральных рабочих жидкостей;

- невозможность передачи энергии на большие расстояния из-за больших потерь на преодоление гидравлических сопротивлений и резкое снижение при этом КПД гидросистемы [2].

### **Список использованных источников**

1 Шейпак, А. А. Гидравлика и гидропневмопривод. Основы механики жидкости и газа: учебник / А. А. Шейпак. – М. : Инфра-М, 2016. – 320 с.

2 Башта, Т. М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика / Т. М. Башта – М. : Машиностроение, 2005. – 320 с.

**Совершенствование процесса штамповки деталей типа «Фланец» и «Ступица»  
из деформируемых титановых сплавов VT20 и OT4-1**

Студентка гр. 10402120 Осадчая А.Ю.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Цель работы: разработать более совершенный технологический процесс изготовления поковок осесимметричных фланцев из сплавов VT20 и OT4-1. Для этого мы используем метод одноручной горячей объемной штамповки с обеспечением качественной структуры поковок, устойчивой к растрескиванию. Разработка новой технологии требует использования научно обоснованных технологических решений, обеспечивающих максимальную надежность и уровень эксплуатационных свойств при минимальной массе изделий. В конструкциях авиационных двигателей и в других областях используются осесимметричные детали, такие как ступицы и фланцы, изготовленные, в частности, из сварных двухфазных титановых сплавов VT14 и OT4-1. Повышение конструкционной прочности используемых материалов, определяемое их устойчивостью к сумме процессов зарождения и развития трещин в условиях технологических и эксплуатационных воздействий, может быть обеспечено правильно разработанным технологическим процессом горячей деформации [1].

Чтобы достичь этой цели мы используем некоторые исследовательские задачи:

- оценка геометрии осесимметричных фланцев и ступиц для получения горячей объемной штамповки в одноручных штампах без дефектов;
- изучение взаимосвязи между напряженно-деформированным состоянием и температурно-скоростными факторами в процессе формообразования со структурой и свойствами материала полученных поковок;
- изучение возможностей контроля структуры и свойств исследуемых поковок при их получении методом горячей штамповки;
- поиск наилучших режимов предварительной обработки заготовок и деформации заготовки в матрице;
- разработка методов разработки технологических процессов горячей объемнойковки поковок из титановых сплавов VT20 и OT4-1, которые позволяют прогнозировать поведение готовой детали в процессе эксплуатации и управлять процессами, происходящими в металлическом материале, с целью достижения требуемых заданных характеристик;
- разработка научно обоснованных процессов штамповки поковок типа фланец и ступица.

Научная новизна работы заключена в следующем:

- предложен научно обоснованный метод горячей объемной штамповки поковок типа ступица и фланец из титановых сплавов VT20 и OT4-1 по схеме вытяжки предварительно деформированной заготовки;
- установлена взаимосвязь деформационных и температурно-скоростных параметров процесса формообразования штампованных поковок деталей типа фланец и ступица со структурой и свойствами их материала;
- определены температурно-скоростные интервалы деформации титановых сплавов VT20 и OT4-1, позволяющие удерживать материал штампованных поковок от превышающего допустимые пределы деформационного разогрева, обеспечив заданные соотношения фазовых превращений с целью повышения прочностных характеристик и стойкости к растрескиванию;
- предложена методика разработки технологических процессов горячей деформации титановых сплавов VT20 и OT4-1, позволяющей прогнозировать поведение готовой детали в

процессе эксплуатации, и уже на этапе подготовки производства принимать научно обоснованные технологические решения, обеспечивающие максимальное значение целевых показателей [2].

Практическая значимость работы заключена в следующем.

1) Разработаны технологические рекомендации по изготовлению осесимметричных поковок фланцев и ступиц из титановых сплавов ВТ20 и ОТ4-1 методом одноручьевого открытой горячей объёмной штамповки, позволяющие обеспечить:

– соответствие зон деформационной проработки поковок профилю получаемых деталей ответственного назначения;

– заданные соотношения фазовых превращений материала поковок для повышения их прочностных характеристик и стойкости к растрескиванию [3].

Разработанный технологический процесс обеспечивает сокращение величины технологических припусков и напусков, и таким образом снижает расход металла на 18–22 %.

Таким образом, из исследования делаем следующие выводы:

1) Конструктивная прочность, и в частности, стойкость к растрескиванию поковок из титановых сплавов ВТ20 и ОТ4-1 может быть повышена путём создания такого их структурного состояния, которое обеспечило бы максимальную однородность поглощения энергии при заданных условиях нагружения, то есть – путём повышения однородности материала поковки.

2) Сопротивляемость зарождению и развитию трещин находится в функциональной зависимости от удельного количества фаз, приходящихся на единицу длины границы зерна. Это значит, что растворное и фазовое упрочнение не только повышают механические характеристики металлических материалов, но и провоцируют их повреждаемость.

3) Геометрия исследуемых штампованных поковок затрудняет использование эффекта текстурного упрочнения при деформации, существует опасность текстурного разупрочнения материала поковки и готовой детали. Во избежание последнего в поковках из титановых сплавов следует обеспечивать бестекстурное состояние их материала путём подавления локализованных деформаций и создания ненаправленной структуры.

4) Дополнительное упрочнение титановых сплавов может быть достигнуто при условии измельчения присутствующих в них зерен и максимально равномерного распределения их в материале поковки.

5) Путем математического моделирования установлено, что для удержания материала штампованных поковок в пределах рекомендованных действующими нормативными документами температур, температура нагрева заготовок перед деформацией должна составлять 970 °С для сплава ВТ20 и 930 °С применительно сплава ОТ4-1.

### **Список использованных источников**

1 Получение осесимметричных штампованных поковок из титановых сплавов горячей объёмной штамповкой-вытяжкой: Справ. пос. : В 2 кн. / В. И. Галкин [и др. ]. – М. : Технология металлов, 2011. – С. 18– 25.

2 Головкин, П. А. Перспективы повышения надёжности изделий из титановых сплавов в летательных аппаратах / П. А. Головкин. – М. : Технология металлов, 2011. – 124 с.

3 Комплексное исследование влияние параметров деформации на сопротивление усталости и 21 СРТУ материала Ш-образных поковок из титановых сплавов / П. А. Головкин [и др. ] // М. : Технология металлов, 2011. – 275 с.

## Основные направления модернизации кузнечно-штамповочного оборудования

Студент гр. 10402120: Потапенко В.А.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Замена и модернизация кузнечного оборудования, а также значительное повышение механизации и автоматизации не только основных, но и вспомогательных работ, значительно повлияют в первую очередь на оборудование, применяемое в литейном и кузнечном производстве.

В свете выполнения этих задач общий технический уровень кузнечных и прессовых цехов постоянно повышается как за счет пополнения запасов более совершенными станками, так и за счет модернизации старого оборудования, а также за счет внедрения передовых технологий, механизации и автоматизации производства. Меры по модернизации одних и тех же кузнечно-прессовых машин в зависимости от условий производства могут быть разными. Работы по модернизации должны учитывать в первую очередь два аспекта этой задачи – технический и экономический.

При работах по модернизации машин необходимо ориентироваться не только на современные требования, имея в виду задачи ближайшего будущего. Кроме того, выбор подходящих форм и направлений модернизации кузнечно-штамповочных станков на каждом предприятии имеет решающее значение для технической и экономической эффективности модернизации этого оборудования [1].

Можно выделить следующие основные направления модернизации кузнечно-штамповочного оборудования:

- 1) повысить производительность оборудования;
- 2) повысить уровень механизации и автоматизации;
- 3) модификация и расширение технологических возможностей оборудования;
- 4) повысить производительность оборудования;
- 5) повысить долговечность быстроизнашивающихся деталей и узлов машин;
- 6) уменьшение веса и размеров оборудования;
- 7) сокращение сроков и совершенствование технологии ремонта оборудования;
- 8) улучшить условия труда и безопасность.

Направление в развитии кузнечно-прессовой техники определяется рядом факторов. Давайте посмотрим на некоторые из них:

- 1) Разработка технологииковки и штамповки;
- 2) достижения в области машиностроения, которые неизбежно способствуют развитию кузнечнопрессовой техники;
- 3) организационные факторы, которые в первую очередь зависят от объема производства.

Развитие технологииковки и штамповки определяется весом поковок и штампованных изделий, их размерами и точностью обработки. Вес поковок и поковок постоянно увеличивается. Увеличение их веса приводит к необходимости создания машин большей мощности (усилия). Поэтому трудно выбрать правильный тип машины. В последние годы наблюдается увеличение номинальной силы механических и гидравлических прессов.

Увеличение номинальной силы прессов создает проблемы: с выбором типа привода и удельного давления рабочей жидкости, с новой конструкцией основных рабочих компонентов, используемых материалов и т. д. Однако эти проблемы часто противоречивы и не имеют универсального решения. Увеличение размеров заготовок влияет на конструкцию станков, что

требует увеличения хода и размеров. В одних случаях необходимо создавать новые конструкции машин, в других-необходимо объединять несколько машин в одну.

Развитие прогрессивных технологийковки и штамповки сопровождается снижением допусков и допусков для последующей механической обработки. Для получения изделий с высокой точностью жесткость станка должна быть достаточно высокой, основные рабочие плоскости его деталей должны быть качественно обработаны, при изготовлении станка должны соблюдаться соответствующие допуски, подгонки и зазоры.

Современный уровень развития машиностроения также влияет на развитие кузнечного и прессового производства. Таким образом, достижения в области сварки позволили кузнечно-прессовому оборудованию заменить тяжелые отливки на сварные и сварные. Внедрение сварки позволяет значительно снизить вес станков при одновременном повышении их жесткости, сократить время изготовления станков и затраты на рабочую силу.

Таким образом, современное развитие кузнечно-прессовых станков направлено на повышение производительности и номинального усилия оборудования, создание станков, обеспечивающих высокую точность обрабатываемых изделий, создание более экономичных и производительных станков с более высокими удельными характеристиками, позволяющих механизировать и обрабатывать обрабатываемые изделия, автоматизация процессовковки и штамповки [2].

Выбор форм и методов решения основных направлений модернизации кузнечно-штамповочного оборудования должен осуществляться так же, как и разработка кузнечно-прессового оборудования. В то же время модернизация оборудования может повлечь за собой определенные задачи, которые в большинстве случаев ограничивают модернизацию кузнечных и прессовых машин.

Модернизация кузнечно-штамповочного оборудования должна проводиться комплексно, охватывая при этом ряд ключевых направлений, чтобы обеспечить внедрение наиболее эффективных методов металлообработки и максимальное использование этого оборудования. Одной из основных форм комплексной модернизации является конструктивное совершенствование кузнечно-прессовых машин до уровня современного оборудования.

Следовательно, реально осуществимый уровень модернизации, при котором ее основные направления могут быть наиболее полно реализованы, определяется реальными возможностями данного типа оборудования с учетом его конструкции, технологического процесса изготовления деталей, типа производства и технико-экономического эффекта.

#### **Список использованных источников**

1 Методы повышения технического уровня кузнечно-штамповочного оборудования: справ. пос. : в 2 кн. / В. Т. Троценко [и др. ]. – Киев: Наукова думка, 1993. – 124 с.

2 Банкетов, А. Н. Кузнечно-штамповочное оборудование / А. Н. Банкетов. – М. : Машиностроение, 1982. – 576 с.

### Пресс Говарда

Студент гр. 10402119 Силивоник Д.С.

Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

Пресс Говарда – это технология обработки материалов, разработанная и оптимизированная известным американским инженером Хьюго Говардом в начале 20 века и является основоположником чеканочных прессов. Она используется для производства высококачественных стальных изделий, таких как шестерни, валы, подшипники и другие детали машин. В свою очередь чеканочный пресс – это оборудование для изготовления металлических заготовок путем прессования. Он используется для формирования различной формы, такие как монеты, медали, значки, ювелирные изделия. Главным исполнительным механизмом является кривошипный вал.

Пресс Говарда использует гидравлическую систему для сжатия металла в высокоточные формы и размеры. Это позволяет получить сталь с очень высокой плотностью, устойчивостью к износу и долговечностью. Кроме того, технология Говарда позволяет производить детали со сложной формой, что делает ее очень востребованной в автомобильной, авиационной и других промышленных отраслях.

Применение прессы Говарда значительно улучшило качество и надежность стальных деталей, что способствовало развитию многих промышленных отраслей и повышению эффективности производства. Сегодня технология Говарда продолжает использоваться в производстве высококачественных стальных изделий, и ее влияние на промышленность остается значительным. На рисунке 1 представлен один из его опытных образцов [1].

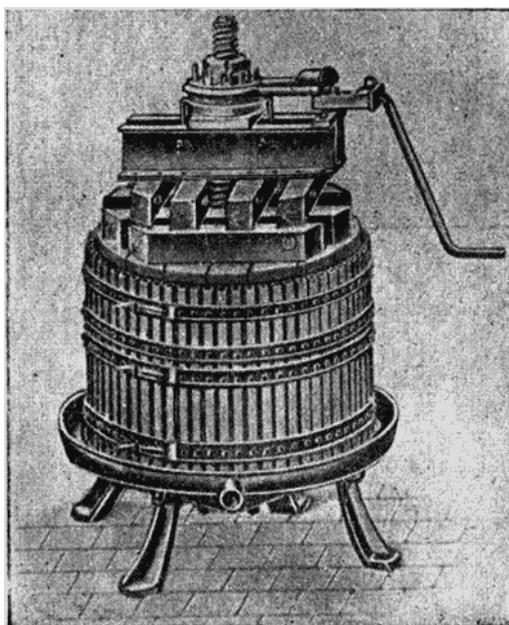


Рисунок 1 – Опытный образец прессы Хьюго Говарда

#### Список использованных источников

1 Голенков, В. А. Специальные технологические процессы и оборудование обработки давлением /В. А. Голенков, А. М. Дмитриев. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 464 с.

## Штамповка резиной

Студент гр. 10402119 Снетько А.В.  
Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

Штамповка резиной. Особенность этого способа состоит в применении штампов, пуансоны которых изготавливаются из металлов, а матрицы – из листовой резины, чем обеспечивается более равномерное давление на заготовку, высокое качество поверхности, правильность формы и точность размеров.

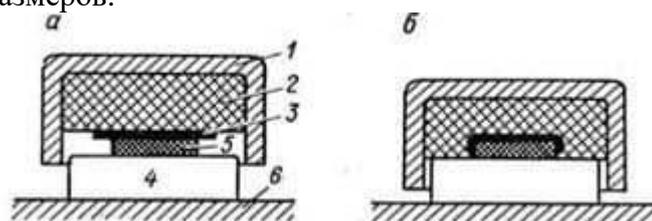


Рисунок 1 – Схемы штамповки резиной:

а – вырубка и пробивка; б – гибка

1 – контейнер; 2 – резиновая подушка; 3 – заготовка детали; 4 – подштамповая плита;  
5 – жесткий элемент штампа; 6 – стол пресса

На рисунке 1 приведены схемы штамповки резиной. При вырубке и пробивке металлическим инструментом является шаблон, на который укладывают заготовку. Резиновая подушка в ползуне пресса прижимает заготовку к шаблону. Если шаблон имеет острые режущие кромки, то давлением резины вначале отгибают свободные края заготовки, а затем ее обрывают по режущей кромке. Так выполняют вырубку и пробивку. Этими способами, возможно, обрабатывать заготовки толщиной не более 3 мм.

Штамповка эластичными средами имеет ряд преимуществ, так как в её структуре предусматривается использование универсальной технологической оснастки. Именно значительное конструктивное упрощение, снижение металлоёмкости и стоимости технологической оснастки является основным достоинством этого метода штамповки [1].

Хотя резина, подобно вязкой жидкости, передает давление во все стороны, в отдельных зонах резиновой подушки давления различны и зависят от ряда факторов. Такими факторами являются: твердость резины, коэффициент трения между резиной и внутренней поверхностью контейнера, соотношение толщины резиновой подушки и высоты жесткого элемента, отношение объёма резиновой подушки к объёму, заполняемому резиной при рабочем ходе и др.

Резиновая подушка имеет высоту 200–250 мм, обычно склеена из нескольких пластин толщиной 25–60 мм и может состоять из резины одинаковых или различных по твердости сортов. Выбор сорта резины зависит от вида обрабатываемого материала, применяемой схемы, температуры, при которой происходит штамповка, и формы штампуемой детали. К штампуемой детали прилегает та часть подушки, которая имеет резину повышенной твердости.

Минимальная нагрузка на резиновую подушку 1 кН, но достигает 12 кН, что требует гидравлических прессов с усилием, достигающих до 750 кН и выше. Такие прессы громоздки и неудобны для производства [2].

В прессах нового типа, осуществляющих гидрорезиновую штамповку, применяются резиновые мешки-диафрагмы, контактирующие с резиновыми дисками значительно меньшей толщины. Прессы для такой штамповки значительно компактнее.

### **Список использованных источников**

1 Штамповка эластичными средами. Штамповка резиной. Штамповка полиуретаном. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mtomd.info/archives/1038>. – Дата доступа: 10. 04. 2023.

2 Глущенко, В. А. Специальные виды штамповки. Часть 1. Штамповка эластичными средами: учебное пособие / В. А. Глущенко. – Самара: Изд-во Самар, гос. аэрокосм, ун-та, 2008. – 72 с.

**Комбинированные методы штамповки**

Студент группы 10402221 Петрушенко М.М.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Комбинированную штамповку применяют для увеличения производительности труда, для уменьшения количества штампов и прессов вместо штамповки по отдельным операциям. Она заключается в одновременном выполнении нескольких операций в одном штампе. Существует три метода комбинирования операций холодной штамповки:

- 1) последовательный;
- 2) совмещенный;
- 3) последовательно-совмещенный.

В штампах последовательного действия комбинированная штамповка используется для деталей толщиной от 0,2 до 6,0 мм с наибольшим размером 250 мм. Операции, требуемые для изготовления заданной детали, размещаются последовательно в направлении подачи полосы (ленты) или штучной заготовки, причем одновременно деформируется количество полуфабрикатов, равное количеству рабочих операций, а каждая заготовка получает деформацию, соответствующую одному определенному переходу. Штампы последовательного действия применяются для выполнения ряда операций, скомбинированных по одной из четырех следующих схем:

– из полосы (или ленты); вырезка по наружному контуру (отрезка) готовых деталей осуществляется на последнем переходе;

– из полосы (или ленты); вырезка по наружному контуру предшествует формоизменяющим переходам, после чего вырезанная заготовка впрессовывается обратно в ленту или в (полосу) и перемещается вместе с ней на последующие формоизменяющие переходы

– из полосы (или ленты); вырезка заготовки по наружному контуру производится перед формоизменяющими переходами, передача заготовки на формоизменяющие переходы производится специальными механизмами штампа;

– из предварительно изготовленной штучной заготовки; подача заготовки в штампе осуществляется вручную или специальным загрузочным устройством, а передача ее с одного перехода на другой – вручную или специальным дополнительным к штампу механизмом (шиберным, револьверным, грейферным и т. д. ).

Комбинированные штампы последовательного действия, построенные по первой схеме, являются наиболее распространенными. Имеются штампы, объединяющие до 25 операций, включающих пробивку отверстий, гибку, разбортовку, отбортовку, вытяжку, вырезку и другие операции при условии, что последним переходом является окончательная вырезка детали.

Из большого разнообразия процессов штамповки в комбинированных штампах последовательного действия, построенных по первой схеме, наиболее часто встречаются штампы, сочетающие в себе следующие переходы: пробивку отверстий и отрезку; пробивку отверстий и вырезку; пробивку отверстий, зачистку снятием припуска по части контура и вырезку; пробивку отверстия, гибку и вырезку; вытяжку и вырезку; пробивку отверстий, листовую чеканку и вырезку; вытяжку, пробивку, отбортовку и вырезку [1].

При изготовлении листов якоря или ротора на прессах применяют комбинированные штампы совмещенного действия. Они позволяют производить вырубку отверстий под вал, пазов, вентиляционных и наружных отверстий за один ход, объединяя в себе несколько простых штампов. Таким образом, в процессе работы штампа на прессе выполняется до 4–5 операций. На совмещенных штампах рабочие части движутся в различных плоскостях -

вертикальных, горизонтальных и наклонных, что обеспечивает максимальную возможность выполнения разнообразных операций. В итоге, комбинированные штампы совмещенного действия являются наиболее эффективными и удобными инструментами для производства высококачественных листовых компонентов. Штампование совмещенных деталей является более сложным и дорогостоящим процессом, но оно приносит значительные преимущества в плане производительности и точности изделий, которые невозможно получить при использовании однооперационных штампов.

Отличие этих вариантов состоит в последовательности и месте выполнения операций. При последовательном способе все операции выполняются одновременно в последовательном штампе на разных позициях, число переходов соответствует числу позиций (рисунок 1, б). При совмещенном способе все операции выполняются одновременно в одной и той же позиции штампа совмещенного действия (рисунок 1, в). При последовательно-совмещенном способе для одновременного выполнения всех операций требуется позиций в инструменте меньше, чем операций. Этот способ представляет комбинацию из первых двух.

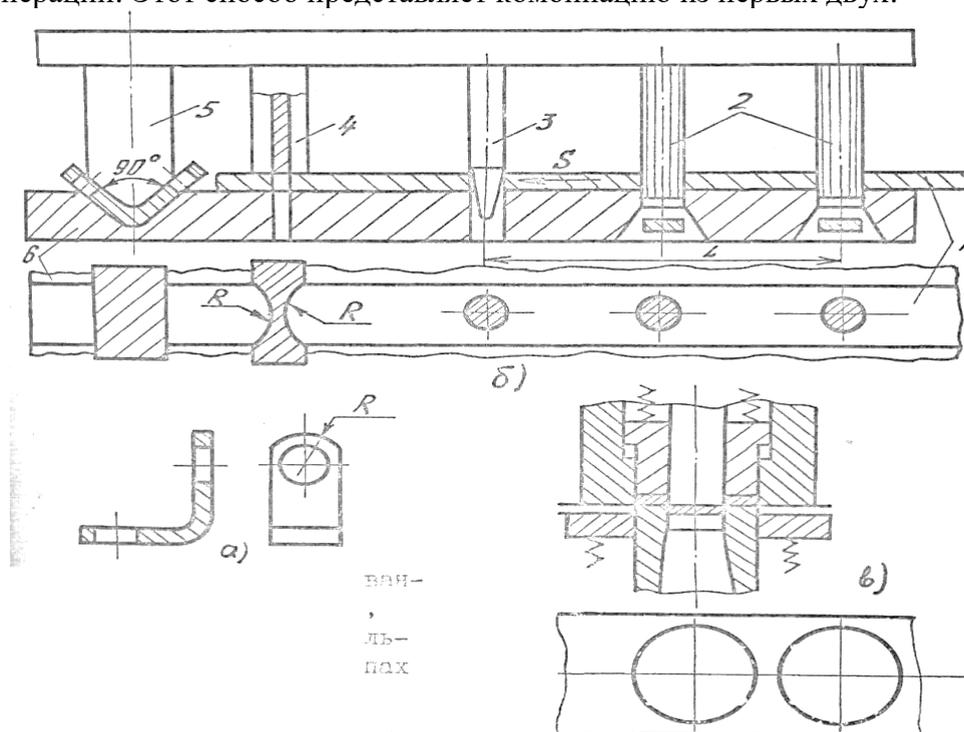


Рисунок 1 – Схемы комбинированной штамповки:  
 а – деталь; б – в штампах последовательного действия; в – в штампах совмещённого действия.

В производстве технологических процессов штамповки часто применяется полосовый или ленточный материал, что позволяет механизировать и автоматизировать процесс. При комбинированной штамповке ширина полосы обычно превышает необходимые размеры детали, чтобы создать перемычки между отдельными операциями и переместить все полуфабрикаты на следующую позицию. Это упрощает перенос материала на следующую стадию и обеспечивает более эффективный и точный процесс штамповки. В результате использования полосового или ленточного материала можно значительно повысить эффективность и качество производства.

Пример выполнения комбинированной штамповки показан на рисунке 1. Деталь (рисунок 1, а) может быть получена вырубкой по контуру, пробивкой двух отверстий и гибкой на угол  $90^\circ$ . Штампы последовательного действия имеют два пуансона 2 для пробивки отверстий,

фиксатор 3 для фиксации полосы 1 по пробитому отверстию, отрезной нож 4, отрезающий заготовку от полосы, причем радиус  $R$  детали выдерживается за счет формы отрезного ножа. На последней позиции заготовка гибочным пуансоном 5 изгибается под угол  $90^\circ$ . В матрице 6 предусмотрены оконки для всех пуансонов. Полоса периодически подается в штамп в направлении стрелки  $S$  на величину шага  $L$ , и за каждый ход пуансонов получают готовую деталь [2].

Точность комбинированной штамповки определяется точностью отдельных элементов контура детали и точностью взаимного расположения этих элементов. Точность отдельных контуров детали определяется точностью используемого способа. Точность взаимного расположения отдельных элементов контура определяется способом комбинированной штамповки: при совмещенной штамповке – точностью взаимного расположения пуансонов и матриц; при последовательной – точностью взаимного расположения пуансонов и матриц и точностью ориентировки (базирования) полуфабрикатов (заготовок) на каждом переходе, обычно она соответствует 12–14 квалитетам [1].

Комбинированные методы штамповки позволяют получать изделия с сложной формой и высокой точностью. Также они позволяют значительно ускорить производственный процесс и уменьшить количество бракованных изделий.

Однако, комбинированные методы штамповки требуют дополнительных затрат на изготовление матриц и расходуемых материалов, а также ведут к увеличению себестоимости изделия. Кроме того, они не применимы для изготовления малых партий изделий.

Тем не менее, комбинированные методы штамповки позволяют получать изделия с высокой точностью и прочностью, что является важным фактором в некоторых отраслях промышленности. Данные методы продолжают развиваться и совершенствоваться, что позволит увеличивать их эффективность и расширять области их применения.

### **Список используемых источников**

1 Зубцов, М. Е. Листовая штамповка: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машина и технология обработки металлов давлением» / М. Е. Зубцов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение; Ленинградское отд., 1980. – 432 с.

2 Бурдуковский, В. Г. Технология листовой штамповки: учебное пособие / В. Г. Бурдуковский. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 224 с.

### Имитационная модель процесса осадки цилиндрического образца из тугоплавких металлов при электроимпульсном воздействии

Магистрант гр. 50424022 Карпей Ф.С.

Научный руководитель – Минько Д.В.

Белорусский национальный технический университет

Проявление электропластического эффекта (ЭПЭ) заключается в скачкообразном снижении напряжения пластического течения материала образцов при прохождении по ним импульса тока плотностью  $\sim 10^5$  А/см<sup>2</sup> и длительностью  $\sim 10^{-4}$  с без существенного изменения температуры [1, 2]. ЭПЭ позволяет снизить сопротивление металла деформированию на 25–30 %, увеличить пластичность металла во время его обработки, увеличить остаточную пластичность до 30 % [2].

Исследуемые тугоплавкие металлы, такие как молибден, вольфрам, обладают низкой пластичностью при комнатной температуре. В обычных условиях пластическое деформирование данной категории металлов возможно только при их нагревании до температур свыше 1000 °С, что в конечном итоге отражается на трудоемкости как самого процесса, так и последующих операций, связанных с термической обработкой. В связи с этим рассматриваемая в данной работе модель процесса осадки при электроимпульсном воздействии является альтернативой термомеханической обработке при деформировании тугоплавких металлов.

ЭПЭ относится к высокоэнергетическим импульсным методам обработки материалов, в связи с чем к его моделированию предъявляются особые требования. Для решения связанных нелинейных динамических задач с учетом явлений электромагнетизма, тепловых эффектов и процессов деформации предлагается использование многоцелевого конечно-элементного комплекса LS-DYNA с модулем электромагнетизма [3]. Исследуемая конечно-элементная модель представлена на рисунке 1.

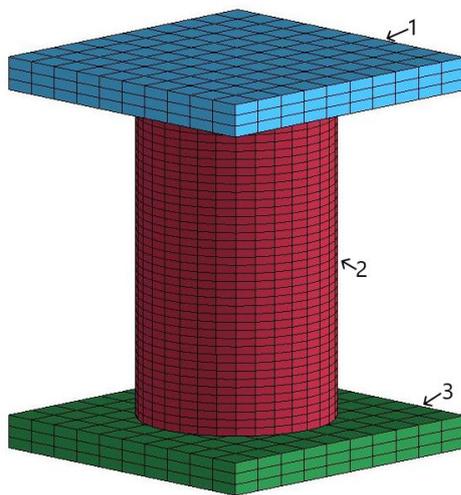


Рисунок 1 – Конечно-элементная модель процесса осадки:

1 – нагружаемая пластина; 2 – осаживаемый образец; 3 – зафиксированная пластина

В качестве моделей материалов использовались следующие:

- \*MAT\_PLASTIC\_KINEMATIC – для заготовки;
- \*MAT\_RIGID – для пластин.

Кроме традиционных для LS-DYNA команд, необходимых для выполнения такого рода расчётов, были добавлены специальные команды для активации электромагнитного модуля и синхронизации его работы с механическим и тепловым решателями.

При создании модели учитывались следующие граничные условия нагружения и электроимпульсного воздействия:

1) усилие нагружения и направление импульсов тока направлены вдоль оси симметрии образца;

2) давление нагружения статическое, величина давления превышает предел текучести и достигает предела прочности, в ходе чего происходит разрушение образца;

3) импульсы электрического тока униполярные амплитудой 50 кА и длительностью  $10^{-5}$  с, пропускаются только при нагружении образца.

В ходе анализа результатов моделирования были выявлены скачки падения напряжения текучести в образце (рисунок 2) примерно на 20–25 %, что подтверждает возникновение ЭПЭ при заданных условиях и оказывает существенное влияние на процесс пластического деформирования тугоплавких металлов. При этом модель прогнозирует повышение температуры всего на 200–400 °С.

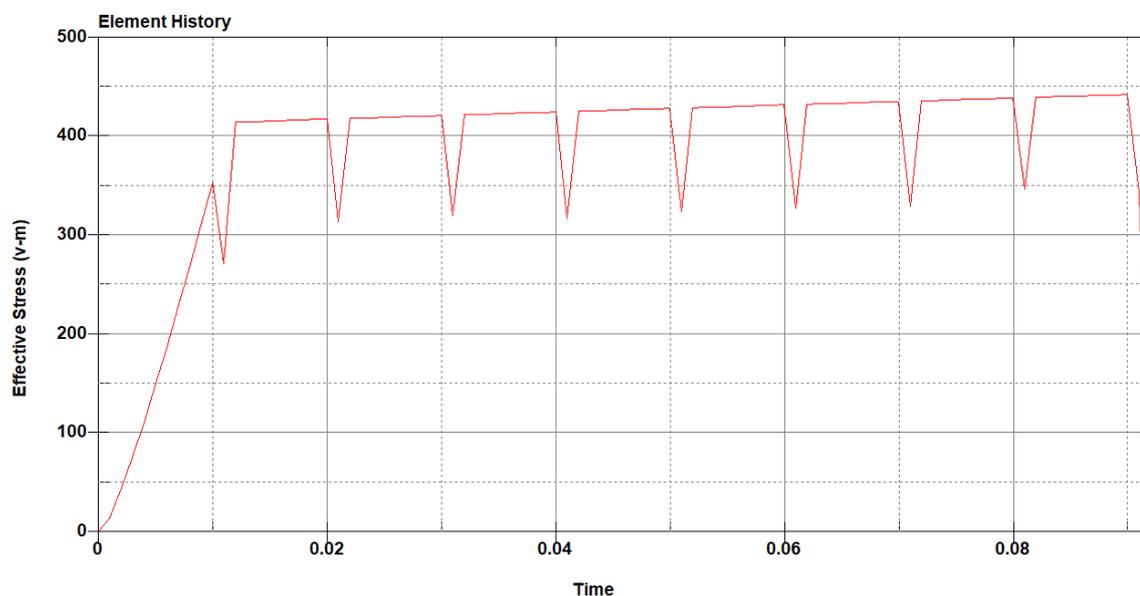


Рисунок 2 – Модель зависимости напряжения по Мизесу (МПа) от времени (с)

Как показывают результаты моделирования, применение ЭПЭ открывает возможность обрабатывать наиболее труднодеформируемые и хрупкие металлы при низких и умеренных температурах, не требующих применения защитных атмосфер или вакуума.

#### Список использованных источников

1 Электропластический эффект при одновременном наложении электрического и магнитного полей в области больших плотностей тока / В. С. Савенко [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. – 1995. – № 1. – С. 25–27.

2 Троицкий, О. А. Электромеханический эффект в металлах / О. А. Троицкий // Письма в ЖЭТФ. – 1969. – Т. 2. – №10. – С. 18–22.

3 Lstc [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ftp.lstc.com/anonymous/outgoing/inaki/docs/pdf\\_em/SRI\\_05\\_09\\_351.pdf](https://ftp.lstc.com/anonymous/outgoing/inaki/docs/pdf_em/SRI_05_09_351.pdf). – Дата доступа: 01. 04. 2023.

**Определения контактных напряжений при прокатке**

Студент гр. 10402120 Сульжицкий Е.И.

Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

Прокат является основным видом металлургической продукции. Примерно 90% всей выплавляемой стали первоначально обрабатывается в прокатных цехах. Имеются все основания утверждать, что от уровня развития прокатного производства зависит скорость научно-технического прогресса в нашей республике.

Специалистам производства, проектировщикам конструкторам прокатного оборудования необходимо знать и анализировать силовые условия прокатки. Установления взаимосвязей всех факторов, влияющих на технический прогресс прокатки не всегда просто.

На практике прокатного производства такие взаимосвязи и надежность их экспериментального определения часто отсутствуют, а эмпирические расчетные формулы принимают, для конкретных прокатных станков.

В связи с этим основной целью работы является рассмотрение и рекомендации методики анализа и определения контактных напряжений и прочности валков.

Функциональное установление взаимосвязей мы сделаем с помощью инженерно-механических методов, которые пригодны для достаточно быстрого и надежного применения в производственных условиях и конструкторских бюро.

В соответствии с современным уровнем автоматизации производственных процессов необходимо, чтобы анализ и расчет определились с использованием прокатных функциональных зависимостей, которые позволяли бы легко и быстро производить расчеты при управлении производственными процессами с применением компьютерных технологий.

В работе использованы следующие методы:

метод линий скольжения. Он основан на возможности описания линий скольжения, появляющихся в условиях плоской деформации, характеристиками системы дифференциальных уравнений равновесия в частных производных при совместном решении с уравнениями состояния пластичности;

метод конечных элементов. Он используется для исследования значительных по величине деформаций и получивший развитие в работах японских ученых [1];

энергетический (вариационный) метод. Он необходим для решения конкретных задач, выдвигаемый практикой;

приближенные (инженерный) методы. Служит для определения напряжений на контактных поверхностях «металл-инструмент» и расчетах полных и удельных сил. Этим методом получил развитие и применение при использовании модели однородного изотропного жесткопластического тела, описываемой приближенными основными уравнениями пластически деформируемой среды. В полученные таким образом решения вносятся поправки, отражающие реальные состояния деформируемого металла [2].

Каждый из указанных выше методов продолжает совершенствоваться в связи с необходимостью учета большего числа факторов, реально воздействующих на процесс деформирования, а также повышением требований математической строгости.

По мере увеличения возможностей методов, используемых в теории прокатки, расширяется и круг решаемых вопросов. Если в начальной стадии эта теория использовалась лишь для определения деформирующих сил, то в настоящее время используется для оценки допустимого формоизменения, определения характера течения металла заготовки и оценка свойств, полученных в результате процесса прокатки [3].

Следует отметить, что различные методы анализа процессов деформирования дополняют друг друга. В ряде случаев полезные для практики результаты могут быть получены разумным комбинированием различных методов.

Применяя указанные выше методы был проведен анализ влияние температуры на механические свойства металла. Критерием применимости теоретических решений, полученных указанными методами, может быть соответствие результатов анализа данных практики и экспериментальных исследований.

В настоящее время можно считать экспериментально установленным [4], что при пластическом деформировании с расчетом нормальных напряжений касательные контактные напряжения  $\tau_k$  возрастают первоначально по закону, близкому к линейному, а затем по кривой, асимптотически приближаясь к некоторому постоянному значению.

При достижении нормальных напряжений этого значения рост касательных напряжений замедляется и касательные напряжения с ростом нормальных стремятся асимптотически к некоторому пределу и далее остаются постоянными.

Приведенные выше предел при наличии неразрушаемой пленки смазочного материала характеризуется качеством обработки контактных поверхностей валков. При сухом трении (т. е. при отсутствии смазочного материала) предельное касательное напряжение после которого скольжение металла по контактным поверхностям уже становится невозможно.

Рассмотрим изменение касательных контактных напряжений при прокатке. Этот процесс имеет особенность: на контактной поверхности имеет место линия раздела течения, на которой касательные напряжения равны нулю. В обе стороны вдоль горизонтальной оси от нейтральной линии, касательные напряжения имеют противоположное направление. Поскольку скачкообразное изменение знака касательных напряжений невозможно, то в области нейтрального сечения имеются зоны, в которых касательные напряжения плавно снижается от максимального значения в какой-то точке контактной поверхности до нуля. Эти зоны обычно называют застойными, или зонами прилипания, поскольку внутри этих зон движения металла вдоль контактных поверхностей заторможено.

Экспериментально установлено, что характер распределения касательных напряжений на контактных плоскостях при прокатке зависит главным образом от двух факторов геометрии, обрабатываемого изделия и контактных сил трения [5]. Последние определяется шероховатостью обработки поверхностей, а также качеством технологического материала.

Для промежуточных значений касательных контактных напряжений введем понятие интегральное (усредненное) контактное напряжение.

Пусть контактная поверхность полосы длиной  $l$  вдоль координатной оси по направлению течения металла делится на  $m$  участков, длина каждого из которых равна  $L_n$ . Началом каждого последующего участка является конец предыдущего участка.

Рассмотрим закономерность изменения  $\tau_{ки}$  в направлении оси  $y$  на данном участке.

Среднеинтегральное касательное напряжение в этом случае будет иметь вид:

$$\tau_{ki} = \frac{1}{L} \left[ \int_0^1 \tau_{k1}(\tau_1) dL + \int_1^2 \tau_{k2,1}(\tau_2) dL + \dots + \int_{m-1}^m \tau_{km}(\tau_m) dL \right] = \frac{1}{L} \sum_1^m \tau_{kn}(\tau_n)$$

В результате, с целью определения методики проведения анализа автоматизации и определения контактных напряжений при прокатке углеродистых и низколегированных сталей, значение текучести свыше 1200 °С относительно мало зависит от химического состава сталей.

Для сталей с высоким содержанием легирующих элементов значения временного сопротивления и напряжения текучести существенно выше, чем для углеродистых и низколегированных конструкционных сталей.

Предварительно всесторонне деформированный металл достаточно точно удовлетворяет условиям непрерывности и изотропного состояния среды (в I и II ядерных клетях).

Металл подвергнутый термообработке удовлетворяет условию изотропного состояния среды (будучи квазиизотропным). Следовательно, к металлу, подвергнутому обработке давлением (прокатке) и надлежащей термической обработке, допустимо и целесообразно применение уравнений механики сплошной однородности и изотропной среды. Металл, деформируемый при температуре ниже температуры рекристаллизации, в неоднородном температурном поле с разными степенями и скоростями деформации (прокатки), а также подвергнутый воздействию излучения, не удовлетворяет условиям однородности и изотропному состоянию среды.

Основными технологическими факторами, определяющими процесс пластического деформирования при прокатке, является температура, степень и скорость деформации, а также внешнее трение на контактных поверхностях инструмента (валок) определяется степенью деформации металла.

### Список использованных источников

1 Зотов, В. Ф. Прокатка металла/ В. Ф. Зотов, В. Ф. Каширин, В. А. Петров. – М. : Металлургия, 1979. – 256 с.

2 Третьяков, А. В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением: Справочник / А. В. Третьяков, В. И. Зюзин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Металлургия, 1973. – 224 с.

3 Автоматизация производственных процессов/ М. М. Кузнецов[и др. ]; под ред. Г. А. Шаумяна. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высш. школа, 1978. – 431 с.

4 Еднерал, П. П. Теория пластической деформации и обработка металлов давлением/ П. П. Еднерал, И. Г. Константинов. – Мск; Киев :Машгиз. [Юж. отд-ние], 1960. – 344 с.

5 Скороходов, А. Н. Оптимизация прокатного производства/ А. Н. Скороходов, П. И. Полухин, Б. М. Илюкович – М. : Металлургия, 1983. – 32 с.

### Анализ материала многофункциональных слоистых композитов системы Ti-TiAl<sub>3</sub>

Студент гр. 10402319 Су Сяодун  
 Научный руководитель – Минько Д.В.  
 Белорусский национальный технический университет

С быстрым развитием аэрокосмической, железнодорожной, нефтехимической, морской и других отраслей промышленности, а также развитием крупных научных и технологических проектов, целью которых является снижение материалоемкости основного оборудования и экологизация, однородным металлам или сплавам становится все сложнее удовлетворять повышенные требования к выполнению разносторонних функций, так что многофункциональные слоистые композиты с двумя или более металлическими свойствами получают все больше и больше внимания.

Титан – легкий, высокопрочный, износостойкий и устойчивый к коррозии металл, но слишком высокая стоимость ограничивает его широкомасштабное применение. Алюминий также легкий металл, имеющий высокие значения электро- и теплопроводности, и низкую стоимость. Однако его характеристики ухудшаются в высокотемпературных и коррозионных средах, а его ударопрочность мала. Поэтому решение вопроса совмещения преимуществ этих двух металлов является важной научно-технической проблемой.

В 80-х годах прошлого века ученые на базе изучения твердых оболочек живых существ разработали слоистую модель структуры высокопрочных материалов, состоящих из нескольких различных металлов, металлов и неметаллических материалов. При применении этой модели к системе Ti-Al можно заметить, что ее интерметаллические соединения в основном включают фазы пяти типов – TiAl, TiAl<sub>2</sub>, TiAl<sub>3</sub>, Ti<sub>3</sub>Al и Ti<sub>2</sub>Al<sub>5</sub> (рисунок 1).

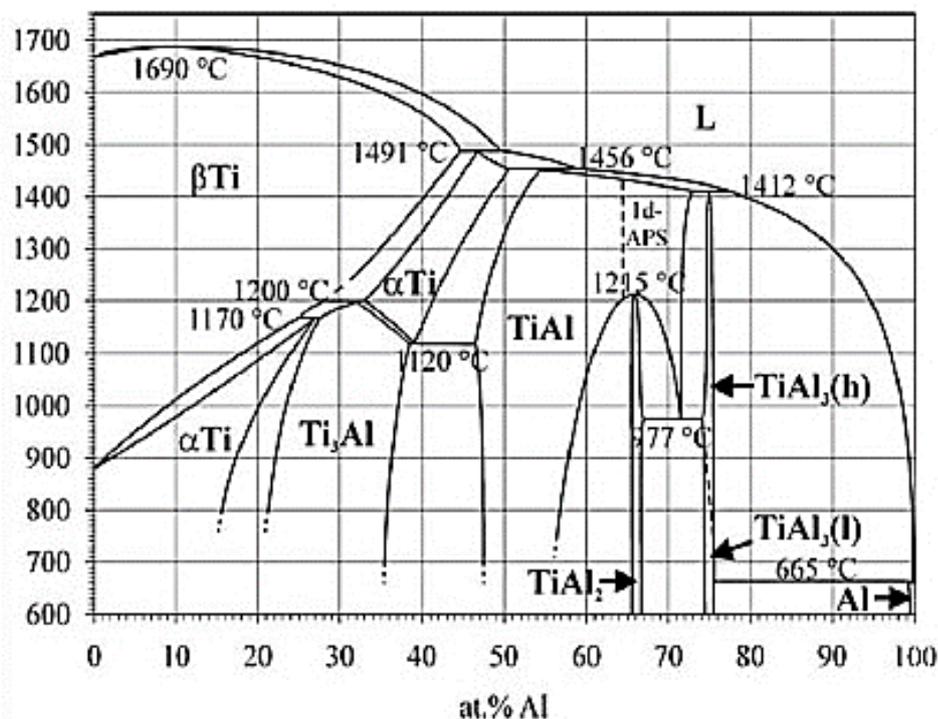


Рисунок 1 – Двухфазная диаграмма системы Ti-Al

Обнаружено, что интерметаллические соединения системы Ti-Al обладают отличными свойствами, такими как высокая прочность и ударная вязкость, высокий модуль упругости,

низкая плотность, коррозионная стойкость и стойкость к высокотемпературному окислению (таблица 1), среди которых интерметаллид  $TiAl_3$  имеет самую низкую плотность и самую высокую удельную прочность [1].

Таблица 1 – Сравнение физических свойств  $Ti$  и интерметаллических соединений системы  $Ti-Al$

Материалы	$Ti$	$Ti_3Al$	$TiAl$	$TiAl_3$
Плотность, г/см <sup>3</sup>	4,5	4,1–4,7	3,7–3,9	3,36
Модуль упругости, ГПа	95–115	110–145	160–180	216
Предел текучести, МПа	380–1150	700-990	350–600	120–445
Прочность на разрыв, МПа	480–1200	800–1140	440–700	–
Относительное удлинение, %	10–25	2–10	1–4	0,1–0,5

Стремительное развитие науки и техники требует постоянного совершенствования применяемых в различных целях функциональных материалов. В военной промышленности необходимо постоянно совершенствовать пулепробивную прочность, ударопрочность и легкость бронированных защитных материалов, которые должны максимально соответствовать требованиям высокой твердости, высокой прочности, высокой ударной вязкости и низкой плотности, то есть «три высоких и одно низкое свойство». В последние годы в этой области преимущественно применяются керамические материалы, важнейшими из которых является керамика на основе оксида алюминия, карбида бора и карбида кремния [2]. Из таблицы 2 видно, что преимущества высокой прочности, высокой термостойкости и коррозионной стойкости  $TiAl_3$  имеют большой потенциал в области бронезащитных материалов.

Таблица 2 – Свойства керамических материалов [2]

Материалы	$Al_2O_3$	$B_4C$	$SiC$
Плотность, г/см <sup>3</sup>	3,6–3,9	2,5	3,12–3,28
Модуль упругости, ГПа	340	400	408–451
Твердость по Кнупу	1800	2900	2500
Ударная вязкость, МПа·м <sup>0,5</sup>	2,8–4,5	2,8–4,3	4,0–6,4

Однако из-за низких значений пластичности и ударной вязкости отдельно взятого интерметаллида  $TiAl_3$ , его используют в составе слоистой структуры, в которой попеременно уложены титановые и алюминиевые пластины. Таким образом при условии разработки технологии получения многофункциональных слоистых композитов системы  $Ti-TiAl_3$  хрупкость интерметаллида  $TiAl_3$  может быть значительно снижена, а система  $Ti-TiAl_3$  может найти более широкое применение в различных областях.

#### Список использованных источников

1 Лю Вэньбо Исследование технологии сварки  $Ti/TiAl_3$  ламинированных композитов: магистерская диссертация. – Даляньский технологический университет, 2022.

2 Чжан Вэнью Исследование и применение керамических материалов для защиты брони» / Вэнью Чжан // Керамика. 08(2020): 16-20. doi: 10. 19397 / j. cnki. ceramics. 2020. 08. 003

**Новое в применении электромагнитной штамповки**

Студенты гр.10402319: Сун Цзячжи, Цзян Хао  
Научные руководители – Шкурдюк П.А., Кулинич И.Л.  
Белорусский национальный технический университет

С развитием современных технологий и прогрессом обрабатывающей промышленности многие среды выдвинули более высокие требования к характеристикам деталей. В течение длительного времени исследователи изучают надежные и эффективные методы получения высокопроизводительных и долговечных компонентов. Как новый процесс обработки полем, электромагнитная импульсная обработка относится к введению энергии электромагнитного импульса в материалы или детали в виде импульсного тока или импульсного магнитного поля для достижения цели изменения их микроструктуры, формы, механических свойств и производительности обслуживания.

В качестве средства применения внешнего поля электромагнитная импульсная обработка имеет преимущества гибкого и контролируемого диапазона действия и режима действия и может применяться в области формовки материалов, сварки и упрочнения деталей. Его применение достигло многих прорывов в исследованиях многих ученых.

Электромагнитно-импульсная сварка разнородных металлов алюминия/стали

Сварная конструкция из разнородного металла из алюминия и стали обладает высокой удельной прочностью, хорошей коррозионной стойкостью и превосходными комплексными механическими свойствами и широко используется в аэрокосмической, атомной энергетике, железнодорожном транспорте, электронной технике и других отраслях промышленности. Однако из-за значительных различий в физических, химических и металлургических свойствах разнородных металлов алюминий/стали качественное соединение этих двух материалов сталкивается с большими трудностями. Технология электромагнитно-импульсной сварки представляет собой метод сварки в твердой фазе, который может эффективно решить проблемы сварки, вызванные различиями в характеристиках разнородных металлов. В настоящее время он широко используется при сварке разнородных металлов, таких как алюминий/сталь.

Авторы Чжан Липин [и др.] [1] проанализировали в своей статье, что технология электромагнитно-импульсной сварки сделала определенные прорывы в процессе, оборудовании и свойствах самого материала.

Технология

Использование технологии электромагнитно-импульсной сварки для проведения целевых исследований процессов обработки алюминия или стали достигло определенного прогресса, а исследования таких параметров, как входной ток, напряжение разряда и зазор заготовки, являются относительно глубокими, но их трудно обрабатывать, такие параметры, как магнитное давление, угол столкновения и скорость столкновения. Проведите углубленное исследование. Кросс-интеграция с другими дисциплинами, такими как имплантация гибкого датчика, для измерения магнитного давления и расчет начального угла столкновения путем управления положением прокладки, позволяет получить соответствующие параметры процесса и обобщить опыт и правила, чтобы компенсировать отсутствие возможности онлайн-мониторинга. Кроме того, имеется несколько соответствующих литературных отчетов о построении окна процесса сварки для ряда материалов, прогнозировании микроструктуры и характеристик соединения, диапазоне толщин свариваемого материала при электротермическом содействии и послесварочных испытаниях, термическая обработка и т. д., и могут быть проведены дальнейшие исследования.

Оборудование

Параметры устройства включают емкость, индуктивность. Различные влияющие факторы, такие как внутреннее сопротивление, характеристики катушки и характеристики магнитного коллектора, также играют жизненно важную роль в общих характеристиках сварного соединения.

В статье упоминается [1], что авторы Deng [и др.] [2] предложили электромагнитно-импульсное оборудование и метод сварки на основе двойных магнитных полей. Расширенная зона сварки с помощью фоновых катушек сила магнитного поля в домене увеличивает скорость столкновения заготовки. Схема двойного магнитного поля показана на рисунке 1. Результаты испытаний показывают, что вспомогательный эффект фонового поля может, увеличьте скорость столкновения заготовки и увеличьте площадь сварки область.

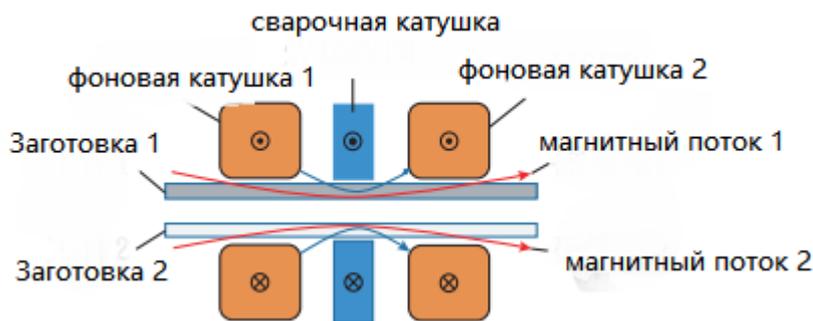


Рисунок 1 – Принцип электромагнитно-импульсной сварки на основе двойных магнитных полей

В настоящее время исследования оборудования для электромагнитно-импульсной сварки в основном сосредоточены на инновациях катушек и магнитных коллекторов, таких как форма, структура, материал, срок службы катушек, а также функция и форма магнитных коллекторов. Однако в настоящее время основной формой сварных соединений являются соединения внахлестку.

Размерный ряд высокоразнородных соединений алюминия и стали, расширение конструктивной формы сварных соединений и т. д. еще больше расширяют область применения технологии электромагнитно-импульсной сварки.

#### Электромагнитно-импульсное формовочное производство

Существование электропластичности и магнитопластичности позволяет импульсным электромагнитным полям повышать пластичность материалов, тем самым уменьшая напряжение течения и улучшая пластичность металла. Применение электромагнитных импульсов в процессе изготовления детали позволяет снизить сопротивление деформации и повысить стабильность деформации металла, тем самым снизить максимальную мощность оборудования и улучшить качество продукции.

Авторы Линь Юнь [и др.] [3] прикладывали импульсный ток высокой энергии к проволоке во время непрерывного процесса волочения, так что напряжение волочения значительно уменьшилось. По сравнению с традиционным волочением удлинение проволоки после волочения импульсным током увеличивается до 75 %, предел текучести более стабилен, а глубина царапин на поверхности также значительно уменьшается. В дополнение к электропластическому или магнитопластическому эффекту, который может уменьшить напряжение течения, улучшение качества поверхности проволоки также связано с улучшением поверхностной смазки, вызванной электромагнитными колебаниями, и улучшением состояния поверхностных сил, вызванных скин-эффектом электрического тока.

В дополнение к использованию электромагнитных импульсов для улучшения обрабатываемости материалов существуют также методы, в которых используется энергия электро-

магнитных импульсов для непосредственного стимулирования макроскопической деформации материалов, таких как электромагнитное формование. Электромагнитная формовка – это метод бесконтактной формовки, в котором используется сильное импульсное магнитное поле, создаваемое импульсным током в катушке, и сила Лоренца, генерируемая под совместным действием наведенного вихревого тока внутри металлического материала, для деформации материала с высокой скоростью. Основываясь на характеристиках высокой скорости деформации и бесконтактной деформации электромагнитного формования, по сравнению с традиционной технологией квазистатического формования, электромагнитное формование имеет множество преимуществ, таких как повышенная гибкость формования, снижение стоимости, улучшенная формуемость материала, уменьшенное пружинение и подавление образования складок [4].

Авторы Бах [и др.] [5] изучали процесс эволюции свойств и микроструктуры промышленного чистого алюминия при электромагнитной формовке и обнаружили, что изменение свойств заготовки в основном связано с изменениями микроструктуры внутри зерен, особенно с образованием субзерен, т. к. показано на рисунке 2.

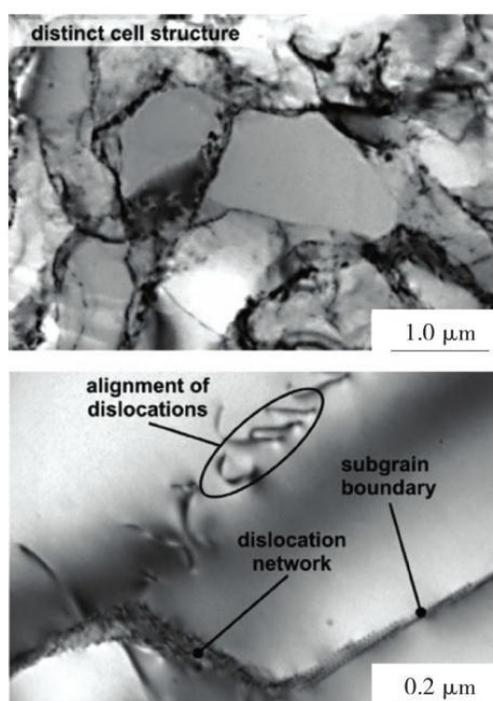


Рисунок 2 – Микроструктуры промышленного чистого алюминия при электромагнитной формовке

Вышеуказанные новые технологии снижают сложность обработки материалов в конкретных областях, повышают производительность и качество продукции, экономят производственные ресурсы и играют положительную роль в продвижении технологического производства в Китае и даже в мире.

#### Список использованных источников

1 Прогресс исследований электромагнитно-импульсной сварки разнородных металлов алюминия и стали /Чжан Липин [и др.] // Технология авиационного производства. – 2022. – №65(21). – С. 78–86.

2 Дэн, Ф.Х. Принцип и реализация системы электромагнитно-импульсной сварки с двухкаскадной катушкой / Ф. Х. Дэн, Q.L. Цао, Х.Т. Хан. – Международный журнал прикладной электромагнетики и механики, 2018, 57 (4) – С.389–398.

3 Исследование электропластического волочения сплава Inconel690 /Линь Юнь [и др.] // Технология термической обработки материалов. – 2010. – №39(24). – С. 80–82.

4 Лай, Чжипэн. Исследования по электромагнитной формовке листового металла с разновременным импульсным сильным магнитным полем / ЧжипэнЛай // Ухань: Хуачжунский университет науки и технологий. – 2017. – С. 105–112.

5 Бах, Ф. W. Влияние скорости формовки на микроструктуру и свойства материалов, подвергнутых электромагнитной формовке / Ф. W. Бах, Д. Борманн, Л. Уолден. – Дортмунд: Материалы 3-й Международной конференции по высокоскоростной штамповке, 2008. – С.55–64.

## **Передовые технологии листовой штамповки. Оборудование листовой штамповки**

Студенты гр. 30402120: Будник А.Р., Жуковец Е.С., Кветко А.К.  
Научный руководитель – Шкурдюк П.А.  
Белорусский национальный технический университет

Технология листовой штамповки – это научное описание совокупности методов, процессов и материалов, используемых для получения изделий из листовой заготовки методами обработки давлением. Технология как наука изучает сущность производственных процессов, взаимосвязь этих процессов и закономерности их развития. Задачей изучения технологии листовой штамповки является получение знаний, позволяющих вести расчеты технологических операций и процессов, проектировать соответствующий инструмент, управлять процессами изготовления изделий из листовой заготовки для получения качественных изделий, используя оптимальные технологические процессы, разрабатывать новые прогрессивные методы и процессы.

Листовая штамповка из листа при комнатной температуре называется холодной штамповкой. Ее применяют при малых толщинах листа и в случае пластичных сплавов. Если же штампуют из толстого листа (от 5 мм) или из сплавов с малой текучестью, то для повышения пластичности лист заготовки нагревают. Листовая штамповка гарантирует получение большого количества абсолютно идентичных по форме и размерам деталей с высокой точностью.

Холодная объемная штамповка позволяет получать высокоточные тонкостенные детали практически любой формы при себестоимости существенно ниже, чем случае использования литья или механической обработке. Намного выше получается и коэффициент использования металла. Кроме того, холодная объемная штамповка гарантирует не только прочность, но и однородность свойств материала детали, что особенно важно в ответственных конструкциях. Как объемная, так и листовая штамповка экономически эффективна в рамках больших серий [1].

Это объясняется большими затратами на подготовку производства.

Холодная листовая штамповка является на сегодня одной из самых широко распространённых технологий обработки металлов, пластмасс и некоторых других материалов. Диапазон применения технологии – от крупных конструкций в судостроении до тонкостенных деталей бытовой техники.

В последние годы появилось несколько новых разновидностей листовой (холодной) штамповки. К прогрессивным способам относят штамповку:

– резиной, позволяет проводить разделительные и формоизменяющие операции. В качестве пуансона или матрицы выступает резина. Подобный способ используют для изделий, выполненных из металла с максимальной толщиной в 2 мм. Это могут быть медные сплавы, алюминий;

– жидкостью, данный процесс имеет свои особенности. Под давлением жидкости происходит деформация металла, после чего он принимает форму матрицы. Такой способ подходит для случаев, когда нужно «вытянуть» полые детали любых форм;

– взрывом, для изменения форм изделий используют и взрывчатые вещества – смеси, состоящие из пропана, метана и др. Они повышают давление, под воздействием которого заготовка принимает нужную форму. Когда уместно применение такого метода? При производстве крупных и имеющих сложную форму деталей. И здесь можно обойтись без дорогостоящего оборудования;

– электрогидравлическую, в качестве энергоносителя выступает электрический заряд в жидкости. Он вызывает возникновение ударной волны, деформирующей заготовку. Останется лишь придать изделию желаемую форму.

Эти способы сегодня востребованы на предприятиях, специализирующихся на выпуске мелкосерийной и единичной продукции.

#### **Оборудование листовой штамповки.**

Для различных видов операций листовой штамповки применяется широкий спектр оборудования.

Так, для операций резки используют вибрационные, или гильотинные ножницы.

Для выполнения формообразующих операций применяют основное штамповочное оборудование – станок для листовой штамповки или пресс.

По типу они различаются:

- кривошипно-шатунные;
- гидравлические;
- радиально-ковочные;
- электромагнитные.

Самым простым в устройстве и обслуживании является пресс с кривошипно-шатунным приводом. Он пригоден для выполнения несложной листовой штамповки – тонкостенных деталей малого и среднего размера простой формы.

Гидравлические прессы позволяют развивать намного большее усилие (до 2 тысяч тонн) и точнее регулировать ход пресса. Этот тип оборудования применяют для операций гибки или объемной штамповки из листа большой толщины.

Радиально-ковочные комплексы используют для листовой штамповки деталей, имеющих форму тела вращения.

Электромагнитные прессы – достаточно новый тип оборудования. Давления на заготовку производится за счет массы электромагнитного сердечника, направляемого к пуансону электромагнитным импульсом. Импульс противоположной полярности возвращает сердечник в исходное положение. Такой привод намного проще в изготовлении и обслуживании, чем гидравлический, но пока не достигает его мощности [2].

#### **Список использованных источников**

1 Листовая штамповка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stankiexpert.ru/spravochnik/obrabotka-davleniem/listovayashtampovka.html>. – Дата доступа: 30. 01. 2023.

2 Бурдуковский, В. Г. Технология листовой штамповки: учебное пособие / В. Г. Бурдуковский. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 224 с.

## Технологические аспекты процесса винтовой экструзии

Студенты группы 10402221: Евстратовский А.В., Кашмель А.В.  
 Научный руководитель – Томило В.А.  
 Белорусский национальный технический университет

В настоящее время большой интерес в мире проявляется к материалам с наноструктурой (НС) и ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой (размеры зерна 10–100 нм и 100–1000 нм соответственно). Такие материалы обладают уникальными физико-механическими характеристиками [1].

Одним из наиболее эффективных методов получения объёмных заготовок с НС и УМЗ структурой является интенсивная пластическая деформация (ИПД), основная цель которой – накопление деформации в заготовках без изменения их формы [2]. К процессам ИПД относятся: равноканальное угловое (РКУ) прессование, всесторонняя ковка и др. [3].

Особенностью процессов ИПД является то, что форма заготовки после полного цикла деформации практически совпадает с исходной, что позволяет обрабатывать её многократно. В результате больших пластических деформаций металлов (эквивалентная деформация составляет обычно  $e_i = 5-10$  [2]) размеры их структурных элементов уменьшаются и достигают значений, характерных для НС и УМЗ материалов. Вследствие этого металлы после ИПД приобретают уникальные свойства, многие из которых представляют практический интерес. В частности, они обладают весьма высокой пластичностью в сочетании с высокой прочностью.

В настоящей работе представлена информация о разрабатываемом авторами новом методе ИПД – винтовой экструзии (ВЭ) [2].

Основная идея винтовой экструзии



Рисунок 1 – Схема, поясняющая суть винтовой экструзии:  
 а – схема прохождения заготовки через винтовую матрицу;  
 б – схема канала винтовой матрицы

ВЭ состоит в том, что призматическую заготовку пропускают через винтовую матрицу (рисунок 1, а). Канал винтовой матрицы схематично показан на рисунке 1, б. Он состоит из трех участков: заходного 1, винтового 2 и калибрующего 3. Поперечные сечения всех участков одинаковы. Характеристикой винтового участка 2 является угол  $\beta$  наклона винтовой линии, наиболее удаленной от оси матрицы, к оси экструзии (смотреть рисунок 1, б).

Указанные особенности геометрии канала приводят к тому, что при выдавливании через него форма заготовки не изменяется, это позволяет осуществлять ее многократную экструзию с целью накопления интенсивных деформаций. При этом происходит изменение структуры и свойств заготовки при сохранении идентичности начальной и конечной ее формы.

Деформация металла в процессе винтовой экструзии



Рисунок 2 – Фрагмент винтовой матрицы с заготовкой

В работе методами физического и математического моделирования исследовано напряженно деформированное состояние металла при ВЭ. Краткие выводы из этой работы состоят в следующем:

- на границе заходного и винтового участков матрицы происходит закручивание потока металла, а на границе винтового и калибрующего участков поток выпрямляется (рисунок 2);
- в первом приближении, в процессе ВЭ каждое материальное сечение заготовки, ортогональное ее оси, деформируется по схеме простого сдвига;
- наибольшую часть деформации за проход заготовка получает в узких зонах входа и выхода из винтового участка канала матрицы;
- минимальной деформации подвергается волокно, расположенное по оси образца, максимальной – наиболее удаленные от нее волокна;
- для заготовок прямоугольного поперечного сечения максимальное  $\varepsilon_{\text{max}}$  и минимальное  $\varepsilon_{\text{min}}$  значения эквивалентной деформации после одного прохода ВЭ.

Эксперименты показывают (смотреть на примере. [2]), что простой сдвиг в узких слоях наиболее эффективен, по сравнению с другими видами деформации, в плане образования УМЗ структур, а циклическая деформация характеризуется более высокой пластичностью металла по сравнению с монотонной. В совокупности со сказанным выше это указывает на возможную перспективность винтовой экструзии для получения материалов с нано- и УМЗ структурой.

#### Список использованных источников

- 1 Винтовая экструзия – процесс накопления деформаций / Я. Е. Бейгельзимер [и др. ]. – Донецк: ТЕАН, 2003. – 85 с.
- 2 Интенсивные пластические деформации материалов при гидропрессовании с кручением / Я. Е. Бейгельзимер [и др. ]. – Физика и техника высоких давлений. – Т. 10. – №1. – 2000. – С. 24–27.
- 3 Винтовая экструзия / Я. Е. Бейгельзимер [и др. ]. – Кузнечно-штамповочное производство, 2004. – №6. – С. 15–22.

## Бесшовное производство труб

Студент гр. 10402119 Хованский А.А.

Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

Способы монтажа и соединения. Бесшовные трубы изготавливаются из монолитного металла, цельный корпус не имеет швов и других соединений. Это повышает устойчивость к перепадам давления и действиям агрессивных сред, увеличивает стойкость к разрывам.

Главное преимущество этой категории – герметичность, кроме этого, исключаются все неблагоприятные факторы, связанные со сварным соединением: остаточные напряжения, микроскопические неровности и наплывы. По бесшовной технологии выпускают толстостенный и тонкостенный трубопрокат: от 0,3 до 75 мм. Для получения равноценных показателей прочности требуется меньшее количества сырья, чем в производстве прямошовных аналогов, следовательно, снижается вес конструкций. Изделия с большой толщиной стенки имеют повышенный запас стойкости к механическим воздействиям.

Стальные бесшовные трубы классифицируют по способу производства:

- горячекатаные;
- холоднокатаные;
- цельнотянутые.

Эксплуатационные качества:

- повышенная устойчивость к внутренним и внешним нагрузкам;
- снижение металлоемкости;
- стойкость к коррозии за счет отсутствия микродефектов, присущих сварным швам;
- абсолютное исключение завоздушивания среды.

Отличная обрабатываемость при изготовлении гнутых деталей: отводов, змеевиков.

Несмотря на преимущества, применение не всегда оказывается целесообразным. В коммунальных сетях практически отсутствуют нагрузки, которые не может выдержать недорогой электросварной прокат. Затраты на производство являются основной причиной, по которой повсеместное использование ограничивается. Пока ни одна из применяемых технологий не позволяет выпускать изделия с диаметром более 550 мм. Этого не всегда достаточно для обеспечения требований к пропускной способности в магистральных линиях.

Техника безопасности запрещает использование трубного проката с цельным корпусом для транспорта взрывчатых и пожароопасных веществ.

Горячекатаные бесшовные трубы. Так как производство обычно включает несколько операций, технологический процесс организуют с помощью автоматических линий. Заготовкой для горячекатаной продукции служит слиток. Производственный цикл состоит из следующих этапов:

- разогрев заготовки в кольцевой печи;
- прошивка (прокальвание);
- раскатка гильзы, заготовка принимает цилиндрическую форму;
- обкатка до параметров трубы;
- калибровка, редуцирование (когда нужна небольшая толщина стенки);
- охлаждение;
- стабилизирующий отжиг [1].

В зависимости от характеристик сплава слиток нагревают до 1100–1250 °С. Сразу после отжига поверхность металла покрыта окалиной. Если предусмотрены дополнительные требования, полуфабрикаты очищают в кислотном растворе, шлифуют и наносят покрытие.

Структура металла при горячей обработке сохраняет пластичность и ударную вязкость, при эксплуатации такой трубопровод гасит вибрации, выдерживает значительный вес грунта.

Холоднодеформированные бесшовные трубы. Холоднодеформированный трубопрокат изготовить сложнее. Сталь без нагрева обрабатывается медленнее, циклы раскатки перемежаются со стабилизирующей термообработкой, очисткой, сушкой в специальной камере, нанесением смазок.

Заготовкой служит отцентрованная цилиндрическая форма (гильза). Для раскатки чаще всего используют трехвалковые станы. Валки размещаются с уклоном, от величины угла зависят параметры будущего изделия. Учитывается предел прочности сплава, при котором дальнейшая деформация невозможна без разрывов. Несмотря на то, что технологию называют холодной, от трения сталь разогревается до значительных температур [1].

При холодной деформации структура металла вытягивается в направлении приложения усилий, во время термообработки происходит рекристаллизация, зерна измельчаются и строение снова становится однородным. Таким образом, прочность закладывается на молекулярном уровне, при этом число повторяющихся циклов может достигать 17.

К холоднодеформируемому сортаменту применяют дополнительную классификацию по толщине стенки:

- особотонкостенные – до 0,5 мм. ;
- тонкостенные – до 1,5 м
- толстостенные – отношение наружного диаметра к толщине стенки не более 6;
- особотолстостенные – отношение наружного диаметра к толщине стенки от 6 до 12,5.

Холодным методом производят трубопрокат малого веса и высокой точности, в том числе капиллярные трубки. Готовые полуфабрикаты используют для монтажа трубопроводных систем, контуров теплообменного оборудования, изготовления змеевиков и различных деталей.

Цельнотянутые бесшовные трубы. Цельнотянутые трубы часто путают с остальной бесшовной продукцией, но их нельзя отнести к горячекатаным или холоднокатаным. Специальные болванки нагревают и протягивают через стан, раскатывающие станки не применяются. Изделия отличаются незначительным тепловым удлинением, используются для поставок пара, в авиации, атомной промышленности и других узкоспециальных областях. Учитывая специфическое назначение, для углеродистых сталей сразу предусматривают коррозионно-стойкие покрытия [2].

Сферы применения. Основная функция бесшовной трубы – транспортировка сред под давлением или работа с особо-опасными веществами, когда протечки или разрывы могут угрожать безопасности людей или нанести вред экологии. Каждый вид имеет свои достоинства и технические параметры.

Технология производства горячекатаного проката самая простая, металлопродукция универсальна и используется во всех отраслях промышленности:

- в городских инженерных сетях: толстостенные изделия выдерживает нагрузки грунта, сокращают теплопотери;
- передача горячих сред любого назначения;
- транспортировка газа, нефти, организация технологических и промысловых трубопроводов;
- в качестве свай, столбов, опорных элементов, обсадных труб;
- для изготовления тройников, отводов для трубопроводных систем;
- детали агрегатов, котельных установок, автомобилей.

Цельнотянутый трубопрокат – самый дорогой и металлоемкий, толщина стенок может достигать 10 % от диаметра. Основное отличие – низкое тепловое расширение. Продукция

используется при прокладке магистральных и технологических трубопроводов в энергетическом секторе, нефтеперерабатывающей промышленности и других отраслях.

Холоднокатаные полуфабрикаты отличаются высокой точностью, малым весом, могут быть тонкостенными и толстостенными. Область применения довольно широка. Благодаря однородной структуре металла трубы легко справляются с перепадами напора, идеально-ровная внутренняя поверхность увеличивает пропускную способность и повышает коррозионную стойкость. Единственное ограничение: плохая устойчивость к ударным и растягивающим нагрузкам. Холоднокатаные полуфабрикаты используются:

- технологические трубопроводы на пищевых и промышленных производствах;
  - гидравлические установки, теплообменное оборудование;
  - приборостроение, например, капиллярные трубки применяют в аппаратах дозирования;
  - змеевики, спирали, поршневые механизмы;
  - приборы экспериментальных лабораторий;
  - авиация и судостроение: ценится высокая прочность и небольшой вес;
  - выхлопные системы автомобилей, дымоходы печного оборудования;
- Металлоконструкции, перила, ограждения.

При транспортировке питьевой воды, в химической промышленности и на пищевых предприятиях, предъявляют особые требования к химическому составу: ограничивается содержание вредных примесей и элементов, вступающих в реакции с конкретными средами.

#### **Список использованных источников**

1 Сторожев, М. В. Теория обработки металлов давлением: учебник для вузов. – 4-е изд. / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 447 с.

2 Патон, Б. Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Б. Е. Патон. – М. : Машиностроение, 1974. – 768 с.

## Гидроформовка

Студент гр. 10402119 Цыпенков А.А.

Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

Гидроформовка – процессы гидравлической вытяжки или холодной листовой штамповки жидкостью, при которых сложные однокомпонентные детали получают прессованием в форме за счет давления жидкости.

Наиболее распространенным типом гидроформовки является изменение нормального круглого сечения трубы на другое по длине заготовки. Современные технологии гидроформовки труб позволяет получать более сложные контуры, чем это было еще 20 лет назад. Эта технология активно используется в автомобилестроении и способна удовлетворить самые высокие запросы дизайнеров в этой отрасли.

При гидроформинге осуществляются два различных процесса: формирование высоким давлением жидкости изнутри и гидромеханическое формирование глубокой вытяжкой.

Формование высоким давлением изнутри – формирование пустотелых герметичных деталей. Деталь помещают в пресс-форму, которую закрывают, после чего внутренние стенки заготовки подвергают воздействию гидростатического давления жидкости, а воздух удаляют. Под действием гидростатического давления заготовка расширяется и точно повторяет очертания пресс-формы [1].

Гидромеханическое формирование глубокой вытяжкой дает возможность за один этап изготавливать детали, которые требуют при обычной глубокой вытяжке нескольких операций. Также появляется возможность изготовить из одной заготовки такие детали, которые нельзя создать обычным прессованием. Типичными изделиями, изготовленными способом формирования глубокой вытяжкой, являются детали автомобилей с глубокими, выступающими частями, такие как детали кузова и топливные баки.

Основные процессы гидроформинга представлены на рисунках 1–3.

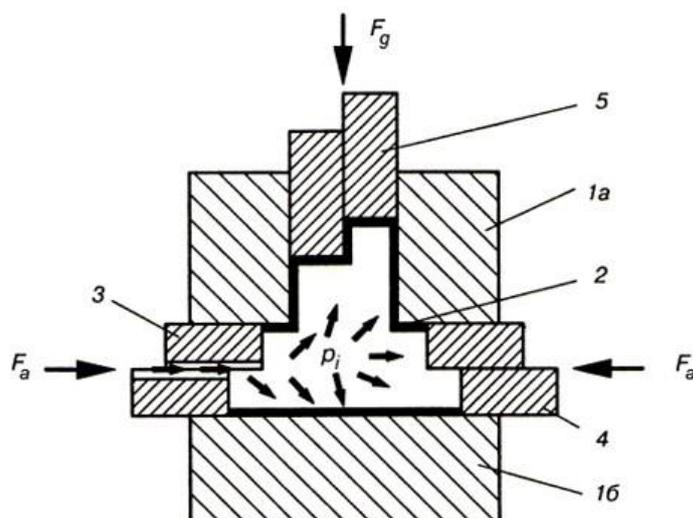


Рисунок 1 – Гидроформинг:

шаг процесса – расширение:  $F_a$  – закрывающая сила;

$F_g$  – противостоящая сила;  $p_i$  – внутреннее давление; 1а – верхняя часть пресс-формы;

1б – нижняя часть пресс-формы; 2 – заготовка (труба); 3 – мандрель (с входным отверстием);

4 – мандрель; 5 – противостоящий пуансон

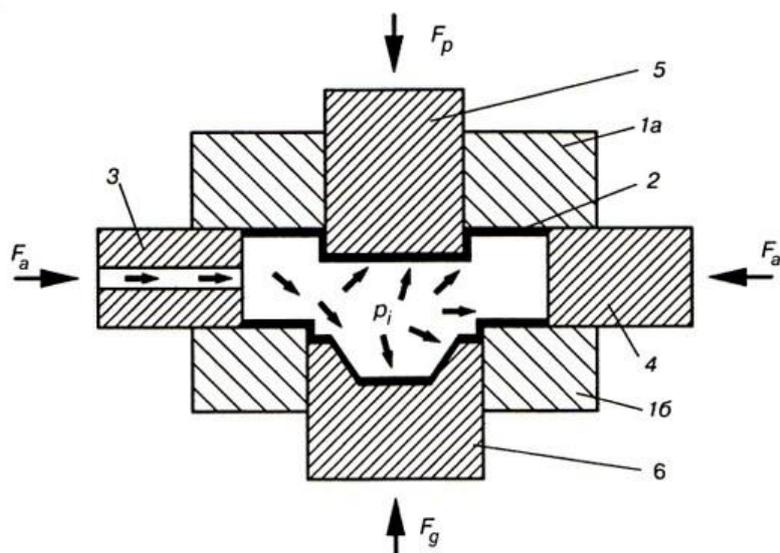


Рисунок 2 – Гидроформинг:  
 шаг процесса – выдавливание.  $F_g$ , – закрывающая сила;  
 $F_g$  – противостоящая сила;  $F_p$ , – сила пуансона;  $P$  – внутреннее давление:  $F_a$  – верхняя часть  
 пресс-формы; 1б – нижняя часть пресс-формы; 2 – заготовка (труба); 3 – мандрель (с входным  
 отверстием для вторичной гидравлической жидкости); 4 – мандрель; 5 – пуансон;  
 6 – пуансон, противостоящий давлению

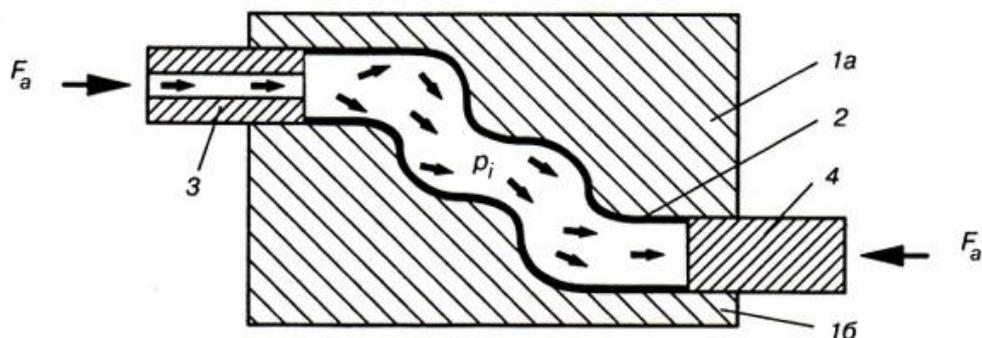


Рисунок 3 – Гидроформинг:  
 шаг процесса – калибровка:  $E$  – закрывающая сила;  $F_a$  – верхняя часть пресс-формы;  
 $P$  – внутреннее давление: 1а – верхняя часть прессформы; 1б – нижняя часть прессформы;  
 2 – заготовка (труба); 3 – мандрель (с входным отверстием для вторичной гидравлической  
 жидкости); 4 – мандрель

Благодаря отверждению при растяжении гидроформинг позволяет изготавливать легкие высокопрочные детали сложной формы, получение которых с использованием других методов невозможно. Необходимо рассмотреть специальные требования, определяемые исходными условиями непрерывного производства [2].

#### Список использованных источников

- 1 Гидроформовка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://alterozoom.com/en/documents/40756.html>. – Дата доступа: 29. 03. 2023.
- 2 Гидроформовка металла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://metkb.ru/metalloobrabotka-3/gidroformovka-metalla.html>. – Дата доступа: 29. 03. 2023.

## Использование горячей штамповки в зарубежных странах

Студент гр. 10402221 Чёрный А.Г.  
 Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

Горячая штамповка – это процесс промышленного производства, при котором металлические детали изготавливаются путем нагрева материала до высокой температуры и его последующего формования в определенную форму в прессе [1]. Этот метод широко используется во всем мире для производства различных металлических изделий, от автомобильных деталей до электронных компонентов. Горячая обработка производится с помощью кривошипных и гидравлических прессов [2]. Пример кривошипного пресса приведен ниже на (рисунок 1).

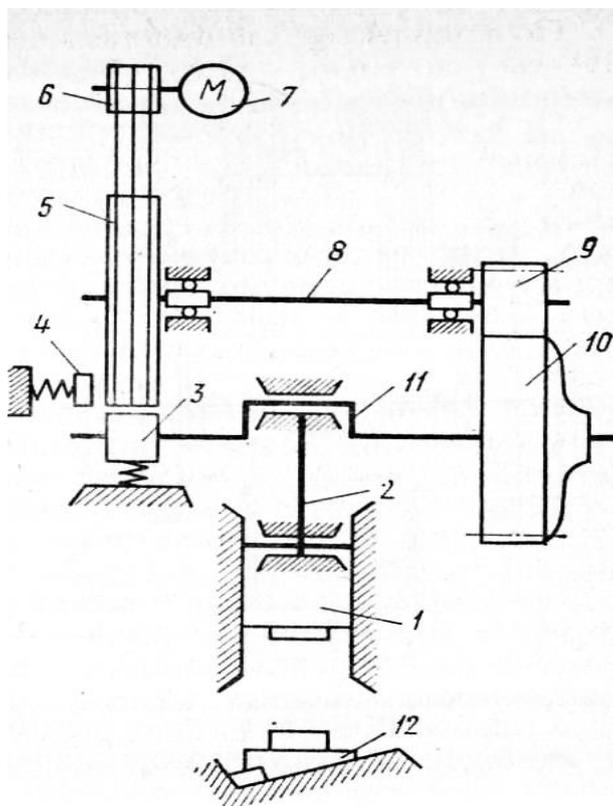


Рисунок 1 – Типовая схема кривошипного пресса:

- 1 – ползун; 2 – шатун; 3 – тормоз коленчатого вала; 4 – тормоз; 5 – маховик;  
 6 – шкив; 7 – электродвигатель; 8 – вал; 9, 10 – зубчатые колеса;  
 11 – коленчатый вал; 12 – двухклиновое устройство.

В зарубежных странах горячая штамповка является одним из наиболее распространенных методов производства металлических изделий. Некоторые из самых крупных компаний в мире, такие как Toyota, BMW и Boeing, используют этот метод для производства своих продуктов.

Соединенные Штаты Америки (США) – являются одним из крупнейших производителей горячештампованных деталей в мире. Горячая штамповка широко используется в автомобильной, аэрокосмической и энергетической отраслях. Особенно востребована горячая штамповка деталей из высокопрочных сталей и алюминия, например лопаток из алюминиевого

сплава для компрессора реактивного двигателя. Примеры компаний, производящие горячештампованные детали: Metal Forming Technology Inc, Tigges, Cleveland-Cliffs, GEMCO MANUFACTURING CO., INC., DONGGUAN PINYI AUTOMATION TECHNOLOGY CO., LTD.

Китай – является основным производителем горячештампованных деталей в мире. Китайские производители специализируются на производстве дешевых металлических изделий, таких как втулки, рейки и корпуса электронных устройств. Китайские компании также инвестируют в передовые технологии и оборудование для производства более сложных деталей, таких как кузова автомобилей и их комплектующие. Примеры компаний, производящие горячештампованные детали: Ningbo Well Done Metal Mfg., Ltd, Codewel, Hebei Hengshui Dongfang MoldCo., Ltd., SHANDONG HUACHEN CONNECTING ROD CO., LTD.

Германия – является одним из мировых лидеров по производству горячештампованных деталей. Особенно востребованы детали из алюминия и высокопрочных сталей для автомобильной и энергетической отраслей. Германские производители горячей штамповки используют передовое оборудование и технологии для производства высококачественных деталей с точностью до микрометра. Примеры компаний, производящие горячештампованные детали: GFU MASCHINENBAU GmbH, Ajax TOCCO Magnethermic GmbH, KB Schmiedetechnik GmbH, Schmiedetechnik Plettenberg GmbH & Co. KG, Schmiedewerk Stooss AG, EGS Erfurter Gesenkschmiede GmbH.

Италия – является ведущим производителем горячештампованных деталей в мире. Итальянские производители специализируются на производстве деталей из углеродистых, легированных и нержавеющей сталей, титана и специальных сплавов (никелевых). Примеры компаний, производящие горячештампованные детали: SMVFORGINGSRL, G. M. S., CAPPELLETTI & MOLTENI S. A. S., TRATTAMENTI TERMICI ZANCHIGIANI DI ZANCHIGIANI S. I. & C. SNC.

Преимущества горячей штамповки включают высокую точность формования и отсутствие необходимости во вторичной обработке, что позволяет сократить затраты на производство. Этот метод также позволяет получать детали с высокой прочностью и долговечностью, что делает его идеальным для производства автомобильных деталей и других изделий, которые должны выдерживать высокие нагрузки [3].

Одним из самых важных преимуществ горячей штамповки является возможность производить детали больших размеров и сложной формы (рисунок 2). Это позволяет компаниям производить более сложные продукты и повышать конкурентоспособность на рынке.



Рисунок 2 – Кузнечно-штамповочный цех

Однако горячая штамповка также имеет свои недостатки. Например, из-за высоких температур, используемых в процессе, не все металлы могут быть использованы для изготовления деталей методом горячей штамповки.

В целом, использование горячей штамповки является очень важным и распространенным методом производства металлических изделий в зарубежных странах. Он позволяет компаниям производить высококачественные продукты, которые могут выдерживать высокие нагрузки и имеют высокую точность формования.

#### Список использованных источников

1 Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т. / ред. совет: Е. И. Семёнов (пред. ) [и др. ]. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка/ под ред. Е. И. Семёнова. – 1985. – 568 с

2 Методическое пособие по курсам «Технологияковки и объемной штамповки» для студентов специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки металлов давлением». В 2 ч. Ч. 2. Методические указания по курсовому проектированию / И. Г. Добровольский, В. С. Карпицкий. – Минск. : БНТУ, 2006. – 38 с.

3 Информационный сайт о металло- и деревообработке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <http://pereosnastka.ru/articles/goryacheshtampovochnye-kovochno-shtampovochnye-pressy/>. – Дата доступа: 21. 03. 2023.

## Гидростатическое прессование

Студент гр. 10402119 Чижик И.И.  
 Научный руководитель – Томило В.А.  
 Белорусский национальный технический университет

Гидростатическое прессование позволяет ликвидировать трудоемкие ручные операции, резко сократить цикл производства санитарно-технических изделий (с 50–70 ч до 2–3 ч), повысить производительность труда, полностью отказаться от громоздких гипсовых форм, в несколько раз увеличить съем продукции с единицы производственной площади, расширяет возможности использования местного сырья и создает условия для полной механизации и автоматизации технологического процесса. Схема гидростатического прессования представлена на рисунке 1.

Сущность метода заключается в том, что порошок 3 заключают в эластичную оболочку 2 и подвергают всестороннему обжатию. Продолжительность выдержки зависит от габаритов изделия и составляет несколько минут. Процесс осуществляется в герметичных камерах 1 с использованием в качестве рабочих жидкостей масла, воды и т. п. Рабочее давление, создаваемое системой насосов, обычно составляет от 25 до 700 МПа [1].

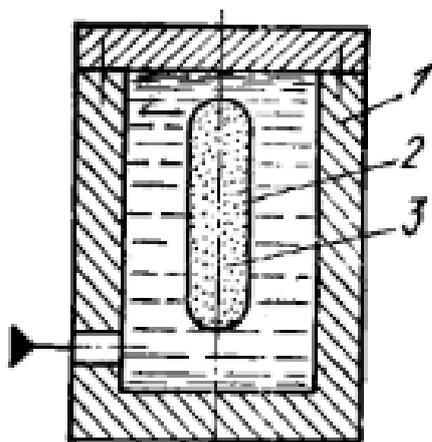


Рисунок 1 – Схема гидростатического прессования:  
 1 – герметичная камера; 2 – эластичная оболочка; 3 – порошок

Гидростатическое прессование позволяет получать заготовки цилиндрического и прямоугольного сечения, трубы и другие изделия сложной формы. Для получения заготовок заданной геометрической формы эластичные оболочки помещают в стальные обоймы, обеспечивающие передачу давления жидкости на поверхность оболочки.

Характерным отличием гидростатического прессования от обычных методов является минимальное влияние сил трения на материал, что способствует получению заготовок равномерной плотности и снижению требуемых усилий, а также в условиях всестороннего сжатия резко повышается пластичность из-за чего даже самые твердые и хрупкие материалы (карбиды, бориды, керамика) приходят в состоянии текучести и легко заполняют формы. В процессе обжатия происходит повышение прочности и вязкости, которое не теряется при последующем отжиге. Это свойство гидростатического давления является фактором, способствующим повышению механических свойств металла, прежде всего, в процессах деформирования. Так, например, прочность молибденовых сплавов увеличивается в 2–3 раза, вязкость в 15–20 раз, пластичность в 10 раз [2]. Зависимость относительной плотности спрессованных брикетов из медного порошка для случая гидростатического и обычного прессования представлена на рисунке 2.

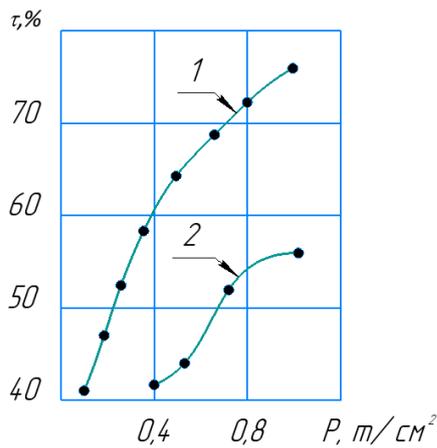


Рисунок 2– Влияния давления на относительную плотность брикетов из порошка меди:  
 1 – гидростатическое прессование; 2 – обычное прессование в пресс-форме

В последнее время метод гидростатического прессования нашел применения в производстве керамических изделий. Этот метод основан на равномерном обжиге порошка, помещенного в резиновую эластичную форму, жидкостью (водой, маслами, глицерином), находящейся под давлением. В этом случае давление равномерно передается по всем направлениям, и отпрессованное изделие приобретает такую равную плотность, которая не может быть достигнута при направленном прессовании изделий вдоль какой-либо одной оси изделия.

#### Список использованных источников

1 Гидростатическое прессование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://msd.com.ua/tehnologiya-ogneuporov/gidrostaticheskoe-pressovanie.html>. – Дата доступа: 27. 03. 2023.

2 Гидростатическое прессование металлических порошков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://industrial-wood.ru/osnovy-poroshkovoy-metallurgii/12233-gidrostaticheskoe-pressovanie-metallicheskikh-poroshkov.html>. – Дата доступа: 27. 03. 2023.

## Применение штамповки взрывом в современном производстве

Студенты гр. 30402120: Мироевский Е.А., Романчук Д.Ю.,  
Лазарчик В.Ю., Кудравец М.Н.  
Научный руководитель – Шкурдюк П.А.  
Белорусский национальный технический университет

Штамповка взрывом – это способ обработки металлов, полученный на использовании энергии взрыва. Взрыв – процесс освобождения большого количества энергии в ограниченном объеме за малый промежуток времени. Формообразование заготовки происходит за счет импульсного давления ударной волны, вызывающего в материале заготовки напряжения, гораздо превышающие предел текучести [1].

Штамповка взрывом – один из первых, наиболее исследованных методов высокоскоростного деформирования материалов.

Обладая высокой удельной и общей энергоемкостью и эффективностью, взрывчатые вещества допускают деформировать детали больших габаритов из высокопрочных материалов с высокой точностью. Возникающие при взрыве давления достигают 3000МН, а время воздействия на материал заготовки составляет доли секунды. Таким методом штамповки можно выполнять многие операции холодной штамповки (вытяжку, формовку, пробивку отверстий и др. ). Штамповкой взрывом производятся детали разных конфигурации и размеров из плоских и фасонных листовых заготовок.

К источникам энергии при обработке металлов взрывом относятся разные виды взрывчатых веществ. Взрывчатым веществом это химическое соединение(смесь), которое, под действием теплоты механического удара или давления, за короткий промежуток времени преобразуется в другое устойчивое вещество, полностью или большей частью газообразное.

От разновидности энергоносителя различают формообразование деталей взрывчатыми веществами бризантного действия, пороховых зарядов и газовыми смесями или сжиженными газами. К взрывчатым веществам бризантного действия относятся тротил, аммонит и др. Чаще всего применяется тротил, подрываемый с помощью электродетонаторов.

Взрыв веществами бризантного действия характеризуется большой концентрацией энергии. Для передачи этой энергии на заданную площадь заготовки и для ее равномерного деформирования взрыв заряда рационально производить не в воздухе, а в воде. Вода смягчает удар и обеспечивает нагружение заготовки по всему очагу деформации [2].

Как правило, штамповку производят в открытых емкостях – естественных (озеро, река) или искусственных (железобетонных и земляных бассейнах) наполненных водой (рисунок 1).

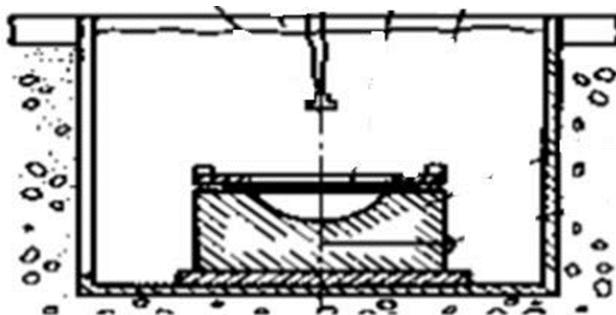


Рисунок 1 – Бассейн многократного действия

При срабатывании детонатора внутри ВВ возникает фронт детонационной волны, которая распространяется в жидкости со скоростью 1450 м/с. При взрыве образуется мощная

ударная волна и газовый пузырь от продуктов взрыва, который, пульсируя (расширяясь и сжимаясь), вызывает дополнительные импульсы давления. Газовый пузырь, расширяясь, создает направленный в сторону заготовки

Изредка используются бассейны одноразового действия (рисунок 2), которые могут устанавливаться в бронекамере – для производства небольших деталей.

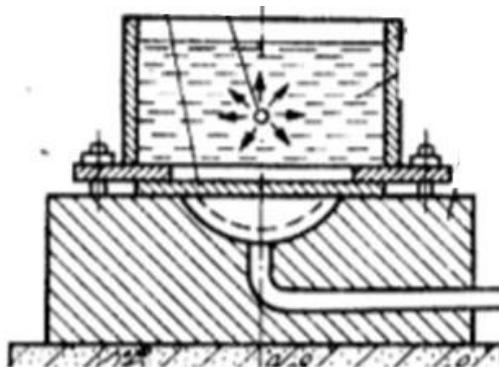


Рисунок 2 – Бассейн одноразового действия

Штамповка порохами и газами осуществляется в закрытых емкостях. Энергия взрывчатого вещества передается заготовке либо прямо, либо через промежуточную среду [1].

Существенными преимуществами штамповки газовыми смесями является равномерность нагружений поверхности заготовки при взрыве, возможность автоматизации процесса. Важным недостатком штамповки газовыми смесями является повышенные требования к технике безопасности.

Основными достоинствами штамповки взрывом:

- низкая стоимость оснастки (матрица изготавливается из недорогих материалов);
- небольшие капитальные затраты (не требуется прессовое оборудование);
- высокая точность обработки;
- возможность изготовления деталей сложной формы из трудно деформируемых и хрупких сплавов;
- сокращение числа технологических переходов.

К недостаткам относятся не экономичность при большом объеме производства, трудность управления процессом, опасность и неудобство работы с взрывчатым веществом [2].

#### Список использованных источников

1 Самохвалов, В. Н. Высокоэнергетические методы размерной и упрочняющей обработки: учеб. пособие / В. Н. Самохвалов. – Самарский университет, 2019. – 73 с.

2 Штамповка взрывом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://asgard-service.com/news/shtampovka-vzryvom/>. – Дата доступа: 31. 01. 2023.

**Совершенствование процесса осадки четырехлучевых заготовок  
с углом вогнутых граней 150°**

Студенты гр. 10402120: Щекало Д.В., Дешко Г.Д.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

В современных условиях для Республики Беларусь важно развитие экспортно-ориентированных отраслей индустрии. Конкурирование на международных рынках требует повышения качества и снижения себестоимости производимой продукции.

Крупногабаритные детали в тяжелом машиностроении производятся ковкой слитков. Металл слитка обладает низкими механическими свойствами, которые являются следствием дендритной структуры и недостатка минуса осадочного происхождения. Устранить дендритную структуру и заварить внутренние пустоты можно, если изготавливать поковки с высоким уклоном. Для этого в технологическом циклековки используется кузнечное осаждение заготовки. Однако в литературе можно встретить важную информацию о влиянии операции осаждения на заваривание внутренних пустот. Актуальным направлением исследований является усовершенствование операции осаждения, которое можно осуществить за счет изменения формы осаждающих формы заготовки. Это позволит изменить деформированное и напряженное состояние заготовки, что повысит проработку литой структуры и качество поковок в целом [1].

Разработка и проектирование техпроцессов изготовления крупногабаритных поковок направлены на поиск рациональных способов осаждения для повышенной проработки структуры металла. В крупногабаритных деталях основная локализация внутренних дефектов является осевой зоной. Это вызвано соответствующим напряженно-деформированным состоянием (НДС) при деформировании. Применение операций осаждения и протягивания повышает равномерность механических свойств, но при этом повышается трудо- и энергоемкость процессовковки.

В последние годы количество крупных поковок, изготовленных из слитков, увеличивается. Это связано с увеличением мощности тяжелых машин. Однако качество произведенных поковок не всегда отвечает требованиям заказчика. Низкое качество производимых крупных поковок объясняется низким качеством исходных слитков [2, 3].

Авторами работы [4] показано, что в последнее время возросла потребность в изготовлении массивных деталей, изготавливаемых с использованием осаждения. Качество таких поковок определяется по механическим свойствам и степени неоднородности структуры металла. Применяемые процессыковки массивных поковок не гарантируют получения высокого качества.

В работе [5] показано, что существуют специальные методыковки крупногабаритных изделий. Эти методыковки отличаются типом используемых операций, режимами деформирования и геометрией бойков [6]. Механические свойства деталей в основном зависят от назначения осаждения и последующего протягивания. При этом резервы разработки новых технологических процессовковки еще полностью не исчерпаны. При разработке эффективных техпроцессов деформирования основной интерес вызывает совершенствование операции кузнечного осаждения.

В работе [7] отмечается, что рост объемов производства поковок высокого качества требует развития и внедрения новых техпроцессовковки крупногабаритных заготовок для деталей с низкими затратами на ковку. Однако в работе не исследовались новые способы осадки, позволяющие снизить силу деформирования. Снизить силу операции осаждения можно за счет

деформирования секционным инструментом или изменением площади пересечения заготовки.

Повышение механических свойств деталей ответственного назначения за счет заваривания внутренних пустот и повышения равномерности проковки структуры слитка на основе усовершенствования операции осадки четырехлучевых слитков.

Моделирование процесса осадки профилированных на четырехлучевое сечение заготовок проводилось методом конечных элементов (МКЭ). По результатам моделирования устанавливались распределение НДС проковки и формоизменение искусственного дефекта после деформирования. После профилирования все заготовки осаждались на 50 %.

Уравнение связи компонент скоростей напряжений и деформаций (1)

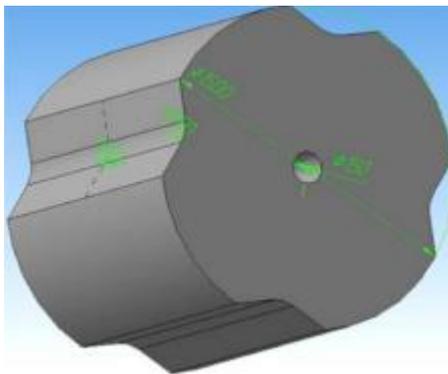
$$S_{ij} = \frac{2\bar{\sigma}}{3\dot{\bar{\epsilon}}} \dot{\epsilon}_{ij}, \quad (1)$$

где  $\dot{\epsilon}_{ij}$ ,  $\sigma_{ij}$  – компоненты скоростей деформации и напряжений;  
 $S_{ij}$  – компоненты девиатора напряжений.

Кривая течения задана уравнением  $\bar{\sigma} = \sigma(\bar{\epsilon}, \dot{\bar{\epsilon}}, T)$ ,

где  $\bar{\epsilon}$ ,  $\dot{\bar{\epsilon}}$  – интенсивности деформаций и скоростей деформаций;  
 $T$  – температура, °С.

Модели для конечно-элементного моделирования имели следующие размеры: внешний диаметр заготовки  $D = 1,5$  м, высота заготовки  $H = 3,75$  м, диаметр отверстия дефекта принимался 10 % от наружного диаметра заготовки (0,15 м), угол граней заготовки составлял  $150^\circ$  (рисунок 1). Глубины на вогнутых гранях ( $d/D$ ) исследовались в диапазоне 15 %, 20 % и 25 % от диаметра заготовки. Материал – сталь 70Х3ГНМФ ГОСТ 1050–2013, температура нагрева заготовки  $1150$  °С, температура инструмента –  $20$  °С, коэффициент трения 0,45, сетка содержит 75 000 элементов, скорость деформирования 35 мм/с.



**Рисунок 1 – 3D-модель профилированной заготовки на четырехлучевое сечение**

Показатель схемы напряженного состояния осевой зоны заготовки (2)

$$P_\sigma = \frac{3\sigma_{cp}}{\sigma_i}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{cp}$  – гидростатическое давление, МПа;  
 $\sigma_i$  – интенсивность напряжений, МПа.

На заковку в процессе осаждения четырехлучевой заготовки влияет глубина вогнутых граней. В исследовании использовались грани с углом  $150^\circ$  и относительная их глубина  $d/D$  составляла 25 %; 20 % и 15 %. Степень заковывания отверстия после осаждения профилированных четырехлучевых заготовок на 50 % показана на рисунке 2. По результатам моделирования было обнаружено, что для рассматриваемых параметров глубин граней происходит заковка отверстия в средней части поковки. Степень заковывания отверстия больше для образцов с относительной глубиной граней 0,85. Заготовки, профилированные на глубину  $d/D = 0,75$ , показали худшие результаты по закрытию осевого дефекта.

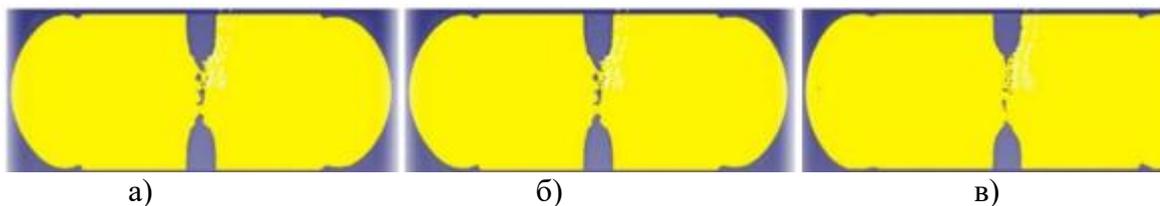


Рисунок 2 – Заковка отверстия после осаждения профилированных четырехлучевых заготовок на 50%;  
а –  $d/D = 0,75$ ; б –  $d/D = 0,80$ ; в –  $d/D = 0,85$

Зависимость механизма заковывания отверстия в процессе осаждения четырехлучевых моделей с разной относительной высотой граней показана на рисунке 4. Анализ полученных результатов (рисунок 3) позволил установить, что относительная глубина граней больше 15 % ( $d/D = 0,85$ ) не приводит к увеличению степени заковки дефекта.

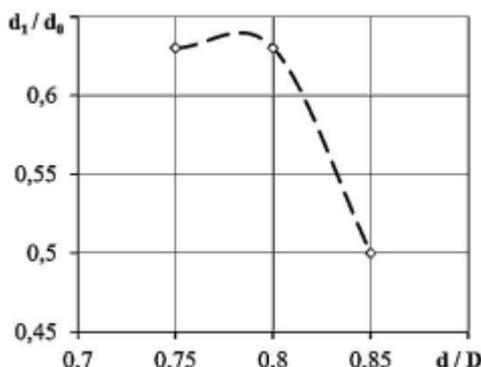


Рисунок 3 – Зависимость относительного диаметра отверстия в процессе осаждения четырехлучевых моделей с разной относительной глубиной граней

После осаждения четырехлучевых заготовок с  $d/D = 0,85$  на 50 % происходит заковка среднего относительного диаметра ( $d_1/d_0$ ) дефекта на 50 % (рисунок 3).

Разработка техпроцессаковки невозможна без установления распределения температур в процессе осаждения четырехлучевых заготовок. Распределение температурных полей в теле заготовки влияет на силовые и деформационные параметры, а также на исчерпание ресурса пластичности материала. Для упрощения исследования достаточно проследить изменение температуры по перерезу заготовки.

Анализ способа осаждения четырехлучевых заготовок с разными глубинами граней позволили установить, что распределение температур в процессековки находится в температурном интервале. Тепловое состояние заготовки для разных вариантов осаждения совпадает, следовательно, охлаждение заготовки в процессе деформирования имеет одинаковое влияние на НДС и дальше не исследуется.

Осаждение четырехлучевых заготовок с различными параметрами вогнутого поперечного сечения приводит к распределению деформаций, аналогичных процессу осаждения цилиндрических образцов. Деформации с максимальной величиной располагаются в центральной части поковки, а с минимальной – на плоских торцах поковки.

Распределение деформаций для различных параметров заготовок с четырехлучевым сечением аналогичны. Но при осаждении четырехлучевых заготовок с глубиной граней  $d/D = 0,85$  площадь деформаций с максимальной величиной больше на 35...45 % по сравнению с другими параметрами заготовок.

Осаждение четырехлучевых заготовок изменяет напряженное состояние в поковке (рисунок 4). В средней и осевой части поковки возникают средние деформации со знаком минус, что свидетельствует об образовании в зоне осевой рыхлости заготовки сжимающих напряжений с величиной около – 85 МПа при относительной глубине  $d/D = 0,85$  (рисунок 4 (в)).

Повышение относительной глубины граней четырехлучевых заготовок приводит к изменению распределения средних напряжений в металле заготовки. Глубокие грани уменьшают площадь и величину сжимающих напряжений. Осаждение четырехлучевых заготовок не исключает образования бочкообразной боковой поверхности с локализацией на этой поверхности растягивающих напряжений.

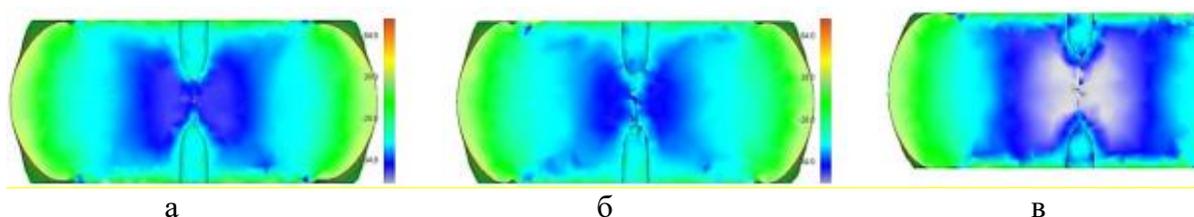


Рисунок 4 – Гидростатические напряжения при осаждении четырехлучевых заготовок:

а –  $d/D = 0,75$ ; б –  $d/D = 0,80$ ; в –  $d/D = 0,85$

Исследован новый способ осаждения четырехлучевых заготовок с углом граней  $150^\circ$  и разными глубинами этих граней. По результатам исследования установлены НДС заготовки закономерности изменения размеров осевого отверстия в процессе осаждения. Анализ полученных результатов позволил установить эффективные рекомендации процесса осаждения и его преимущества перед существующим способом деформирования.

Заковка отверстия начинается при деформации 10 %. Максимальная ковка отверстия происходит после осаждения на 65 % для относительной глубины граней 15... 20 %

от диаметра заготовки. Вогнутые грани величиной 15 % от диаметра заготовки приводят до возникновения в теле заготовки сжимающих напряжений после осаждения на 55 %. Кроме этого, в осевой зоне четырехлучевой заготовки для указанных параметров возникают максимальные деформации, которые будут способствовать заковыванию внутренних дефектов. Повышение уровня деформация при осаждении четырехлучевых заготовок приводит к повышению величины сжимающих напряжений в теле поковки.

#### Список использованных источников

1 Повышение качества поковок на основе осадки заготовок с вогнутыми гранями. / О. Марков [и др. ] // Восточно-Европейский журнал корпоративных технологий. – 2018. – №5. – С. 16–24.

2 Критерии усадочной пористости и оптимизированная конструкция 100-тонного поковочный слиток 30X2H4MФ / Ван Дж [и др. ] // Матер. Дизайн. – 2012. – №35. – С. 446–456.

3 Критерий закрытия пустот в крупных слитках при горячей штамповке / Чжан Х-Х [и др. ] // J Mater Process Tech. – 2009. – №209(4). – С. 1950–1959.

4 Добжански, Л. А. Влияние режимов горячей обработки на структуру высокомарганцевых аустенитных сталей. / Л. А. Добжански, В. Борек, А. Грайчар // Журнал достижений в области материалов и технологии производства. – 2008. – № 29. – С. 139–142.

5 Исследование зарядной комбинации на основе. Правило подбора массы партии для энергосбережения при ковке / З. Байцин [и др. ] // Математические проблемы в технике. – 2015. – С. 1–9.

6 Амели, А. Параметрическое исследование остаточных напряжений и ковочной нагрузки в холодном радиальном процессковки / А. Амели, М. Р. Моваххеди // IntJ Adv Manuf Tech. – 2007. – № 33 (1–2). – С. 7–17.

7 Ф. Хиппенстиль Последние разработки в области зубчатых сталей для использования на электростанциях. / Ф. Хиппенстиль, К. –П. Иоганн // Встреча Forgemasters, Сантандер. – Испания. – 2008.

## Водородное отжигание

Студент гр.10402221 Зарбиев Е.В.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Водородное отжигание – это процесс термической обработки металлических изделий в водородной среде, который применяется в металлургической и электронной промышленности. Водородное отжигание обеспечивает высокую чистоту поверхности металла, уменьшает его твердость и повышает его пластичность.

Процесс водородного отжига осуществляется в печах с контролируемой атмосферой. В печи создается среда из водорода, которая обеспечивает реакцию водорода с кислородом, окислы и другие примеси на поверхности металла, что приводит к их удалению. Температура и время обработки контролируются, чтобы достичь оптимальных результатов.

Водородное отжигание широко используется в металлургической промышленности для обработки металлических листов, проволоки, труб и других изделий. Оно также применяется в производстве электронных компонентов, таких как кремниевые чипы, для удаления примесей и повышения их качества.

Преимущества водородного отжига включают улучшение механических свойств металла, повышение его пластичности и устойчивости к коррозии, а также уменьшение вероятности образования микротрещин на поверхности металла. Кроме того, этот процесс позволяет достичь высокой чистоты поверхности металла, что важно для производства электронных компонентов.

Однако водородное отжигание также имеет свои недостатки. Во-первых, это процесс, требующий высокой энергозатратности. Во-вторых, водород может проникать в металл и вызывать его разрушение при длительном воздействии. Поэтому важно правильно контролировать процесс водородного отжига и проводить его только в специально оборудованных печах [1].

Водородное отжигание может произойти в различных металлических конструкциях, которые находят применение в различных отраслях промышленности, например:

1) Нефтегазовая отрасль: трубопроводы, бурильные стержни, насосы, компрессоры и другое оборудование, которое используется при добыче, транспортировке и переработке нефти и газа.

2) Автомобильная промышленность: болты, гайки, пружины и другие детали, которые используются при производстве автомобилей.

3) Авиационная и космическая промышленность: самолеты, спутники, ракеты и другие конструкции, которые работают в условиях высоких нагрузок и экстремальных температур.

4) Энергетическая отрасль: оборудование для производства электроэнергии, такое как турбины, генераторы, трансформаторы и другое.

5) Медицинская отрасль: импланты, протезы и другие медицинские устройства, которые могут быть изготовлены из металлов и могут подвергаться воздействию водорода.

Поэтому водородное отжигание является серьезной проблемой для многих отраслей промышленности, и его необходимо учитывать при проектировании, изготовлении и эксплуатации металлических конструкций.

В заключение, водородное отжигание – это важный процесс для производства металлических изделий с высокой чистотой поверхности и улучшенными механическими свойствами [2].

#### **Список использованных источников**

1 Справочник химика 21, химия и химическая технология [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://chem21.info/article/696405/>. – Дата доступа: 21.03.2023.

2 eLIBRARY - Научная электронная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46277061>. – Дата доступа: 20.03.2023.

## Изготовление методом штамповки зубчатых шестерен

Студент гр. 10402221 Сосункевич К.Н.

Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

Основная идея совершенствования технологии горячей штамповки в настоящее время состоит в том, чтобы получать при штамповке детали, не требующие или почти не требующие механической обработки. Эта задача зависит от степени точности оборудования, инструмента и от квалификации рабочих.

Точная штамповка является одним из важных направлений в кузнечно-штамповочном производстве в последние несколько десятилетий. Были разработаны различные технологии для изготовления конических, прямозубых и косозубых шестерен и колес, в попытке достичь законченной формы с минимальной финишной механической обработкой. Стандартный технологический процесс изготовления шестерен представляет собой сложный процесс, которых предполагает выполнение двух переходов открытой штамповки и последующую механическую обработку. Использование закрытой штамповки в изготовлении шестерен позволяет осуществить формирование зубьев безоблоя, что повышает коэффициент использования материала, обеспечивает высокую производительность и хорошие динамические свойства.

Однако, существуют ряд проблем, одной из важнейших является незаполнение полости закрытого штампа, т. е. не полное формирование зубьев. На заполнение полости закрытого штампа оказывает влияние целый ряд факторов, в том числе форма и размеры заготовки. Таким образом, оценка возможности полного заполнения полости в закрытых штампах, при горячей объемной штамповке шестерен является актуальной технологической задачей. Способ штамповки в закрытых штампах (безоблойной штамповки) более экономичен, так как позволяет получить поковку с минимальной последующей обработкой резанием. Этот способ позволяет реализовать схему неравномерного всестороннего сжатия при значительной величине боковых сжимающих напряжений. Он способствует лучшему выявлению пластических свойств металлов. Закрытая штамповка позволяет снизить себестоимость поковок на 30...40 %, значительно сокращает трудоемкость последующей обработки резанием.

В настоящее время штампуют конические шестерни с модулем от 6,5 до 7 мм (рисунок 1 и рисунок 2).

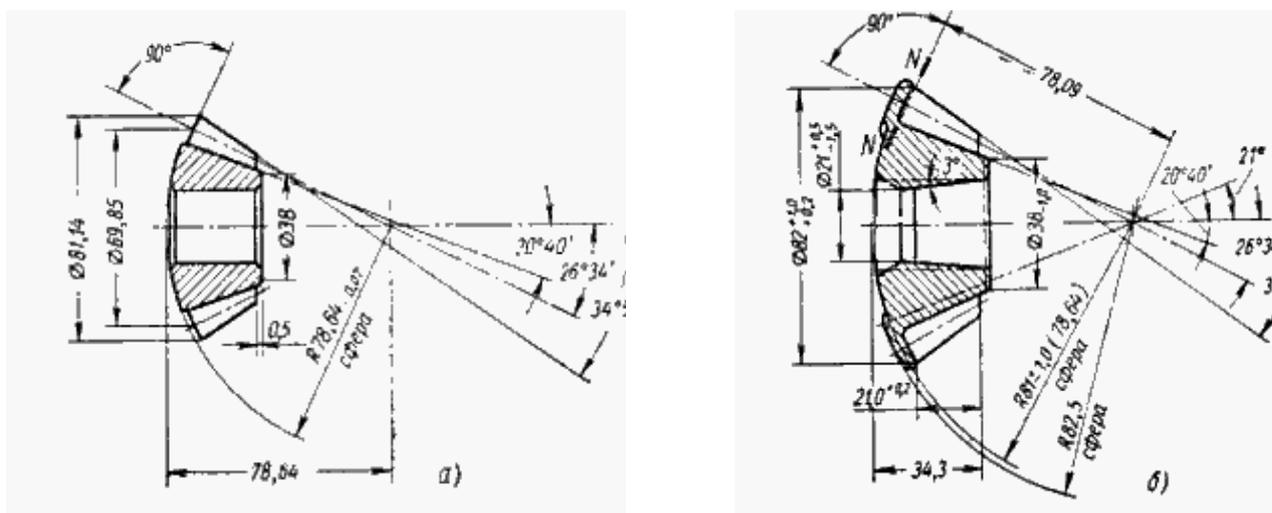


Рисунок 1 – Чертежи детали (а) и поковки (б) сателлита

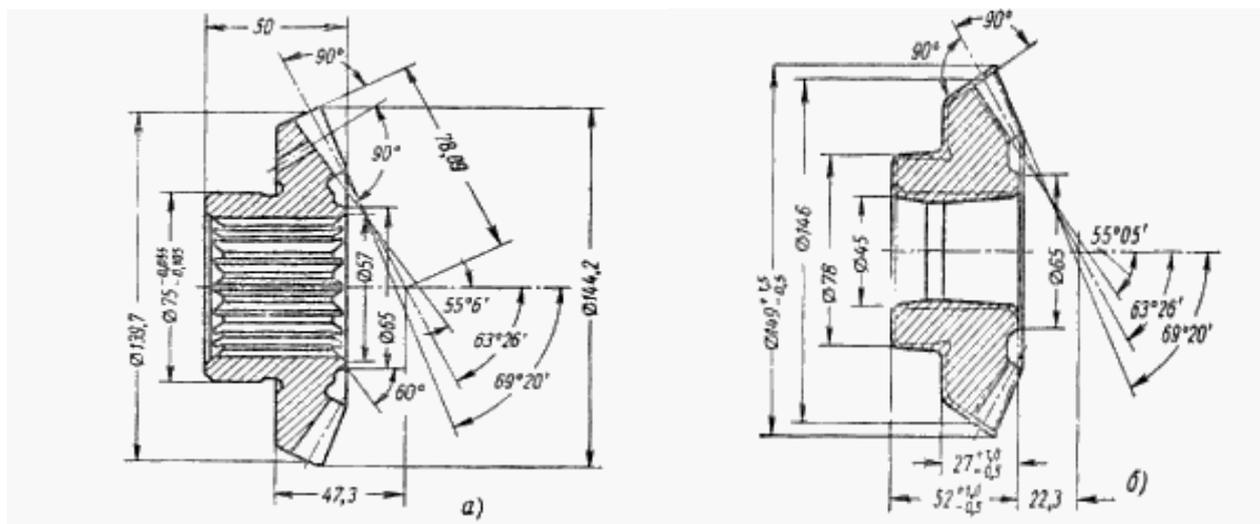


Рисунок 2 – Чертежи детали (а) и поковки (б) шестерни полуоси

А также цилиндрические шестерни со спиральным зубом. Наиболее успешно штампуют конические шестерни с зубьями. Для штамповки шестерен с зубом применяют сортовой прокат, нарезанный на заготовки с точностью по весу  $\pm 1-1,5\%$ . При составлении чертежа поковки устанавливают следующие припуски на обработку: на общие размеры поволоков (высоту поковки, диаметр ступицы, на обработку отверстия и др.) – по общим правилам штамповки поволоков на КГШП; на обработку зуба – по профилю 0,7–0,9 мм, по высоте 0,4–0,8 мм, по дну впадины 1–1,2 мм. Припуск по торцу зуба назначают в пределах общих требований к поковке, штампуемой на КГШП и проходящей калибровку. Припуск на отверстие 1–1,5 мм, на эксцентриситет 0,05–0,1 мм. В случае необходимости для обеспечения более простого изготовления мастер-штампа припуск по профилю зуба берут неравномерный с колебанием 0,1–0,15 мм. Длину зубьев увеличивают на 1 мм для избежания дефектов штамповки. На сферической части поковки сателлита (рисунок 1, б) устанавливают напуски толщиной 1,5 мм для обеспечения при штамповке заполнения углов и граней зубьев и чистоты торцов зуба после обработки. Наметку в отверстии выполняют с повышенной толщиной (5–13 мм) перемычки и переносом ее ближе к широкому основанию зубьев, что обеспечивает лучшее их заполнение.

Существует два варианта штамповки шестерен:

1 Осадка, предварительная штамповка без оформления зубьев, окончательная штамповка с оформлением зубьев. Оформление зубьев осуществляется в верхней половине штампа (пуансоном);

2 Осадка, предварительная штамповка с оформлением зубьев, окончательная штамповка шестерни с зубьями. При этом предварительное оформление зубьев осуществляется пуансоном, а в третьем переходе поковку переворачивают зубьями вниз и укладывают в матрицу с нарезанными зубьями (рисунок 3).

Профиль зубьев во втором и третьем переходах отличается лишь наличием в предварительном штампе более плавных переходов в зубьях. Поэтому, как правило, пуансон окончательной штамповки после износа используют для предварительной штамповки. Для получения большей точности поволоков вводят калибровку шестерен, которую осуществляют после штамповки или же после операций нормализации, очистки поверхности от окалины в полугорячем состоянии при температуре нагрева 650–680 °С. Процесс калибровки состоит из предварительной калибровки, обрезки заусенца и окончательной калибровки.

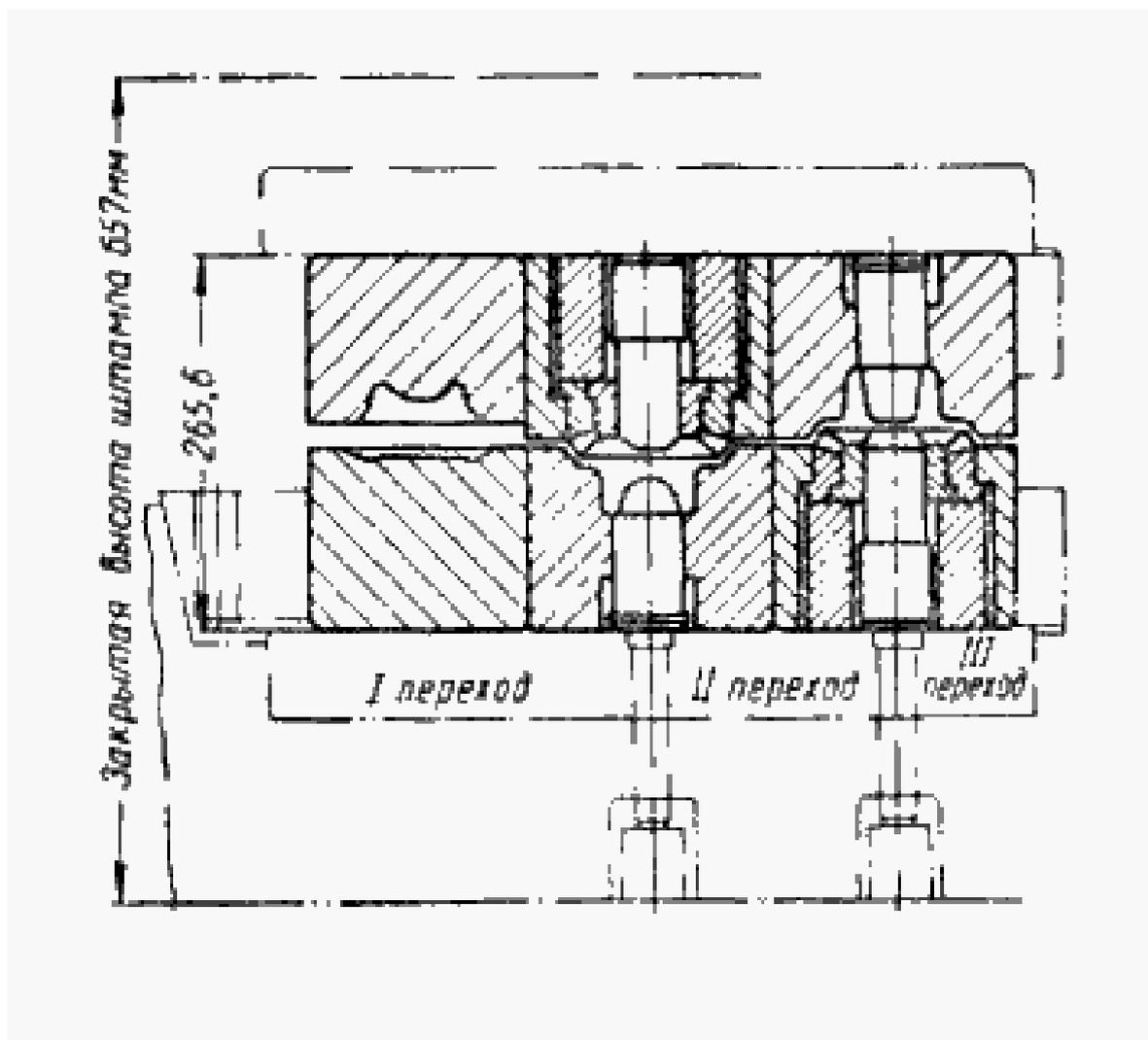


Рисунок 3 – Схема штамповки шестерни с оформлением зубьев в предварительном и окончательном переходах

Штамповка поковок с зубьями приводит к возрастанию силы операции в 2,2 раза, увеличение количества зубьев в поковке с 20 до 30 увеличивает силу на 3...5%. Максимум силы приходится на завершительную стадию операции, где происходит формирование зубьев [1–3].

#### Список использованных источников

- 1 Ковка и штамповка: в 3-х т. / под ред.: Е. И. Семенов. – М.: Машиностроение, 2010. – 297 с.
- 2 Сторожев, М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е.А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
- 3 Унксова, Е.П. Теорияковки и штамповки / Е. П. Унксова, А. Г. Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1992. – 720 с.

### Преимущества и недостатки штамповки на горизонтально-ковочной машине

Студенты гр. 10402220: Прохиро А.Д., Булва М.А., Гао Цзинчао  
Научный руководитель – Шкурдюк П.А.  
Белорусский национальный технический университет

Горизонтально-ковочная машина (ГКМ) – предназначена для штамповки поковок в многоручьевых штампах (наборный, формовочный, прошивной, обрезной).

На горизонтально-ковочной машине можно изготавливать поковки такой конфигурации, какую нельзя получить ни на какой другой кузнечной машине. Только некоторые из них можно получить штамповкой на молоте и прессе, да и то с очень большими отходами металла в заусенец (облой) или с большими напусками.

На горизонтально-ковочной машине можно делать поковки с глубокими выемками и отверстиями, тонкими стенками; выступы и буртики на внешних поверхностях поковок можно выполнять небольшой высоты. Благодаря наличию у горизонтально-ковочных машин двух плоскостей разъема штампов уклоны назначаются только на тех поверхностях поковок, которые при нахождении их в пуансоне или в матрице перпендикулярны направлению действия удара. Величина уклонов обычно не превышает 1–2°. Получаемые на горизонтально-ковочной машине поковки по форме и размерам очень близки к готовой обработанной детали [1].

Поковки, штампуемые на ГКМ, можно подразделять на пять основных групп. Первая это поковки с одним утолщением на конце или по длине стержня. Вторая это поковки типа колец простой конфигурации. Третья, поковки типа втулок. Четвертая, поковки со сложным наружным контуром. И пятая, поковки с глухой прошивкой.

Конструкция штампов горизонтально-ковочных машин предусматривает широкое применение вставок, что позволяет сократить расходы на изготовление штампов дорогостоящей высоколегированной стали.

Основными элементами штампов являются подвижная и неподвижная матрицы и блок с пуансонами, совершающими возвратно-поступательное движение. Пруток нагретой частью подается в правую подвижную матрицу. Длина деформируемой части прутка фиксируется на требуемой отметке передвигным упором. В процессе работы левая матрица перемещается вправо и при полном смыкании с неподвижной матрицей зажимает пруток. В этот момент упор автоматически отходит, освобождая путь пуансону, который деформирует заготовку, образуя на конце прутка утолщения.

Условия труда на горизонтально-ковочных машинах значительно лучше, чем при работе на молотах, что позволяет рациональнее использовать рабочее время работающих. Применение электронагрева в совокупности с механизацией передачи заготовки из ручья в ручей открывает возможность превратить горизонтально-ковочные машины в агрегаты, работающие автоматически. Все эти достоинства горизонтально-ковочных машин обеспечивают все большее применение их для производства поковок. Однако следует отметить, что горизонтально-ковочные машины имеют и ряд недостатков. Например, при работе на горизонтально-ковочной машине возможность заштамповки окалина больше, чем на другом оборудовании. Поэтому приходится предусматривать специальные приспособления для очистки нагретой заготовки от окалины. Применение электронагрева в значительной степени позволяет устранить этот недостаток [2].

При штамповке от прутка остаются концевые отходы, которые увеличивают расход металла на поковку. Эти отходы можно уменьшить в результате сокращения длины зажимной части при использовании рифленых зажимных вставок. Концы могут быть также использованы в качестве заготовок для штамповки различных поковок.

Конструкция горизонтально-ковочных машин с вертикальным разъемом матриц затрудняет возможность полной механизации и автоматизации работы горизонтально-ковочной машины. Правда, в машинах новых конструкций с горизонтальным разъемом матриц этот недостаток будет устранен. Таким образом, несмотря на некоторые недостатки, штамповка на горизонтально-ковочных машинах является весьма производительным и экономичным процессом.

Главными особенностями штамповки на ГКМ являются:

- наличие в машине трех бойков;
- наличие в штампе двух плоскостей разреза во взаимно перпендикулярных направлениях;
- перемещение ползуна в горизонтальной плоскости.

Штамповка на ГКМ имеет следующие преимущества:

- можно легко штамповать детали, которые на другом оборудовании рационально изготовить нельзя, например, поковки типа стержня с фланцем и другие, следовательно, ГКМ имеет особую область штамповки;
- штамповка, которая, как правило, проводится без облоя, то есть когда нет необходимости в дополнительных операциях;
- возможность изготовления длинноосных деталей;
- получение волокновой структуры;
- достигается экономия металла, т. к. штамповка производится преимущественно в закрытых штампах, а штамповочные уклоны в ряде случаев отсутствуют;
- макроструктура поковок получается благоприятной и обеспечивает высокое качество деталей;
- возможно применение вставок для ручьев, чем экономится штамповая сталь;
- работа на ГКМ безударная, спокойная и безопасна;

Недостатки горизонтально-ковочных машин:

- необходимость применения проката повышенной точности;
- ограниченное число форм поковок (цилиндрические);
- относительно низкая стойкость ставков штампа;
- необходимость очистки прутка от окалины;
- относительно высокая стоимость машины (в 1,5 раза дороже КГШП аналогичного усилия) [3].

#### Список использованных источников

- 1 Семенов, Е. И. Ковка и объемная штамповка / Е. И. Семенов // Высшая школа. – 1972. – № 1. – С. 24–36.
- 2 Косилов, А. Г. Справочник технолога машиностроения / А. Г. Косилов // Машиностроение. – 1986. – № 2. – С. 56–72.
- 3 Ершов, В. И. Справочник кузнеца-штамповщика / В. И. Ершов // МАИ. – 1996. – № 3. – С. 98–112.

**Магнитно-импульсные прессы. Методы ОМД**

Студенты гр. 10402220: Коротченко К.Г., Снежко А.В.,  
Чжоу Сяохань, Ху Хайчао  
Научный руководитель – Шкурдюк П.А.  
Белорусский национальный технический университет

Процесс магнитно-импульсной обработки материалов (МИОМ) основан на преобразовании электрической энергии, запасенной в накопителе, в переменное магнитное поле, выполняющее работу пластической деформации заготовки или разгоняющее твердое тело (заготовку с высокой скоростью). Подавляющее большинство магнитно-импульсных установок (МИУ) имеет емкостной накопитель энергии – батарею конденсаторов.

Переменное магнитное поле индуцируется индуктором, питающимся от генератора импульсных токов. Импульс, который проходит через индуктор, образует магнитное поле, оказывающее механическое воздействие на деталь, изготовленную из электропроводного материала [1].

Данная технология предполагает выполнение операций штамповки, сборки, формовки, сварки, калибровки, а также получения не только трубчатых, но и плоских изделий. Возможно выполнение сборочных операций путём пластического деформирования одной детали по контуру другой, соединение втулки со стержнем, соединение концов труб и т.д. Магнитно-импульсные установки конструктивно достаточно просты. В них нет движущихся и трущихся частей, следовательно, надежны при любой эксплуатации. Применяются как специализированные (предназначены для осуществления одной определённой операции), так и универсальные (выполняющие разнообразные операции) магнитно-импульсные установки [2].

Штамповая оснастка отличается простотой конструкции и малой металлоемкостью. Это обусловлено тем, что в ее состав входит один элемент – матрица, оправка или формоблок, в зависимости от вида операции. Роль пуансона играет усилие, деформирующее заготовку [3].

Существуют некоторые недостатки: форма детали не должна препятствовать протеканию индуцированного тока; трудно получать детали, требующие многопереходности процесса; ограниченный ресурс индуктора [2].

Разработка и изучение физических основ магнитно-импульсной обработки позволили создать и проанализировать физические и математические модели процессов, положить их в созданные расчётные методики и компьютерное моделирование. Магнитно-импульсная обработка металлов является эффективным методом ОМД, является популярной среди современных производителей.

Перспективность данного метода состоит в высокой производительности процесса, лёгкой механизации и универсальности данной технологии. Данное оборудование мобильно и просто в обслуживании, а экологически чистый процесс обработки, вместе с высокой точностью дозирования энергии, позволяют получать детали разнообразной геометрии с достаточно высоким качеством поверхности.

Обработка металлов давлением (ОМД) – технологический метод производства деталей и заготовок путём пластического деформирования, которое осуществляется силовым воздействием инструмента на исходную заготовку из металла, обладающего необходимой пластичностью. Одним из методов ОМД являетсяковка.Преимущества ОМД по сравнению с обработкой резанием:

- уменьшение отходов металла;
- повышение производительности;
- получение деталей с наилучшими технологическими свойствами (прочностью, жёсткостью, высокой износостойкостью и т. д.);

- увеличение диапазона деталей по массе и размерам;
- повышение точности размеров полуфабрикатов, получаемых ОМД.

Обработке металлов давлением поддаются только пластичные металлы и сплавы, а хрупкие (марганец, чугун) пластически не деформируются. Виды обработки металлов давлением: прокатка, прессование, волочение, ковка и штамповка. Рассмотрим один из видов.

Ковка – вид горячей обработки металлов давлением, при котором металл деформируется с помощью универсального инструмента (в качестве которого применяют плоские или фигурные, вырезные) бойки, а также различной подкладной инструмент. Ковкой получают заготовки для последующей механической обработки. Эти заготовки называют коваными поковками, или просто поковки. Ковка является единственно возможным способом изготовления тяжёлых поковок (до 250 т). Исходными заготовками для ковки тяжёлых крупных поковок служат слитки массой до 320 т. Поковки средней и малой массы изготавливают из блюмов и сортового проката квадратного, круглого или прямоугольного сечений. Процесс ковки состоит из чередования в определенной последовательности основных и вспомогательных операций. Каждая операция определяется характером деформирования и применяемым инструментом. К основным операциям ковки относятся осадка, протяжка, прошивка, отрубка, гибка. Ковку выполняют на ковочных молотах и ковочных гидравлических прессах [4].

Молоты – машины динамического, ударного действия. Одним из основных типов молотов для ковки являются паровоздушные молоты. КПД молота зависит от массы шабота и массы падающих частей (масса шабота в 15 раз больше массы падающих частей). Последовательность операций ковки устанавливают в зависимости от конфигурации поковки и технологических требований на неё, вида заготовки (слиток или прокат). Ковка является экономически выгодной в условиях единичного и мелкосерийного производства, а также единственно возможным способом изготовления поковок массой до сотен тонн.

К ковке, относящейся к основным видам обработки металлов давлением, обращаются преимущественно в единичном и мелкосерийном производстве.

Существенные преимущества методов ОМД по сравнению с другими методами придания формы привели к их широкому распространению. В настоящее время около 90% выплавляемой стали обрабатывают методами ОМД.

#### **Список использованных источников**

- 1 Технология магнитно-импульсной обработки материалов / В.А. Глушечков [и др.]. – Самара: Издательский дом «Федоров», 2014. – 208 с.
- 2 Магнитно-импульсная обработка материалов / А.Б. Прокофьев [и др.]. – Самара: АНО «Издательство СНЦ», 2019. – 140 с.
- 3 Энциклопедия по машиностроению XXL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mash-xxl.info/info/258949/>. – Дата доступа: 23.02.2023.
- 4 Обработка металлов давлением – ОМД: разновидности и особенности технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://extxe.com/5095/tehnologicheskie-metody-obrabotki-metallov-davleniem/>. – Дата доступа: 23.02.2023.

## Электромагнитно-импульсная сварка

Студенты гр. 10402220: Заренок В.Д., Янь Цзюньвэй, Борисовец И.В.  
 Научный руководитель – Шкурдюк П.А.  
 Белорусский национальный технический университет

Электромагнитно-импульсная сварка – это новый и инновационный процесс соединения. Эта технология соединения использует электромагнитные силы для деформации и соединения заготовок. Этот процесс также дает возможность соединять разнородные материалы, которые трудно сварить с помощью обычных процессов сварки. Данный вид сварки является автоматическим процессом, который можно использовать для труб и листового металла, размещенных в конфигурации перекрытия на рисунке 1.

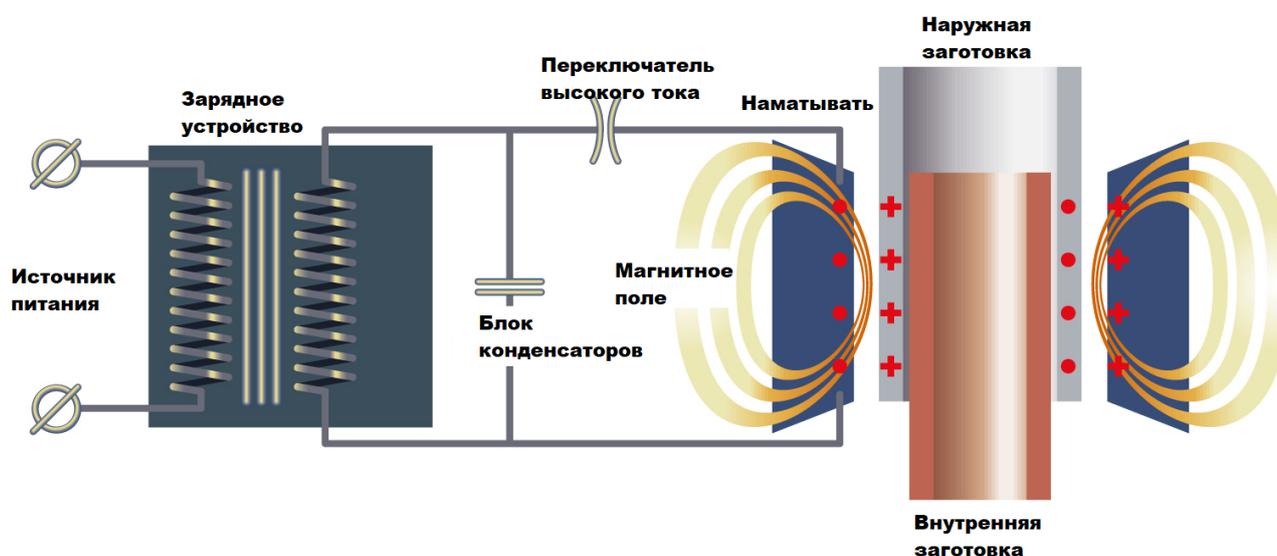


Рисунок 1– Принципиальная схема электромагнитно-импульсной сварки

При магнитно-импульсной сварке электромагнитные силы используются для воздействия двух материалов друг на друга с высокой скоростью. Блок питания используется для зарядки конденсаторной батареи; Когда необходимое количество энергии накапливается в конденсаторах, она мгновенно высвобождается в катушку. Ток разряда индуцирует сильное переходное магнитное поле внутри катушки, которое, в свою очередь, индуцирует вихревые токи во внешней заготовке (в данном случае трубке).

Эти вихревые токи препятствуют рассеиванию магнитного поля через внешнюю заготовку и вызывают разницу в величине магнитного поля с обеих сторон этой заготовки. Разница создает магнитное давление, которое заставляет внешнюю заготовку ударяться о внутреннюю заготовку.

Столкновение между заготовками вызывает склеивание через несколько механизмов склеивания. Связь между материалами создается, когда расстояние между их атомами становится меньше, чем диапазон их взаимных сил притяжения. В этом случае электроны распределяются между двумя материалами, и может образовываться интерметаллическая фаза (возможно, с высокой твердостью).

Поскольку эта технология использует не тепло, а давление для реализации соединения, она предлагает важные преимущества по сравнению с традиционными процессами термической сварки:

1 Быстрое и экономичное соединение традиционно несвариваемых материалов, таких как соединения разнородных материалов.

2 Разработка сложных заготовок или новых изделий, которые ранее были невозможны при использовании традиционных процессов соединения.

3 Процесс магнитно-импульсной сварки представляет собой процесс «холодного» соединения. Повышение температуры очень локально (порядка 50 мкм), поэтому заготовки достигают не более 30–50 °С на внешних поверхностях. Это означает, что после сварки детали можно сразу выгружать и дополнительно обрабатывать стандартным оборудованием.

4 Высокая повторяемость; Постоянное качество швов

5 Возможна высокая производительность.

6 Бесконтактный: отсутствие следов формовочных инструментов и обработка материалов с покрытием или чувствительных материалов невозможна.

Магнитно-импульсная сварка накладывает некоторые ограничения при выборе соединяемых деталей:

1 Соединения внахлест необходимы, так как один листовый материал должен воздействовать на другую часть, чтобы создать сварной шов.

2 Один из листовых материалов должен быть хорошим электрическим проводником, в противном случае для увеличения скорости удара следует использовать проводящий так называемый «драйверный» материал.

3 Одна заготовка должна выдерживать удар другой, поэтому возможно, что для предотвращения деформации потребуется оправка или опора.

4 Этот процесс можно использовать только в мастерской из-за размера сварочных аппаратов. С точки зрения потенциальных применений, которые в основном представляют собой детали заводского изготовления, это не обязательно является недостатком.

### **Список использованных источников**

1 Теория обработки металлов давлением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.com/64745775-Teoriya-obrabotki-metallov-davleniem.html>. – Дата доступа: 04.04.2022.

2 Основы технологических процессов обработки материалов давлением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://booktech.ru/books/mechanicheskaya-obrabotka/16389-osnovytechnologicheskikh-processov-obrabotki-metallov-davleniem-2008-s-b-sidelnikov.html>. – Дата доступа: 02.04.2022.

Студент гр.10402221 Вьюнов Т.А.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Штамповка, технологический процесс кузнечно-штамповочного производства, заключающийся в изменении простейших объёмных заготовок (цилиндрической, призматической и др. формы) в более сложные изделия, форма которых соответствует полости специализированных инструментов — штампов. Штамповка является одним из самых распространенных методов производства металлических деталей для автомобилей.

Для производства автомобильных деталей методом штамповки используются различные типы прессов и пресс-форм. В зависимости от конкретных требований к детали, могут применяться гидравлические или механические прессы различной мощности. Также используются специальные пресс-формы, которые позволяют формировать детали разной сложности, от простых заготовок до сложных деталей с закругленными углами и перепадами высоты.

Штамповка позволяет производить детали автомобилей с высокой точностью и повторяемостью, что обеспечивает качество и надежность автомобиля. Она также позволяет производить детали на высокой скорости и в больших количествах, что является важным фактором в промышленном производстве автомобилей.

Штамповка может использоваться для производства множества различных деталей, не только кузовных. Некоторые из них включают в себя:

- детали подвески: например, рычаги подвески, опорные стойки, амортизаторные крепления и другие элементы, которые несут нагрузки при движении автомобиля.
- детали тормозной системы: например, тормозные диски, тормозные колодки, тормозные барабаны и другие детали, которые необходимы для правильной работы тормозной системы автомобиля.
- детали двигателя: например, корпуса насосов, корпуса фильтров, воздухозаборники, детали системы охлаждения и другие детали, которые необходимы для правильной работы двигателя.
- детали электрической системы: например, крепления для аккумуляторов, контактные группы, разъемы и другие детали, которые необходимы для правильной работы электрической системы автомобиля.
- детали салона: например, крепления для сидений, крепления для ремней безопасности, элементы панели приборов и другие детали, которые необходимы для комфорта и безопасности водителя и пассажиров.

Это только некоторые примеры деталей, которые можно изготавливать методом штамповки в автомобильной промышленности.

Процесс изготовления деталей методом штамповки может отличаться в зависимости от конкретной детали и используемого оборудования. Однако, общие этапы процесса могут быть следующими:

**Подготовка материала:** В первую очередь, производится выбор и подготовка листового металла, который будет использоваться для изготовления детали. Металл заготавливают в форме рулонов или листов и производят его раскрой на нужный размер.

**Подготовка пресс-форм:** Пресс-формы изготавливаются специально для конкретной детали. Форма состоит из двух частей: штампа и матрицы. Штамп сжимает металл, а матрица формирует его в нужную форму.

**Нагрев металла:** После подготовки материала и формы, лист металла нагревают, чтобы он стал более пластичным и легче поддавался формовке. Температура нагрева зависит от материала и может быть разной для разных типов металла.

**Формовка детали:** Нагретый лист металла помещают между штампом и матрицей, после чего пресс сжимает материал, давая ему нужную форму. Штамп и матрица должны быть точно выверены, чтобы деталь получилась с нужной формой и размером.

**Обработка детали:** После того, как деталь получила нужную форму, она может проходить дополнительную обработку, такую как шлифовка, прочистка от остатков материала и т. д.

**Контроль качества:** Конечным этапом процесса изготовления является контроль качества детали, чтобы убедиться, что она соответствует требуемым стандартам и критериям качества.

В зависимости от сложности детали и используемого оборудования, процесс изготовления может занимать от нескольких секунд до нескольких минут. В любом случае, процесс штамповки является одним из наиболее эффективных и экономически выгодных способов производства металлических деталей в автомобильной промышленности.

**Ковка** – это метод изготовления деталей из металла, при котором металл нагревается до высокой температуры и затем подвергается ударам молота, чтобы сформировать нужную форму детали. Ковка используется в автомобильной промышленности для производства широкого спектра деталей, таких как коленчатые валы, шатуны, зубчатые колеса, втулки, кулачки, рессорные листы, а также элементы подвески и трансмиссии [1].

Процесс ковки обычно включает в себя следующие этапы:

**Подготовка материала:** В качестве материала используется металлический заготовка, которая может быть выполнена как из сплавов, так и из чистых металлов. Заготовки имеют форму цилиндров, брусков или пластин.

**Нагрев материала:** Заготовку нагревают до температуры, необходимой для того, чтобы металл стал достаточно пластичным для ковки. Точная температура зависит от типа металла и размеров заготовки.

**Ковка:** Когда заготовка достигнет необходимой температуры, она помещается на наковальню, где металл обрабатывается молотом и формируется в нужную форму детали. В зависимости от размера и сложности детали, ковка может производиться в несколько этапов с использованием разных типов молотов.

**Охлаждение:** После формования деталь охлаждают, чтобы металл зафиксировал свою форму.

**Обработка детали:** После того, как деталь охладится, ее можно обработать, например, удалить излишки металла, провести термическую обработку, шлифовку и полировку.

**Контроль качества:** Конечным этапом процесса является контроль качества детали, который проводится с помощью различных методов, включая визуальный осмотр, испытания на прочность, деформации и др.

Процесс ковки требует специального оборудования и высокой квалификации рабочих. Однако, детали, изготовленные методом ковки, обладают высокой прочностью, устойчивостью к износу и долговечностью, что делает этот метод изготовления особенно привлекательным для автомобильной промышленности, где детали должны выдерживать большие нагрузки и экстремальные условия эксплуатации.

Ковка также позволяет изготавливать детали с более сложной геометрией, чем другие методы, такие как литье или штамповка. Это может быть особенно важно для деталей, которые должны соответствовать точным требованиям проектирования, например, коленчатые валы или шатуны.

Существует несколько различных методовковки, включая свободнуюковку, матричнуюковку и прессовуюковку. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки, и выбор метода зависит от конкретных требований производства деталей.

Несмотря на то, чтоковка является более затратным методом изготовления деталей, по сравнению с другими методами, такими каклитье илиштамповка, она обеспечивает более высокое качество и прочность деталей, что может привести к более длительному сроку службы автомобиля и снижению затрат на обслуживание и ремонт.

Оба процесса изготовления деталей, штамповка иковка, имеют свои преимущества и недостатки.

Штамповка позволяет изготавливать детали в большом количестве и с повторяемой точностью. Этот метод также обеспечивает более низкие затраты на изготовление деталей и меньшее количество отходов материала. Штамповка часто используется для производства кузовных деталей автомобилей, а также для других деталей, которые имеют простую форму.

Ковка, с другой стороны, обеспечивает более высокую прочность и долговечность деталей. Этот метод изготовления используется для производства деталей, которые должны выдерживать высокие нагрузки и экстремальные условия эксплуатации, например, для коленчатых валов, шатунов и других деталей двигателя. Ковка также позволяет изготавливать детали с более сложной формой, чем штамповка [2].

В общем, выбор между штамповкой иковкой зависит от конкретных требований производства деталей, таких как их форма, размер, прочность и количество. Оба метода изготовления имеют свои преимущества и могут использоваться для производства широкого спектра деталей для автомобилей и других отраслей промышленности.

#### **Список использованных источников**

1 Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pandia.ru/text/77/451/5964-4.php>. – Дата доступа: 30.03.2023.

2 Объемная штамповка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/083/463.htm>. – Дата доступа: 30.03.2023.

## Прокатный стан с возможностью изменения зазора между валками во время работы и автоматического нагрева валков

Студенты гр.10402220: Завольский М.К., Хаозе Янг, Зенько А.А.  
 Научный руководитель – Шкурдюк П.А.  
 Белорусский национальный технический университет

Прокатка – один из самых распространенных видов обработки металлов давлением. Заключается в обжатии металла между двумя, реже тремя, вращающимися в разные стороны валками. Силами трения заготовка затягивается в зазор между валками и обжимается по высоте. Различают три способа прокатки: продольную, поперечную, поперечно-винтовую. Основным способом, при помощи которого производится до 90% проката в стране, является продольная прокатка, в процессе которой металл подвергается обжатию между вращающимися в разные стороны параллельными валками. Его мы сейчас и будем изучать.

### Описание процесса

Подается полоса алюминия между вращающимися валками. Нижний валок находится в зафиксированном состоянии и не имеет возможности перемещаться по вертикали или горизонтали. Верхний же, на против имеет возможность перемещаться вдоль оси Y. Над верхним валком установлены горелки для возможности поддержания температуры валков, как изображено на рисунке 1.

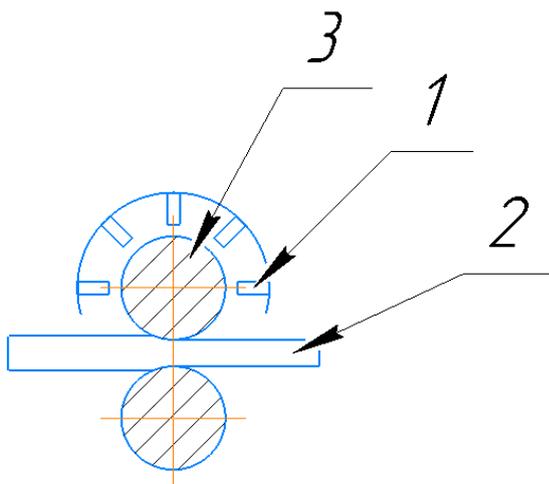


Рисунок 1 – общая схема проката и установки горелок  
 1 –горелки; 2 – заготовка; 3 – валки

Температура рекристаллизации алюминия составляет 120 °С. Температура валков на момент соприкосновения с заготовкой должна быть не меньше 200 °С. Так же в рассматриваемом оборудовании присутствует возможность изменять высоту верхнего валка для различной высоты заготовки без остановки ленты.

### Выбор валков и материала

В этой научной работе будет рассмотрен прокатный стан для чистого алюминия. Предел текучести алюминия составляет от 7 до 11 МПа. Сами валки могут быть изготовлены из Стали 55Х (0,55 % углерода, 1 % хрома). Данный металл способен выдержать нагрузку при нагреве в 200 °С.

### Устройство изменения высоты верхнего валка

Нам это необходимо для возможности изготавливать заготовки как показаны на рисунке 2.

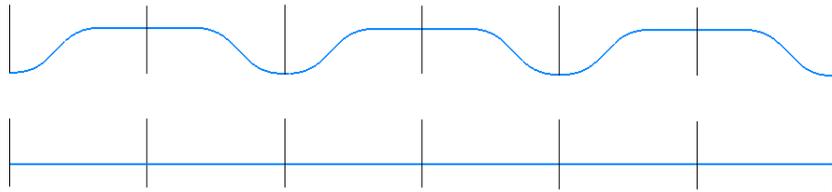


Рисунок 2 – Эскиз заготовки после прокатки

На местах отмеченных штрихпунктирной линией будут производиться разрезы, для быстрого изготовления большого количества одинаковых деталей.

## Технология инжекционного прессования

Студенты гр. 10402220: Якубчик Н.Г., Комар А.В.  
 Научный руководитель – Шкурдюк П.А.  
 Белорусский национальный технический университет

Под термином «инжекционное прессование» понимают введение термопластичного полимерного расплава в слегка открытую пресс-форму при одновременном или последующем прессовании с помощью дополнительного хода запирания (рисунок 1).

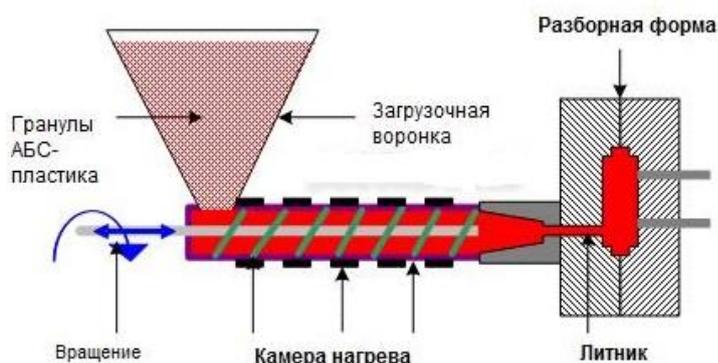


Рисунок 1 – Схема инжекционного прессования

Этот дополнительный ход может осуществляться либо с помощью термопластавтомата, либо с помощью специального пуансона. Возникающее при этом давление в пресс-форме распространяется более равномерно по проецированной поверхности изделия, в большинстве случаев с целью более точного воспроизведения геометрии поверхностей детали и выдерживания заданной точности размеров деталей. Метод инжекционного прессования – это технология с использованием низкого давления, так что такие закладные детали как, например, декоративные элементы или металлические закладные детали предохраняются от повреждений. Как раз в случае применяемых в светотехнике деталей небольшое давление впрыска и выдержка под давлением могут коренным образом снизить внутренние напряжения. Поэтому применяемый в данном случае термопластавтомат должен обладать не только высокой гибкостью, но, что более важно, очень точной воспроизводительностью движений [1].

### Преимущества:

- гибкая последовательность операций, точный пуск и регулирование блока замыкания в разных профилях и этапах;
- управляемая характеристика выдержки под давлением (для улучшения выдерживания заданной точности размеров, уменьшения усадки и коробления);
- хорошее заполнение пресс-формы – > 100% уже на этапе заполнения;
- возможное снижение давления впрыска и усилия запирания;
- правильная ориентация волокон и снижение внутренних напряжений;
- уменьшение среза материала;
- улучшение условий для выхода воздуха;
- включаемый и выключаемый узел, который можно дополнительно установить на всех стандартных термопластавтоматах [2].

Ход технологического процесса:

- запаривание пресс-формы для впрыска;
- прессование введенной массы расплава;
- впрыск термопластичного полимерного расплава;
- охлаждение и выталкивание детали из пресс-формы;

Типичные примеры применения:

- оптические элементы (например, линзы, рассеиватели прожекторов, фары, дисплеи и т. п.);
- армированные длинными волокнами формованные изделия (например, элементы дверей, антикоррозионная защита днища кузова и т.п.);
- декоративные элементы (например, профилированные декоративные детали, боковые обшивки, корпусные детали для мобильных телефонов и т.п.);
- элементы детали со структурой поверхности (например, структуры Френеля, поверхности Лотуса и т.п.);
- вспененные элементы изделия (например, изоляционные изделия, облегченные конструкции и т.п.);
- детали с проблемными зонами (например, образование усадочных раковин, и т.п.) [3].

### **Список использованных источников**

- 1 Прессование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://plastikkorpus.ru/lite-plastmass/inzhekcziionnoe-pressovanie.html>. – Дата доступа: 09.04.2023.
- 2 Инжекционно-литьевое прессование [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://mash-xxl.info/info/38956/>. – Дата доступа: 10.04.2023.
- 3 Инжекционное прессование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studbooks.net/2474308/meditsina/inzhekcziionno\\_litevoe\\_pressovanie](https://studbooks.net/2474308/meditsina/inzhekcziionno_litevoe_pressovanie). – Дата доступа: 10.04.2023.

## Ковка. Виды инструментов для ковки

Студенты гр. 10402220: Стафейчук Н В., Копейко В.Д.,  
Буримский С.В., Хань Ятао  
Научный руководитель – Шкурдюк П. А.  
Белорусский национально технический университет

Ковка металла – это процесс деформации, при котором металлическая заготовка сжимается между двумя штампами, образуя деталь.

### Характеристики ковки металла

Кованые детали обладают хорошей прочностью и ударной вязкостью и используются в ответственных деталях из-за их надежности для высоконагруженных и критических применений.

Ковка обычно дает мало или вообще не дает брака, поэтому сравнительно дешевле для средних и крупных производственных партий.

В процессе ковки можно быстро создать окончательную геометрию детали, обычно за один или несколько ударов молотка.

### Преимущества и недостатки ковки металла

#### Преимущества ковки металла:

- по сравнению с литьем ковка дает более прочный продукт;
- кузнечные изделия обладают большей усталостной прочностью и сопротивлением ползучести;
- операция недорогая;
- эта процедура не требует привлечения квалифицированного оператора;
- этот метод может производить широкий спектр форм.

#### Недостатки ковки металла:

- более высокие затраты на оборудование для больших ковочных прессов являются дорогостоящими по сравнению с другими производственными процессами;
- может потребоваться дополнительная процедура финишной обработки;
- он не способен создавать сложные формы;
- размер поковки ограничен размерами пресса;
- хрупкий металл не поддается ковке.

### Горячая ковка и холодная ковка

Холодная ковка сжимает металл при температуре окружающей среды, тогда как горячая ковка требует высокого уровня нагрева. Холодная и горячая ковка отличаются интенсивным нагревом горячей ковки, что позволяет металлу принимать более сложные и сложные формы, чем при холодной ковке.

#### Горячая ковка

Температура горячей штамповки варьируется в зависимости от типа металла. Процесс горячей ковки начинается с нагрева штампов, чтобы избежать потери температуры на протяжении всей операции и гарантировать, что кристаллизация не произойдет до завершения формовки. Металл становится более пластичным при нагревании. Когда горячий металл сжимается штампами, структура меняется на более мелкозернистую, что увеличивает предел текучести и пластичность.

#### Холодная ковка

Требуемую форму материалу придают методом вытеснения при холодной ковке. Сжимающая сила удерживает металл между пуансоном и матрицей при нормальной температуре до тех пор, пока он не примет нужную форму. Прокатка, прессование, волочение, вращение, выдавливание – все это примеры методов холодной ковки.

### Ковка в открытых штампах

Важным промышленным методом является горячая ковка в открытых штампах. Валы, диски и кольца являются примерами основных форм, производимых процессами с открытой матрицей. Матрицы со слегка изогнутыми поверхностями помогают формировать работу в различных приложениях. Кроме того, работу необходимо часто корректировать (например, поэтапно поворачивать), чтобы добиться соответствующего изменения формы. Навыки человека-оператора являются важным аспектом успеха этих процедур. Ковка в открытых штампах дает грубые формы, которые должны быть усовершенствованы с помощью последовательных процессов, чтобы получить окончательную геометрию и размеры [1].

#### Ковочное оборудование

Ковочные станки делят на группы по нескольким признакам:

- по способу деформирования (простого или двойного действия);
- по типу конструкции (одностоечные/двухстоечные);
- по траектории движения бойка (вертикальные/горизонтальные);
- по виду носителя энергии (работающие на основе механических элементов, газа, пара, сжатого воздуха, жидкости под давлением).

#### Механический молот

Станки на механическом приводе имеют низкий КПД, небольшие габариты и простое устройство. Кривошипно-шатунный механизм толкает поршень, ударяющий по поковке. Маховик может быть соединен со встроенным электродвигателем. Старые агрегаты работали от ножной педали или рукоятки. Машины с электродвигателями используют на малых производствах, в частных мастерских.

#### Пневматический молот

Основной принцип работы пневмомолота: привод работает под действием воздушных масс, заполняющих цилиндр. Поршень компрессора движется, воздух сжимается и разжимается. Поршневой механизм запускается электродвигателем.

Машины на «пневматике» делятся на производственные и художественные агрегаты. На пневмомолоте можно выполнить все работы, производимые на механическом станке, а также формование, скручивание, резку. Он подходит дляковки малогабаритных деталей, так как вес его ударных частей легче, чем у «механики».

#### Гидравлический молот

Кузнечный гидромолот используют для горячей штамповки листов, обработки холодных деталей из титана. Основные детали гидромолота – это шабот и стойки с направляющими элементами для ударника. К стойкам прикреплен гидроприводный насос с цилиндром. Штоки с маслом соединяются с насосами обратным клапаном. Механизм управляется тремя гидрораспределителями. Первый распределитель соединяет насос и клапан. Второй распределитель переключает полости штока. Гидравлический молот дляковки работает медленнее, чем другие механизмы из-за разницы в плотности жидкости и масла [2].

### Список используемых источников

- 1 Ковка и объемная штамповка. Основные операции и технологии [Электронный доступ]. – Режим доступа: <https://www.chipmaker.ru/files/file/14197>. – Дата доступа: 11.04.2023.
- 2 Семенов, Т. И. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка / Т. И. Семенов. – М.: 2010. – 461с.

## Методика контроля размеров штамповочных изделий методом технического зрения

Студентка гр.10402221 Василевская Е.Д.  
Научный руководитель – Костюченко Ю.А.  
Белорусский национальный технический университет

В серийном и массовом производстве развитие листоштамповочного производства характеризуется совершенствованием и развитием методов, обеспечивающих повышенную точность и производительность, важным фактором является контроль размеров получаемых изделий и заготовкой [1]. По причине того, что подобные типы производства характеризуются большой номенклатурой выпускаемых деталей и большим ими объёмами выпуска, контроль качества и размеров изделий является приоритетной задачей, так как позволяет снизить количество бракованных изделий. Для решения подобных задач могут быть использованы и системы технического зрения, считающиеся перспективным направлением автоматизации процессов листовой штамповки благодаря своей универсальности.

Для осуществления контроля размеров изделий могут быть использованы оптические системы компьютерного зрения, которые обеспечивают возможность для контроля размеров изделий, по 11–14 квалитетам, а при условии использования камер с высокой разрешающей способностью – по 6–9 квалитетам точности, что соответствует деталям, получаемым листовой штамповкой в условиях нормальной и повышенной точности.

Методика контроля размеров штампованных изделий сводится к использованию камеры, программного обеспечения, разработанного с учётом поставленных задач по контролю размеров, а также компьютера, обеспечивающего обработку информации [2].

В процессе контроля, информация об объекте поступает с камеры в компьютер, где в зависимости от контролируемых параметров, проходит определённую обработку при помощи программного обеспечения. В зависимости от установленных предельных отклонений размеров, объект контроля либо признаётся годным, либо подпадает под категорию брака. Информация обрабатывается в полностью автоматическом режиме, и в зависимости от требуемых последующих действий, может доводиться до оператора посредством визуального оповещения, либо запускать определённые действия, обеспечивающие отсев бракованных изделий от тех, размеры которых соответствуют установленному пределу точности.

### Список используемых источников

1 Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Технология листовой штамповки» для специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by/handle/data/112146>. – Дата доступа: 13.03.2023.

2 Костюченко, Ю. А. Методика контроля размеров штампованных деталей методом технического зрения / Ю. А. Костюченко, А. Н. Боярчук, И. Л. Кулинич // Современные технологии для заготовительного производства [Электронный ресурс]: сборник научных работ Республиканской научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов МТФ БНТУ (проводится в рамках 75-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ), 14 апреля 2022 года / сост.: А. П. Бежок, И. А. Иванов. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 84–85.

Студент гр.10402221 Лыщик Е.Н.

Научный руководитель – Костюченко Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

Искажение формы штампованных изделий при разделительных и формоизменяющих операциях является одним из наиболее распространённых видов брака в листовой штамповке. При разделительных операциях наиболее частой формой брака, является неполная вырубка контура получаемого изделия, смещение осей пробиваемых отверстий и перерезание боковых кромок. При формоизменяющих операциях, наиболее частыми видами брака являются невыдержанные размеры отгибаемых полок (операции, связанные с гибкой), образование складок и гофров, а также нарушение цилиндричности (операции, связанные с вытяжкой) [1].

Поскольку снижение количества бракованных изделий является одним из основных направлений развития листовой штамповки, комплексная автоматизация, в том числе и контроль формы штампованных изделий, является приоритетной направленностью [2].

Современные методы контроля формы штампованных изделий сводятся к использованию систем технического зрения. Обработка информации об объектах может производиться в реальном времени при помощи камеры, специального программного обеспечения, а также компьютерной системы.

Методика контроля формы штампованных изделий сводится к тому, что информация об объекте контроля снимается при помощи камеры, после чего осуществляется обработка данных. Информация обрабатывается при помощи специальных фильтров и алгоритмов, которые позволяют осуществлять контроль формы любых штампованных изделий, получаемых как разделительными, так и формоизменяющими операциями. После обработки данных, сведения о годности или же о выявлении брака передаётся непосредственно оператору, или же может передаваться в виде подпрограмм на средства автоматизации, позволяющие отсеивать бракованные изделия от общей партии деталей или полуфабрикатов. Определение годности осуществляется как по отдельным элементам объекта контроля, так и по общим параметрам, после чего происходит сравнение формы с параметрами изделия, считающегося образцовым [3].

Подобная методика является гибкой и универсальной, обеспечивая возможность для работы с различными типами деталей, при минимальных затратах времени на составление программы обработки и её отладку.

#### **Список используемых источников**

1 Северденко, В. П. Брак в листовой штамповке / В. П. Северденко, П. С. Овчинников, С. Э. Розенберг. – Минск: Наука и техника, 1973. – 166 с.

2 Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Технология листовой штамповки» для специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by/handle/data/112146>. – Дата доступа: 13.03.2023.

3 Петрович, Ю. В. Методика контроля качества поверхности заготовок на наличие дефектов методом технического зрения / Ю. В. Петрович, А. В. Радионов ; науч. рук. Ю. А. Костюченко // Новые материалы и технологии их обработки [Электронный ресурс] : сборник научных работ XXIII Республиканской студенческой научно-технической конференции, 21–22 апреля 2022 года / сост.: А. П. Бежок, И. А. Иванов. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 140–141.

## Виды химико-термической обработки для обработки материалов давлением

Студент гр.10402221 Яцукевич В.А.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

В современном производстве термическая обработка (ТО) – процесс изменения микроструктуры и свойств материалов путем их нагрева до определенной температуры и последующего охлаждения. Она может включать в себя различные виды обработки, такие как отжиг, нормализацию, закалку и отпуск. Каждый вид ТО имеет свои особенности и применяется для достижения определенных свойств и характеристик материалов, включая улучшение их механических свойств, устойчивости к коррозии, твердости и т.д.

Химико-термическая обработка (ХТО) является важным процессом для улучшения свойств материалов давлением, таких как стали и других металлических сплавов. Этот процесс включает в себя использование термической и химической обработки материала с целью изменения его свойств. В зависимости от типа материала и желаемого результата, могут применяться различные виды ХТО:

1) Цементация является процессом добавления углерода к поверхности материала, чтобы улучшить его прочность и износостойкость. В этом процессе материал нагревается до температуры, при которой углерод начинает растворяться в металле. Затем материал охлаждается, и углерод выделяется в виде цемента на поверхности материала. Этот процесс обычно применяется для сталей и других металлических сплавов.

2) Нитрирование является процессом внедрения атомов азота в поверхностный слой материала, чтобы повысить его твердость, износостойкость и коррозионную стойкость. В этом процессе материал нагревается в атмосфере азота, где атомы азота реагируют с металлом, образуя нитриды. Этот процесс обычно применяется для сталей и других металлических сплавов.

3) Карбонитрирование является комбинированным процессом, который включает в себя цементацию и нитрирование. В этом процессе материал нагревается в атмосфере, содержащей как азот, так и углерод. В результате на поверхности материала образуются нитриды и карбиды, что улучшает его прочность и износостойкость. Этот процесс может применяться для улучшения свойств сталей и других металлических сплавов [1].

Процессы химико-термической обработки применяются в различных отраслях промышленности, включая металлургию, электронику, микроэлектронику, авиационную и космическую промышленность, а также в производстве керамики и стекла. Некоторые из основных применений включают:

1) Твердая фаза поверхностной обработки: этот процесс используется для улучшения механических свойств материалов путем поверхностного закаления. Он может быть применен к многим металлическим материалам, включая стали, сплавы титана и алюминия.

2) Химическое осаждение: этот процесс используется для создания тонких пленок материала на поверхности другого материала. Он может быть применен в производстве электронных компонентов, например, для создания проводящих и непроводящих пленок.

3) Нанесение покрытий: этот процесс используется для создания защитных покрытий на поверхности материалов. Он может быть применен для защиты металлов от коррозии или для придания им дополнительных свойств, таких как снижение трения или улучшение адгезии.

Процессы синтеризации

Синтеризация – это процесс нагрева материала до точки плавления, при которой он начинает слипаться вместе, чтобы создать более крупные структуры. Этот процесс может быть применен в производстве керамики и стекла, а также для создания сплавов и порошковых металлических материалов [2].

#### **Список использованных источников**

1 Heattreatment [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://inlnk.ru/ZZNZdR>. – Дата доступа: 19.03.2023.

2 [Pereosnastka](https://inlnk.ru/PmAm90) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://inlnk.ru/PmAm90>. – Дата доступа: 20.03.2023.

Студент гр.10402221 Багнюк Н.А.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Магнитно-импульсная штамповка (МИШ) – это технология формовки металлических изделий, основанная на применении сильных магнитных полей и высокоскоростных импульсов тока.

Процесс МИШ начинается с загрузки металлической заготовки в форму, где она находится между двумя электродами. Затем на электроды подается высокоскоростной импульс тока, который создает сильное магнитное поле вокруг электродов. Это поле, в свою очередь, создает в материале магнитное напряжение, которое формирует его в соответствии с контурами электродов [1].

Преимущества МИШ включают высокую точность формовки, возможность формирования сложных геометрических форм, а также возможность обработки материалов с высокой твердостью, что делает эту технологию особенно привлекательной для производства деталей для автомобилей, электроники и других отраслей промышленности. Однако, МИШ является достаточно дорогостоящей технологией, поэтому её применение ограничено производством малых и средних партий деталей.

Магнитно-импульсная штамповка (МИШ) применяется в различных отраслях промышленности, где требуется точное формование металлических изделий сложной геометрии.

Одним из основных применений МИШ является производство деталей для автомобилей. Эта технология используется для производства различных элементов кузова, таких как двери, крылья, капоты, а также для изготовления различных компонентов двигателя, например, поршней. МИШ также применяется в электронной промышленности для производства различных деталей, таких как корпуса различных устройств, радиаторы и т.д. Также МИШ может использоваться для изготовления металлических деталей в других отраслях, таких как авиационная и космическая промышленность, медицинская техника и т.д. [2].

Магнитно-импульсная штамповка (МИШ) используется на различных предприятиях во всем мире. Некоторые из компаний, которые применяют эту технологию, включают в себя:

Magnetto Automotive – компания, специализирующаяся на производстве деталей для автомобилей и применяющая МИШ для изготовления поршней, клапанов и других компонентов двигателя.

OBE Germany – компания, производящая различные виды электроники и применяющая МИШ для изготовления корпусов различных устройств.

GKN Aerospace – компания, занимающаяся производством деталей для авиационной и космической промышленности, включая компоненты двигателей, системы топливоподачи и другие детали, изготовленные с помощью МИШ.

Sumitomo Electric Hardmetal – компания, производящая режущие инструменты и материалы для обработки металла, включая инструменты, изготовленные с помощью МИШ.

Hitachi Metals – компания, производящая различные металлические компоненты, включая компоненты для электронных устройств и медицинского оборудования, изготовленные с помощью МИШ.

Это только некоторые из компаний, которые применяют МИШ в своих производственных процессах. В целом, эта технология широко применяется в различных отраслях промышленности.

В странах СНГ магнитно-импульсная штамповка (МИШ) также используется на ряде предприятий. Некоторые из компаний, которые применяют МИШ в России и других странах СНГ, включают в себя:

ОАО «АвтоВАЗ» – крупнейший производитель автомобилей в России, который применяет МИШ для изготовления поршней и других деталей двигателя.

ОАО «ГАЗ» – производитель автомобилей и автобусов в России, который также использует МИШ для производства различных компонентов двигателя.

ООО «КСМ Сибирь» – компания, специализирующаяся на производстве деталей из металла для медицинского и промышленного оборудования, которая применяет МИШ для изготовления сложных геометрических форм.

ООО «ТехноБионикс» – компания, производящая металлические детали для электроники, медицинского оборудования и других отраслей, которая также использует МИШ в своих производственных процессах.

ОАО «ВМЗ» – металлургический комбинат в России, который применяет МИШ для производства различных металлических изделий для промышленности и энергетики.

В Беларуси также есть несколько предприятий, которые применяют магнитно-импульсную штамповку (МИШ) для производства металлических изделий. Некоторые из таких предприятий включают в себя:

ОАО «БелАЗ» – крупнейший производитель грузовых автомобилей и оборудования для горнодобывающей промышленности в СНГ, который использует МИШ для производства различных металлических деталей.

ОАО «Могилевхиммаш» – производитель химического и нефтехимического оборудования, который также применяет МИШ для изготовления различных металлических деталей.

ОАО «Минский механический завод» – производитель различного оборудования, включая металлообрабатывающее, которое использует МИШ для производства сложных металлических изделий.

ОАО «Белштамп» – производитель металлических деталей, включая детали для автомобилей, который также применяет МИШ для изготовления своей продукции.

Это только некоторые из предприятий в Беларуси, которые применяют магнитно-импульсную штамповку в своих производственных процессах. В целом, МИШ является технологией с высокой точностью и возможностью формирования сложных геометрических форм, поэтому она широко применяется в различных отраслях промышленности, включая производство автомобилей, электроники, медицинского оборудования, а также в горнодобывающей и энергетической отраслях.

Кроме того, в Беларуси также есть компании, которые предоставляют услуги по магнитно-импульсной штамповке, например, ООО «Техмет» и ООО «Валмет». Эти компании могут выполнять заказы на производство металлических деталей для различных отраслей промышленности на основе МИШ.

В целом, МИШ является достаточно дорогостоящей технологией, но она обеспечивает высокую точность формовки, возможность формирования сложных геометрических форм и возможность обработки материалов с высокой твердостью, что делает эту технологию особенно привлекательной для производства деталей высокого качества.

Магнитно-импульсная штамповка (МИШ) – это технология формовки металлических изделий, которая имеет ряд существенных преимуществ. Ниже приведены основные выводы о том, чем хороша МИШ:

1) Высокая точность формовки. МИШ обеспечивает очень высокую точность формовки металлических изделий, что позволяет получать изделия с высокой точностью по размерам и форме.

2) Возможность формирования сложных геометрических форм. Благодаря использованию сильных магнитных полей и высокоскоростных импульсов тока, МИШ позволяет формировать металлические изделия сложной геометрии, которые трудно или невозможно получить другими методами.

3) Обработка материалов с высокой твердостью. МИШ позволяет обрабатывать материалы с высокой твердостью, что расширяет возможности производства деталей для различных отраслей промышленности.

4) Высокая производительность. МИШ является быстрой технологией, которая позволяет получать металлические изделия в кратчайшие сроки.

5) Экономическая эффективность для производства малых и средних партий деталей. В отличие от других технологий, МИШ позволяет эффективно производить малые и средние партии деталей с высокой точностью и качеством [3].

### **Список использованной литературы**

1 Технология магнитно-импульсной обработки материалов / В. А. Глущенко [и др.]. – Самара: Издательский дом «Федоров», 2014. – 208 с.

2 Магнитно-импульсная обработка материалов / А. Б. Прокофьев [и др.]. – Самара: АНО «Издательство СНЦ», 2019. – 140 с.

3 Энциклопедия по машиностроению XXL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mash-xxl.info/info/258949/>. – Дата доступа: 18.04.2023.

**Технологический процесс мелкой прокатки**

Студент гр. 10402221: Петрович Д.А., Германович М.С.  
Научный руководитель – Томило В.А.  
Белорусский национальный технический университет

Технологический процесс прокатки представляет собой комплекс последовательных термомеханических операций, выполняемых на соответствующем оборудовании стана для получения полупродукта или готовой продукции.

Мелкая прокатка – это процесс прокатки металлических изделий с толщиной до нескольких миллиметров и шириной не более 1500 мм. Этот процесс осуществляется на специальных станах, которые могут быть как непрерывными, так и циклическими. Технические процессы мелкой прокатки включают в себя ряд этапов, которые мы рассмотрим ниже.

**Подготовка материала.** Материал, который будет прокатываться, должен быть тщательно подготовлен. Обычно его очищают от загрязнений, а также прогревают, чтобы улучшить его пластические свойства.

**Настройка оборудования.** Перед началом процесса необходимо настроить прокатный стан на определенную толщину и ширину прокатываемой ленты, а также на определенную скорость и температуру [1].

Разогрев заготовки подвергаются разогреву перед процессом мелкой прокатки. Это делается для уменьшения силы необходимой для прокатки, а также для снижения вероятности трещин и деформаций при прокатке. Разогрев производится с помощью газовых горелок или электрических нагревательных элементов.

**Прокатка** – это основной процесс мелкой прокатки. Во время прокатки заготовки проходят через ряд прокатных валков, которые сжимают металл и уменьшают его сечение. Количество валков и степень их сжатия зависят от конкретного вида металлического изделия, которое производится. Во время прокатки также осуществляется регулировка температуры металла и скорости движения заготовок.

После прокатки материал необходимо охладить до комнатной температуры, чтобы избежать его деформации.

**Резка и упаковка.** После охлаждения лента режется на нужные размеры и укладывается в упаковку для дальнейшей транспортировки.

Важным аспектом технических процессов мелкой прокатки является контроль качества продукции на каждом этапе процесса. Для этого используются различные методы, такие как визуальный контроль, измерение размеров и толщин, испытание на прочность и т.д.

Кроме того, для повышения производительности и качества продукции используются различные инновационные технологии, такие как применение сплавов с новыми свойствами, автоматизация процесса контроля качества и т.д. [2].

Технические процессы мелкой прокатки используются в различных отраслях промышленности, где необходимо производить листовые металлические изделия с толщиной до нескольких миллиметров и шириной не более 1500 мм. Некоторые из отраслей, где используются технические процессы мелкой прокатки, включают:

- автомобильная промышленность (мелкая прокатка используется для производства кузовных деталей, обшивок и других компонентов автомобилей);
- строительная промышленность;
- машиностроение;
- легкая промышленность;
- электротехническая промышленность.

Преимущества технических процессов мелкой прокатки:

- 1) Высокая производительность. Процессы мелкой прокатки позволяют быстро производить большие объемы металлических листов.
- 2) Высокая точность. Технические процессы мелкой прокатки обеспечивают точные размеры и форму металлических листов.
- 3) Широкий ассортимент. Процессы мелкой прокатки могут производить металлические листы различных толщин и ширины.
- 4) Высокое качество поверхности. Металлические листы, получаемые в результате мелкой прокатки, имеют гладкую поверхность с минимальными дефектами.
- 5) Экономия материалов. Процессы мелкой прокатки позволяют использовать меньшее количество сырья, чем другие методы обработки металла.

Недостатки технических процессов мелкой прокатки:

- 1) Высокая стоимость оборудования. Установка оборудования для мелкой прокатки требует значительных финансовых вложений.
- 2) Высокая стоимость производства. Процессы мелкой прокатки обладают высокими затратами на энергию, что приводит к повышенным затратам на производство.
- 3) Ограничения в размерах. Процессы мелкой прокатки ограничены в размерах, поэтому нельзя производить металлические листы большого размера.
- 4) Ограниченная обработка материалов. Некоторые материалы могут оказаться непригодными для обработки методом мелкой прокатки из-за их особенностей структуры.
- 5) Технические процессы мелкой прокатки обладают рядом преимуществ и недостатков, которые необходимо учитывать при выборе метода обработки металла для конкретных производственных задач [3].

Таким образом, технические процессы мелкой прокатки широко используются в различных отраслях промышленности для производства различных металлических изделий.

#### **Список использованных источников**

- 1 Конструкторско-технологическое обеспечение производства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/111612/Konstruktorsko\\_tekhnologicheskoe.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/111612/Konstruktorsko_tekhnologicheskoe.pdf?sequence=1&isAllowed=y). – Дата доступа: 28.03.2023.
- 2 Прокатное производство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/093/228.htm>. – Дата доступа: 28.03.2023.
- 3 Схемы технологического процесса прокатки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://metallolome.ru/shemy-tehnologicheskogo-procnessa-pro/>. – Дата доступа: 28.03.2023.

# **Материаловедение в машиностроении**

## Коррозия и методы борьбы с ней

Студент группы 10405521 Спиридович А.А.

Научный руководитель - Корнеева Е.К.

Белорусский национальный технический университет

В современном мире коррозия является одной из наиболее распространенных и серьезных проблем в области материаловедения и инженерии. Коррозия проявляется в форме разрушения материала из-за его взаимодействия с окружающей средой и может привести к серьезным последствиям, включая снижение прочности и долговечности материала, а также повышение риска аварий.

Коррозия – самопроизвольное разрушение металлов и сплавов в результате химического, электрохимического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой. Разрушение по физическим причинам не является коррозией, а характеризуется понятиями «эрозия», «истирание», «износ». В повседневной жизни для сплавов железа (сталей) чаще используют термин «ржавление» – коррозия железа и его сплавов с образованием продуктов коррозии, состоящих из гидратированных остатков железа.

На неметаллические материалы определение коррозии не распространяется. Применительно к полимерам существует понятие «старение», аналогичное термину «коррозия» для металлов. Например, старение резины из-за взаимодействия с кислородом воздуха или разрушение некоторых пластиков под воздействием атмосферных осадков, а также биологическая коррозия.

Причиной коррозии служит термодинамическая неустойчивость конструкционных материалов к воздействию веществ, находящихся в контактирующей с ними среде. Коррозия может проявляться в различных формах (рисунок 1), таких как пятна, пузырьки, трещины и т. д. Она может вызываться различными факторами, такими как влага, кислоты, щелочи, газы и многие другие. Процесс коррозии может быть очень медленным, но может также происходить очень быстро и быстро разрушить материал.



Рисунок 1 – Примеры коррозия металлов

Существует множество методов борьбы с коррозией. Одним из наиболее эффективных методов является использование защитных покрытий. Эти покрытия могут быть нанесены на поверхность материала и предотвращать контакт с окружающей средой. Примерами защитных покрытий являются краски, эмали, лаки, покрытия из пластмассы и многие другие.

Еще одним методом борьбы с коррозией является использование антикоррозионных покрытий. Эти покрытия могут быть нанесены на поверхность материала и содержат специальные вещества, которые помогают предотвратить коррозию. Они также могут содержать вещества, которые помогают замедлить процесс коррозии, если он уже начался.

Другим методом борьбы с коррозией является использование специальных материалов. Эти материалы могут иметь особенности структуры, которые позволяют им быть более устойчивыми к коррозии, или они могут содержать специальные добавки, которые помогают предотвратить коррозию. Примерами таких материалов являются нержавеющая сталь, титан и многие другие.

Кроме того, в качестве методов защиты от коррозии применяются такие способы, как электрохимическая защита, антикоррозионная обработка металла (покрытия) и использование специальных ингибиторов коррозии

Электрохимическая защита заключается в применении устройств, которые создают электрический ток, чтобы защитить металлические поверхности от коррозии. Электрохимическая защита может быть катодной или анодной. Катодная защита от коррозии, основана на том, что металл, на который направляется электрический ток, становится катодом в электрохимической реакции. Это делает его менее склонным к коррозии. Анодная защита заключается в том, что металлический предмет, который нужно защитить, становится анодом в электрохимической реакции, что приводит к тому, что его коррозия ускоряется, но защищает другие металлические предметы вблизи.

Покрытия представляют собой тонкие слои материала, которые наносятся на металлическую поверхность, чтобы предотвратить контакт металла с окружающей средой. Покрытия могут быть органическими или неорганическими. Неорганические покрытия включают в себя металлические покрытия, такие как цинк и хром, а также керамические и стеклянные покрытия. Органические покрытия, такие как краски и лаки, содержат органические полимеры, которые создают защитную пленку на поверхности металла.

Ингибиторы коррозии – это специальные вещества, которые приостанавливают (задерживают) процесс химических и физических реакций. Ингибиторы коррозии занимают особое место в ряду таких веществ. К ингибиторам относят средства, которые образуют на поверхности металла особую защитную пленку, которые получаются в процессе реакции раствора ингибитора и продуктов коррозии. Появление соединений, которые замедляют коррозионные процессы, стало прорывом.

На данный момент, большинство способов защиты – это защита с помощью ингибиторов. В этом качестве наиболее популярны, такие вещества как амины, азотсодержащие вещества, мочевины, сульфиды, альдегиды и др. Эффективность защитных процессов с участием ингибиторов, напрямую зависит от металла, особенностей внешней среды, давления на материал и т. п. Стоит отметить, что работает ингибиторная защита от коррозии не постоянно: попадая в раствор, добавка постепенно растворяется, поэтому в будущем необходимо добавлять его в агрессивную среду небольшими порциями.

Коррозия является серьезной проблемой в различных отраслях промышленности и строительства, которую необходимо решать с помощью комплексного подхода и использования различных методов борьбы с ней.

#### **Список использованных источников**

1. Коррозия металлов [Электронный ресурс] / Задачи по химии. – Режим доступа: <http://zadachi-po-khimii.ru>. – Дата доступа: 14. 04. 2023.

### Особенности деформации брони линкора типа «Bismarck»

Студентка группы 10405520 Змачинская И.А.

Научный руководитель - Корнеева Е.К.

Белорусский национальный технический университет

Типы брони, используемые на *линкоре типа «Bismarck»*, были аналогичны тем, что используются на современных военных кораблях, но с некоторыми уникальными особенностями.

Броня, использовавшаяся для горизонтальной защиты (бронированных палуб и крыш башни или боевой рубки) и для вертикальной защиты толщиной от 1-4 дюймов, была изготовлена из цементированной стали концерта Krupp, содержащей 0,34 % углерода, 3,78 % никеля, 0,31 % марганца и 2,06 % хрома. Она имела две классификации: «Ww» для мягкого и «Wh» для жесткого.

В «Wh» использовалось некоторое количество молибдена для улучшения производственных результатов и была немного более жесткой, т. е. устойчивой к растрескиванию.

Однородная броня обычно остается мягкой и пластичной, при этом закалка поддерживается максимально возможной с ограничениями так, что броня не доходит до того, чтобы треснуть до попадания снаряда. Если снаряд все равно проникнет, то броня остается цельной и от нее выбрасывается как можно меньше осколков (если имеет место пробоина). На рисунке 1 представлена схема пробития. Так что для крупных повреждений пластины необходимо полное пробитие самого снаряда.

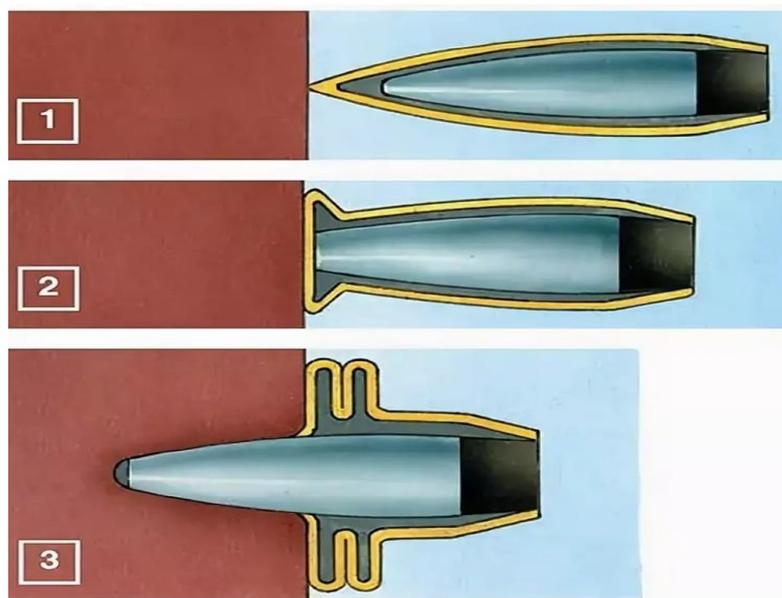


Рисунок 1 – Схема пробития преграды: 1) момент встречи с преградой;  
 2) оболочка останавливается, деформируется и вплотную подходит к преграде;  
 3) сердечник проникает в преграду

Эта форма брони использует свою прочность, чтобы оставаться целой и продолжать сопротивляться снаряду в течение максимально возможного времени, поскольку снаряд заставляет пластину изгибаться и растягиваться и, наконец, полностью разрывает.

Чем толще поверхность, тем больше эффектов масштабирования (увеличение и пластины, и снаряда, но сохранение других свойств одинаковыми) оказывалось на пластину, и тем слабее сопротивление более крупным снарядам, хотя и толще.

Металлы обладают очень хорошей баллистической эффективностью, но их недостатком является высокая плотность. Удар может быть определен как большая сила или сотрясение, применяемые в течение короткого периода времени при столкновении двух или более тел. Эффект зависит от относительной скорости тел относительно друг друга. Когда броневая плита подвергается баллистическому удару, кинетическая энергия снаряда передается пластине и поглощается, тем самым преобразуя кинетическую энергию в энергию деформации. Следовательно, деформация происходит в зоне воздействия пластины. Если пластина поглощает больше энергии, происходит большая деформация материала. Поскольку баллистический удар является высокодинамичным процессом, деформация сильно концентрируется вокруг точки удара, что означает, что эффективный объем деформации намного меньше общего объема пластины. Однако снаряд проникает или проходит насквозь пластины, если кинетическая энергия превышает способность поглощения энергии материалом.

Существует два основных механизма, которые могут вызвать разрушение пластичного металла: пластическое разрушение из-за образования зародышей, роста и слияния пустот; разрушение при сдвиге из-за локализованных полос сдвига.

При комбинировании брони с конструкционными огнезащитными материалами, даже если они очень прочны при комнатной температуре, необходимо учитывать стойкость огнезащитных материалов после или во время воздействия огня или тепла, так как такие деформации могут воздействовать на огнезащитный материал путем дробления, разрыва или расшатывания структуры материала. Сталь сначала расширяется при нагреве, а затем быстро теряет свою твердость. Это означает, что бронированная сталь или конструкционная сталь без огнезащитного покрытия разрываются, особенно при воздействии тепла, а также больше не обеспечивают защиту от снарядов, поскольку защита размягчается в течение нескольких минут в огне, слишком сильно, чтобы функционировать.

Подводя итоги, броня у линкора типа «Bismarck» была надежной и усовершенствованной. Однако, нет смысла делать одну часть корабля неуязвимой, как была сделана наклонная броневая палуба к нижней части корпуса от артиллерийских снарядов, когда не менее важные части корабля, такие как рули и главные наводки вооружения, все равно будут уничтожены из-за плохой защиты.

#### Список использованных источников

1. Кобылкин, И. Ф. Материалы и структуры легкой бронезащиты : учебник / И. Ф. Кобылкин, В. В. Селиванов. – Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 191 с.
2. Петрова, Л. Г., Механические свойства металлов. Пластическая деформация и рекристаллизация: Методическое пособие к мультимедийному учебному изданию / О. В. Чудина, А. В. Остроух, Л. Г. Петрова. – М. : МАДИ(ГТУ), 2007. – 47 с.
3. Damiński, S. The battleship Bismarck : Anatomy of the ship. / S. Damiński. – Great Britain: Osprey publishing, 2018. – p. 330-336.
4. Brower, J. The battleship Bismarck : Anatomy of the ship / J. Brower – Great Britain: Conway Maritime Press, 2005. – 165 p.
5. Marciniak, Z. Mechanics of Sheet Metal Forming / Z. Marciniak, J. Duncan, S. J. Hu. – Boston: Butterworth-Heinemann, 2002. – 211 p.
6. Reed-Hill, R. E. Physical Metallurgy Principles / R. E. Reed-Hill. – NY: D. Van Nostrand Company, 1973. – 2 edition. – p. 219-305.
7. Reed-Hill, R. E. Physical Metallurgy Principles / R. E. Reed-Hill, R. Abbaschian, L. Abbaschian. – U. S. : Cengage Learning, 2009. – 4th edition. – 759 p.

## Моделирование и анализ свойств материалов методами компьютерного материаловедения

Студент группы 10405521 Карачун А.С.  
Научный руководитель - Корнеева Е.К.  
Белорусский национальный технический университет

Материалы являются основой всех изделий, которые мы используем в повседневной жизни. Они могут иметь различные свойства в зависимости от их состава, структуры и температуры. В области материаловедения ключевыми задачами являются моделирование свойств материалов с помощью компьютерных программ и анализ структуры и свойств материалов с использованием различных методов. Эти задачи позволяют исследовать поведение материалов в различных условиях и разрабатывать новые материалы с желаемыми свойствами, а также улучшать уже существующие материалы и создавать более качественные и надежные изделия в различных отраслях промышленности.

В данной работе мы рассмотрели, как моделирование и анализ свойств материалов помогают создавать качественные изделия и какие методы используются для этого.

Один из методов – компьютерное материаловедение. Компьютерное материаловедение стало самостоятельным разделом общего материаловедения, неотъемлемой частью технологии и инженерии новых материалов. Поскольку материал как макроскопическая система представляет собой сложную иерархическую конфигурацию подсистем, обычно невозможно в рамках одной модели учесть все детали каждой подсистемы. В связи с этим модели также строят по принципу иерархии, подразделяя их в соответствии с масштабным фактором на модели макро-, мезо-, микро-, нано - и электронного уровней. Каждая модель более высокого масштабного уровня учитывает свойства более глубоких подсистем обобщенно, в интегральной форме.

Модели самого глубокого уровня (электронного) являются первопринципными, поскольку связаны с решением фундаментальных уравнений квантовой механики. В моделях наноуровня, или атомистических, рассматриваются взаимодействия отдельных атомов по законам классической механики. Для моделей более высоких масштабных уровней «строительные кирпичики» – это соответственно элементы микро-, мезо- и макроструктуры.

Первопринципные модели в расчете на одну частицу требуют наиболее трудоемких вычислений, поэтому даже на современных суперкомпьютерах не удается просчитать из первых принципов системы, содержащие более десятков-сотен атомов. Атомистические модели более высоких масштабных уровней сталкиваются с ограниченными возможностями компьютерной техники, когда число частиц слишком велико или необходимы слишком длительные итерационные процедуры. Таким образом, компьютерное моделирование применяется на том или ином иерархическом уровне в соответствии с поставленными задачами и возможностями компьютерной техники. На рисунке 1 представлен пример мультимасштабного моделирования процесса зарождения и развития трещины [1].

Моделирование свойств материалов – это процесс, в котором используются компьютерные программы для создания математических моделей материалов и определения их свойств. Это позволяет исследовать поведение материалов в различных условиях и определить, как они будут реагировать на воздействие внешних факторов, таких как напряжение, температура и т. д.

Для моделирования свойств материалов используются различные методы, такие как метод конечных элементов (finite element method, FEM), метод конечных объемов (finite volume method, FVM), метод конечных разностей (finite difference method, FDM) и т. д. Каждый

из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, и выбор метода зависит от конкретной задачи.

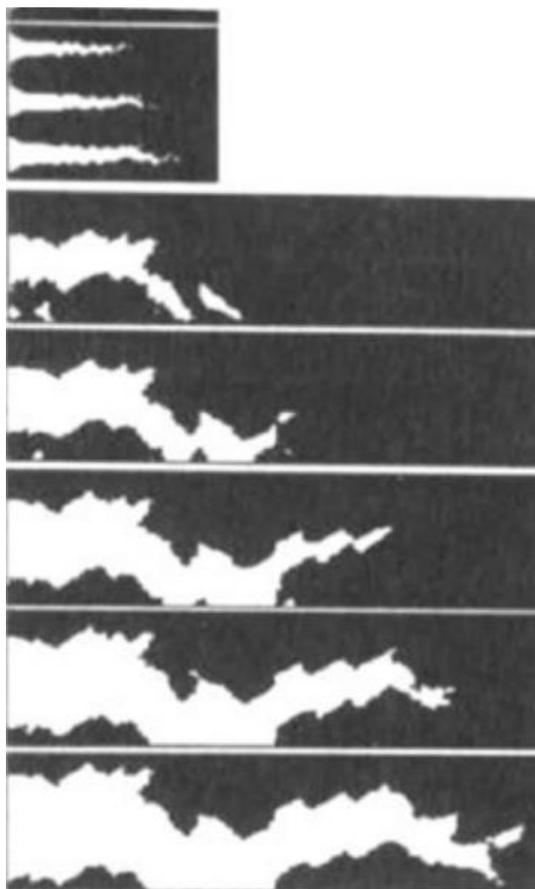


Рисунок 1 – Распространение трещины в модели двумерного кристалла Леннарда-Джонса с числом атомов 2 027 776

В процессе моделирования свойств материалов необходимо определить материальные свойства, например, модуль Юнга, коэффициент Пуассона, прочность и т. д. Эти свойства зависят от химического состава материала, его структуры и температуры. Для определения этих свойств часто используются экспериментальные методы, такие как испытания на растяжение, сжатие или изгиб, и анализ результатов этих испытаний.

Анализ свойств материалов – это процесс изучения свойств материалов на микро- и наноуровнях. Он включает в себя изучение структуры материалов, их химического состава и физических свойств. Для анализа свойств материалов используются различные методы такие, как рентгеновская дифрактометрия, электронная микроскопия, спектроскопия и т. д. Эти методы позволяют получать информацию о структуре материалов на микро- и наноуровнях, исследовать их поверхность и определять химический состав.

Моделирование и анализ свойств материалов помогают экономить время и ресурсы, которые могут потребоваться при проведении экспериментов на физических образцах материалов. Это позволяет снизить затраты на исследования и улучшить эффективность процесса разработки новых материалов и изделий.

В различных отраслях промышленности, таких как автомобильная, авиационная, строительная, энергетическая и т. п., моделирование и анализ свойств материалов используются для создания более легких, прочных, надежных и эффективных изделий. Например, в автомобильной промышленности моделирование и анализ свойств материалов помогают создавать

более легкие и прочные автомобили, что позволяет снизить расход топлива и уменьшить пагубное воздействие на окружающую среду.

В заключение, необходимо отметить, что моделирование и анализ свойств материалов играют важную роль в разработке новых материалов и создании более качественных и надежных изделий в различных отраслях промышленности. Они позволяют исследовать поведение материалов в различных условиях и определить, как они будут реагировать на воздействие внешних факторов, таких как напряжение, температура и прочее. Это, в свою очередь, позволяет снизить затраты на исследования и улучшить эффективность процесса разработки новых материалов и изделий.

#### **Список использованных источников**

1. Компьютерное моделирование в материаловедении [Электронный ресурс] / Портал студенческих и научных материалов – Режим доступа: <https://ozlib.com> – Дата доступа: 13. 04. 2023.

Студент группы 10405521 Лепеш В.И.  
Научный руководитель - Корнеева Е.К.  
Белорусский национальный технический университет

Разработка новых материалов для различных отраслей является важным направлением в материаловедении, которое имеет большое значение для промышленности и науки. Новые материалы могут обладать уникальными свойствами, которые могут быть использованы для создания более эффективных и экономически выгодных продуктов.

Одним из главных факторов, стимулирующих разработку новых материалов, является потребность в создании более экологически чистых материалов, которые могут заменить традиционные материалы, такие как пластик, стекло, металл. Новые материалы должны быть более устойчивы к воздействию окружающей среды, более легкими, прочными и долговечными, а также более дешевыми и более эффективными в использовании.

В авиационной промышленности, новые материалы могут быть использованы для создания более легких и прочных конструкций, что может привести к снижению веса самолетов и уменьшению расхода топлива.

Композитные материалы состоят из двух или более материалов, которые обладают различными свойствами. Они могут быть созданы из стекловолокна, кевлара, углеродного волокна и других материалов.

Композитные материалы обладают высокой прочностью и жесткостью, при этом они легкие и не подвержены коррозии. Кроме того, они могут быть произведены в различных формах и размерах, что позволяет создавать материалы с уникальными свойствами, которые не могут быть достигнуты с помощью традиционных материалов. Это делает их идеальными для использования в авиационной промышленности.

Некоторые из новых композитных материалов, используемых в авиастроении (рисунок 1), включают в себя:

1. Композиты с углеродными волокнами (CFRP), которые состоят из углеродных волокон, укрепленных в матрице из полимера, и композиты со стекловолокнами (GFRP), состоящие из стекловолокон, укрепленных в матрице из полимера. Они обладают высокой жесткостью и прочностью при низком весе, что делает их идеальными для использования в крыльях, фюзеляжах и других компонентах самолетов.

2. Композиты на основе керамики, которые состоят из керамических волокон, укрепленных в матрице из полимера. Обладают высокой прочностью и жесткостью при высоких температурах, что делает их идеальными для использования в компонентах, которые подвергаются высокой температуре, например, в двигателях.

3. Композиты на основе металлов – материалы, состоящие из металлических волокон, укрепленных в матрице из полимера. Они обладают высокой прочностью и жесткостью, а также могут быть использованы в компонентах, которые должны выдерживать высокие нагрузки.

Помимо ряда положительных свойств, указанных выше, композиционные материалы еще имеют достаточно большое количество недостатков, которые сдерживают их распространение и ограничивают применение:

- Высокая стоимость объясняется тем что производство композитных материалов требует специального оборудования и технологий, которые могут быть дорогими в производстве и обслуживании. Кроме того, производственный процесс может быть очень сложным и требо-

вать высокой квалификации специалистов. Стоит отметить, что композитные материалы являются относительно новым типом материалов, и их разработка может требовать значительных затрат на исследование и разработку новых формул и технологий производства.



Рисунок 1 – Композиционные материалы в самолёте MS-21

- Низкая ударная вязкость также является причиной повышения коэффициента запаса прочности. Кроме этого, низкая ударная вязкость обуславливает высокую повреждаемость изделий из композитных материалов, высокую вероятность возникновения скрытых дефектов, которые могут быть выявлены только инструментальными методами контроля.

- Высокий удельный объем является существенным недостатком при применении композитных материалов в областях с жесткими ограничениями по занимаемому объему. Это относится, например, к сверхзвуковым самолётам, у которых даже незначительное увеличение объема самолёта приводит к существенному росту волнового аэродинамического сопротивления.

- Низкая эксплуатационная технологичность. Если композитный материал поврежден, то его ремонт может быть сложным и требовать специальных навыков и оборудования. Это может повысить стоимость ремонта и время, необходимое для восстановления материала в исходное состояние.

- Экологические проблемы. Некоторые композитные материалы могут содержать вредные вещества, такие как ртуть, свинец или кадмий, которые могут быть опасными для окружающей среды при их утилизации. Кроме того, производство композитных материалов может потреблять большое количество энергии и ресурсов, что может оказывать негативное влияние на окружающую среду.

Устранение или уменьшение этих свойств приведет к улучшению качества материала и откроет новые возможности его применения как в авиации, так и в других сферах промышленности [1-3].

В целом, разработка новых материалов для различных отраслей является важным направлением в научных исследованиях и промышленности, которое может иметь большое значение для экономического и социального развития.

### Список использованных источников

1. Композитные материалы [Электронный ресурс] / Олимпиада по истории авиации и воздухоплавания. – Режим доступа: <https://olymp.as-club.ru>. – Дата доступа: 12. 04. 2023.
2. Васильев, В. В. Механика конструкций из композиционных материалов / В. В. Васильев. – М. : Машиностроение, 1988. – 264 с.
3. Композиты 21 век = Composite 21 century : журнал / учредитель: Союз КТИ (Союз производителей труб и изделий и композиционных материалов). – Москва: ИД «Композиты 21 век», 2011.

**Использование титана в военной промышленности**

Студент группы 10405520 Монжос Ю.С.

Научный руководитель - Корнеева Е.К.

Белорусский национальный технический университет

Одним из лучших танков прошлого столетия являлся тяжёлый танк «Тигр». После вторжения Германии в Советский Союз 22 июня 1941 года они были потрясены, столкнувшись с советскими средними танками Т-34 и тяжелыми танками КВ-1, которые были лучше уже имеющихся танков Германии. Таким образом, чтобы конкурировать, немцам пришлось разработать новый улучшенный танк.

Броня «Тигра» в передней части имела толщину 102 мм, ее прочность была настолько велика, что британские экипажи видели, как снаряды, выпущенные из их собственных танков «Черчилль», просто отскакивали от «Тигра». Сообщается, что во время раннего столкновения с союзниками в Тунисе 8 снарядов, выпущенных из артиллерийского орудия шириной 75 мм, срикошетили от борта «Тигра» с расстояния всего 150 футов.

Между тем выстрел из 88-мм орудия «Тигра» мог пробить броню толщиной 100 мм на дальности до 1000 метров.

Данный танк боялись во времена второй мировой войны, но у него было много недостатков, таких как нехватка ресурсов (металла и бензина), а также сырость изначальной разработки, это было связано со сроками разработки.

В наше время прогресс далеко шагнул, проблем с ресурсами практически ни одна страна не испытывает. Сейчас на танки таких стран как Великобритания и Германия наносят специальное покрытие. Оно имеет несколько слоев: керамику с ураном, кевлар (для удерживания попавших осколков снарядов), графит. В России же предпочтение отдают танковой защите без воздушного пространства между слоями из фарфора, керамики. Благодаря отсутствию прослоек намного эффективнее поглощаются удары со стороны противника.

Существует множество металлов, широко используемых в военной промышленности, но мы рассмотрим один из самых ярких примеров. Такой металл как титан нашел множественное применение в различных сферах, а именно сплавы на его основе. Титан обладает той же прочностью, что и сталь, но в два раза легче, он весит примерно, как алюминий, но в два раза прочнее. Сохранение таких свойств как твердость и прочность при высоких температурах, а также превосходная коррозионная стойкость делают его важным компонентом для ряда применений. Кроме того, его универсальная обрабатываемость позволяет изготавливать защитную броню из титана, а также надежные конструкционные элементы. Титан также демонстрирует отличные гальванические характеристики, тепловое расширение и совместимость с проводимостью, что открывает возможности для большего количества применений титана в сочетании с более широким использованием углеродных композитов для военной и аэрокосмической техники.

Легкая обрабатываемость титана и универсальные легирующие свойства позволяют легко сочетать его в высококачественных сплавах с алюминием, ванадием и другими элементами. Титановые сплавы используются в самолетах, кораблях, ракетах и космических кораблях в высокопроизводительных деталях, включая брандмауэры, выхлопные трубы вертолетов и критически важные конструктивные детали.

Поверхность материала имеет химически инертный оксид, что обеспечивает лучшую устойчивость к агрессивным минеральным кислотам и хлоридам. В сложных военных и аэрокосмических условиях прочность титана при растяжении и усталостная прочность также по-

могает ему противостоять разрушению при циклических и изменяющихся нагрузках. Прочность на разрыв более 600 МПа и термостойкость при температурах выше 600 °С позволяют титановым сплавам выполнять свои функции в любой среде.

Универсальные легирующие свойства титана гарантируют, что спрос на этот металл в военных и аэрокосмических приложениях будет только расти, особенно по мере того, как композитная конструкция становится все более доминирующей в высокопроизводительных военных самолетах, например, таких как F-22 Raptor. Технические характеристики Raptor зависят от широкого использования титана и его композитов. Титан составляет 42% всех конструкционных материалов по весу для современных самолетов. В то же время, сталь и алюминий составляют всего 6% и 16% корпуса F-22 соответственно.

В прошлом использование таких материалов, как алюминий и сталь, ухудшало эксплуатационные характеристики, включая компоненты двигателя и турбины, а также снижало конструктивную способность в суровых коррозионных средах. Совместимость титана с другими металлами в сплавах, а также с композиционными материалами, такими как углеродное волокно и стекловолокно, будет по-прежнему способствовать высокому спросу на этот материал в военной и аэрокосмической промышленности, а также в коммерческом секторе в целом.

#### **Список использованных источников**

1. Тарасов, А. В. *Металлургия титана : учебное пособие* / А. В. Тарасов – М. : Академкнига, 2003. – 328 с.
2. Корнилов, И. И. *Новые исследования титановых сплавов* / И. И. Корнилов, Н. Г. Борискина. – М. : Наука, 1965. – 333 с.
3. *Титановые сплавы в машиностроении* / Б. Б. Чечулин [и др. ]. – М. : Машиностроение, 1977. – 248 с.
4. Барятинский, М. Б. *Тяжёлый танк Pz. VI «Tiger»*. – М. : Коллекция, Яуза, ЭКСМО, 2006. – 96 с.
5. Абковиц, С. *Титан в промышленности* / С. Абковиц, Дж. Бурке, Р. Хилц. – М. : Оборонгиз, 1957. – 147 с.
6. Гармата, В. А. *Титан* / В. А. Гармата [и др. ]. – М. : Metallurgy, 1983. – 559 с.

Студент группы 10405521 Бобкович М.П.

Научный руководитель - Корнеева Е.К.

Белорусский национальный технический университет

Одним из самых распространенных элементов, который находится в земле, можно назвать титан. Согласно результатам проведенных исследований, он занимает 4-е место по степени распространенности, уступая лидирующие позиции алюминию, железу и магнию.

Титановые сплавы – это сплавы, состоящие в основном из титана и других металлов, таких как алюминий, ванадий, молибден, никель, железо, хром или цирконий. Они обладают высокой прочностью при низкой удельной массе, высокой коррозионной стойкостью и хорошей устойчивостью к высоким температурам. Температура плавления может достигать 1700 °С. Благодаря этому значительно повышается устойчивость состава к теплу, но усложняется и процесс обработки.

Классификация титановых сплавов осуществляется по довольно большому количеству признаков. Все эти сплавы можно разделить на несколько основных групп:

1. В качестве более дешевой альтернативы термостойким никелевым сплавам применяют термостойкие материалы низкой плотности с учетом определенного температурного диапазона.

2. Высокопрочные и конструкционные – благодаря этому их можно использовать при изготовлении деталей, на которые оказывается переменная нагрузка.

3. Титановые сплавы на основе химических соединений имеют термостойкую структуру низкой плотности. За счет значительного снижения плотности снижается и вес, а термостойкость позволяет использовать материал при изготовлении летательных аппаратов.

Для достижения определенных свойств, таких как улучшенная коррозионная стойкость, титановые сплавы могут подвергаться термической обработке, а также подвергаться специальным химическим и электрохимическим процессам.

Если не обращать внимания на химический состав, то все титановые сплавы можно охарактеризовать по следующим признакам:

- Хладостойкость. Слишком низкие температуры приводят к значительному снижению механических свойств титановых сплавов. Часто можно встретить ситуацию, когда работа при низких температурах вызывает значительное повышение хрупкости. Титан довольно часто используется в производстве космических кораблей.

- Высокая коррозионная стойкость. Недостатком большинства металлов можно назвать то, что под воздействием повышенной влажности на поверхности образуется коррозия, которая не только ухудшает внешний вид материала, но и снижает его основные эксплуатационные свойства.

- Высокая удельная прочность и низкая плотность – характеристики, которые довольно редко сочетаются друг с другом.

- Эффективность обработки под давлением определяет, что сплав часто используется в качестве заготовки при прессовании или другом типе обработки.

- Легкие металлы получили широкое применение в самых разных отраслях промышленности, например, в авиастроении, строительстве небоскребов и др.

- Отсутствие реакции на воздействие магнитного поля также назовем причиной того, что рассматриваемые сплавы получили широкое применение. Часто можно встретить ситуацию, когда осуществляется изготовление конструкций, в процессе работы которых формируется магнитное поле.

Эти основные преимущества титановых сплавов определяют их довольно большое распространение. Однако, как упоминалось ранее, многое зависит от конкретного химического состава. Примером можно назвать то, что твердость меняется в зависимости от того, какие именно вещества используются при легировании.

Важно отметить, что именно алюминий считается наиболее распространенным легирующим элементом в титановых сплавах. Это связано с нижеприведенными моментами:

- Применение алюминия позволяет существенно повысить модули упругости.
- Алюминий также позволяет повысить значение жаропрочности.
- Подобный металл один из самых распространенных в своем роде, за счет чего существенно снижается стоимость получаемого материала.
- Снижается показатель водородной хрупкости.
- Плотность алюминия ниже плотности титана, за счет чего введение рассматриваемого легирующего вещества позволяет существенно повысить удельную прочность.

Легирующие элементы по характеру влияния на полиморфные превращения титана подразделяют на три группы:  $\alpha$ -стабилизаторы,  $\beta$ -стабилизаторы и нейтральные элементы.

По диаграмме состояния титана с алюминием, представленной на рисунке 1, образуются два твердых раствора:  $\alpha$ -твердый раствор алюминия в  $Ti_\alpha$ , концентрация которого изменяется от 7,5 % при 20 °С до 11,6 % при перитектоидной температуре, и  $\beta$ -твердый раствор алюминия в  $Ti_\beta$  с предельной растворимостью 30 %. При содержании алюминия более 7,5 % в структуре сплавов наряду с  $\alpha$ -твердым раствором появляется фаза  $\alpha_2$  ( $Ti_3Al$ ), которая имеет гексагональную решетку с упорядоченным расположением атомов и сильно охрупчивает сплавы.

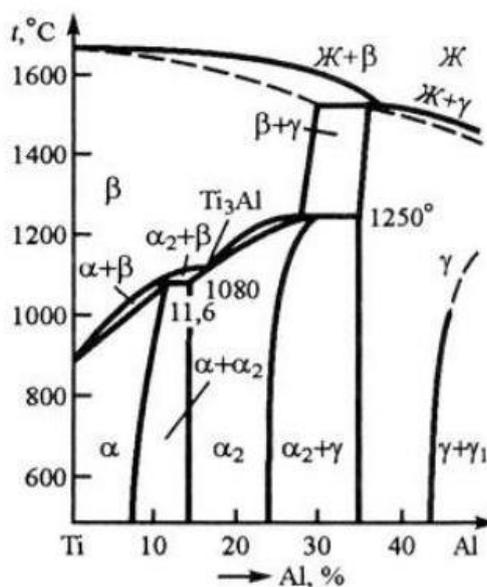


Рисунок 1 – Диаграмма состояния Ti–Al

Рассматривая области применения титановых сплавов отметим, что большая часть разновидностей применяется в авиационной и ракетостроительной сферах, а также в сфере изготовления морских судов. Для изготовления деталей авиадвигателей другие металлы не подходят по причине того, что при нагреве до относительно невысоких температур начинают плавиться, за счет чего происходит деформация конструкции. Также увеличение веса элементов становится причиной потери КПД.

Применим материал при производстве трубопроводов, используемых для подачи различных веществ, запорной арматуры, клапанов и других подобных изделий, которые применяются в агрессивных химических средах. В авиастроении сплав применяется для получения обшивки, различных креплений, деталей шасси, силовых наборов и других агрегатов. Как показывают результаты проводимых исследований, внедрение подобного материала снижает вес примерно на 10-25 %. Еще одной сферой применения является ракетостроение. Кратковременная работа двигателя, движение на большой скорости и вхождение в плотные слои становится причиной, по которой конструкция переживает серьезные нагрузки, способные выдержать не все материалы. В химической промышленности титановый сплав применяется по причине того, что он не реагирует на воздействие различных веществ. В судостроении титан хорош тем, что не реагирует на воздействие соленой воды.

В целом можно сказать, что область применения титановых сплавов весьма обширна. При этом проводится легирование, за счет чего существенно повышаются основные эксплуатационные качества материала.

### **Список использованных источников**

1. Федулов, В. Н. Прогнозирование эффективности термического упрочнения титановых сплавов / В. Н. Федулов // *Литье и металлургия*. – Минск: БНТУ, 2006. – №1 (37). – С. 130-135.
2. Болтон, У. Конструкционные материалы. Металлы, сплавы, полимеры, керамика, композиты / У. Болтон. – М. : Додэка XXI, 2007. – 320 с.
3. ГОСТ. Цветные металлы и сплавы. Методы испытаний. – М. : Стандартов, 2002. – 880 с.
4. Зубченко, А. С. Марочник сталей и сплавов / А. С. Зубченко. – М. : Машиностроение, 2003. – 784 с.

## Влияние различных факторов на структуру и эксплуатационные свойства подшипниковых сталей

Студенты группы 10405520 Ткачева А.А., Макаревич В.О.  
Научный руководитель - Корнеева Е.К.  
Белорусский национальный технический университет

Подшипниковые стали – это износостойкие стали, важнейшим свойством которых является отличная сопротивляемость значительным контактным нагрузкам. Благодаря высокой концентрации углерода в своем составе, такая сталь обладает отменной твердостью и отличается хорошей износостойкостью. Хром, выступающий одним из компонентов вышеуказанного типа сталей, обеспечивает возможность большей глубины их прокаливания. В ней нет газовых и шлаковых частиц. Предназначаются такие стали для выпуска колец, роликов и шариков подшипников.

Все шарико-подшипниковые сплавы с высоким содержанием углерода обычно делят на две группы:

- Для изделий качения, которые функционируют при повышенных температурах и в агрессивных по своим характеристикам средах. К ним относят тепло- и коррозионностойкие стали (нержавеющие).

- Для изделий, которые используются в стандартных условиях. В данной группе находятся хромомарганцевые и хромистые составы, легированные молибденом и кремнием.

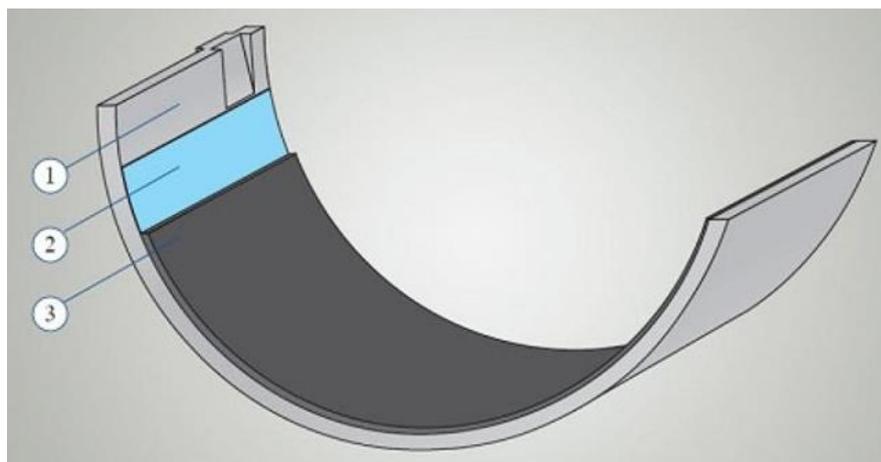
Учитывая особенности эксплуатации подшипников, сплавы, из которых изготавливаются их детали, отличаются высоким сопротивлением усталости металла и низкой хрупкостью. Кроме того, специфика работы этих изделий требует использования особо прочных сталей, максимально устойчивых к механическим нагрузкам и истиранию. Подшипниковые стали имеют в составе определенные легирующие компоненты: кремний, серу, марганец, хром, медь, фосфор, никель. Немалое количество углерода, которое содержится в подшипниковых сталях, обеспечивает сплавам хорошую износостойкость в процессе эксплуатации. Также именно углерод влияет на прочность деталей после нагрева. Термообработка способствует стабильности геометрических параметров изделий при эксплуатационной температуре свыше 100 °С. Хотя термообработка и обеспечивает стабильность, но снижает твердость стальных сплавов.

Для получения высоких прочностных и эксплуатационных характеристик подшипниковые стали подвергают закалке в масле и отпуску при температуре 150-200 °С. Назначая режимы закалки, следует помнить, что эвтектоидная точка у сталей типа «ШХ» смещена несколько влево. После закалки и последующего низкого отпуска твердость подшипниковых сталей должна быть не ниже HRC 62. На качество готовых подшипников большое влияние оказывает структура исходной заготовки, заготовка должна иметь структуру однородного зернистого перлита. При нагреве подшипниковой стали до температур выше 800 °С происходит растворение мелких зерен карбидов, крупные же зерна остаются. При последующем замедленном охлаждении крупные карбиды растут. В результате структура стали приобретает вид неоднородного крупнозернистого перлита. Крупные карбиды отрицательно влияют на качество закаленных шариков. Содержание в подшипниковой стали 0,40-0,65 % кремния и 0,9-1,2 % марганца увеличивает прокаливаемость стали.

Эксплуатационные качества подшипников зависят от свойств металла, из которого изготовлены их кольца и тела вращения (шарики или ролики). Стабильность размеров деталей, предел усталости в контактных зонах и максимальная рабочая нагрузка на подшипник определяются твердостью стали. Также определенные параметры должны выдерживаться при изготовлении сепараторов, которые подвергаются серьезным нагрузкам, истиранию и нагреву.

Температурные перепады, удары, влага и прочие воздействия, включая возможный контакт с агрессивными факторами, формируют особые требования к материалу, из которого изготовлены сепаратор, кольца и тела качения. Относительно редко стандартные детали подшипника защищают специальным полимерным покрытием, которое не только предохраняет их от механических воздействий и коррозии, но и обеспечивает электроизоляцию.

Для подшипников скольжения с полимерным покрытием (рисунок 1) в качестве металла новых подшипников используется специально разработанный алюминиевый сплав с содержанием кремния, который способен выдерживать высокую нагрузку в сочетании с износостойкостью. Подшипники нового поколения способствуют реализации решений, необходимых для достижения поставленной цели в отношении выбросов CO<sub>2</sub>.



**Рисунок 1 – Подшипники скольжения с полимерным покрытием:**

1 – стальная основа; 2 – подшипниковый металл AlSnSi;  
3 – полимерный антифрикционный слой

С использованием сложной технологии лакирования на алюминиевый сплав напыляется полимерный слой. Данный слой состоит из устойчивой к действию температуры и грязи полиамидной смолы с высокой долей наполнителей, уменьшающих трение и износ.

При этом стальная спинка служит только для обеспечения глухой посадки в корпусе. Таким образом, как подшипниковый металл, алюминиевый сплав является сопряженным компонентом вала, выполняющим все остальные функции подшипника скольжения.

В результате комбинирования металла и полимера на 20% повышается устойчивость к нагрузкам по сравнению с традиционными биметаллическими подшипниками, увеличивается износостойкость и снижается трение.

Подшипниковые марки сталей характеризуются хорошими эксплуатационными свойствами и подходят для изготовления не только изделий по назначению, но и различных других. Универсальность сплавов и их высокая износостойкость обеспечивает им длительный срок пользования даже в весьма агрессивных средах. При выборе подшипниковых сплавов для изготовления различных изделий очень важно учитывать особенности эксплуатации готовых деталей и их спецификацию.

#### **Список использованных источников**

1. Подшипники скольжения с полимерным покрытием [Электронный ресурс] / MS Motorservice International GmbH. – Германия, 2015. – Режим доступа: <https://www.ms-motorservice.com>. – Дата доступа: 11. 04. 2023.

## Применение и свойства меди и ее сплавов

Студентка группы 10405521 Шевцова А.В.

Научный руководитель - Корнеева Е.К.

Белорусский национальный технический университет

Медные сплавы – продукция металлургического производства, процесс изготовления которой человечество освоило с давних времён. Первый медный сплав – сплав меди с оловом – дал начало целой технологической эпохе истории цивилизации, получившей название «бронзовый век».

Медь – это металл, который относится к классу «красных металлов». Она имеет высокую электропроводность, хорошую термическую проводимость и прекрасные свойства формовки. Благодаря этим свойствам, медь и ее сплавы широко используются в различных отраслях промышленности (рисунок 1), в том числе в производстве электроники, сантехники и автомобильной промышленности. В присутствии кислорода медные слитки и изделия из меди приобретают красновато-жёлтый оттенок за счёт образования плёнки из оксидов. Во влажной среде в присутствии углекислого газа медь становится зеленоватой. Медь имеет высокие показатели теплопроводности и электропроводности, что обеспечивает ей использование в электротехнике. Не меняет свойств в значительном диапазоне температур от очень низких до очень высоких, является не магнитным материалом.

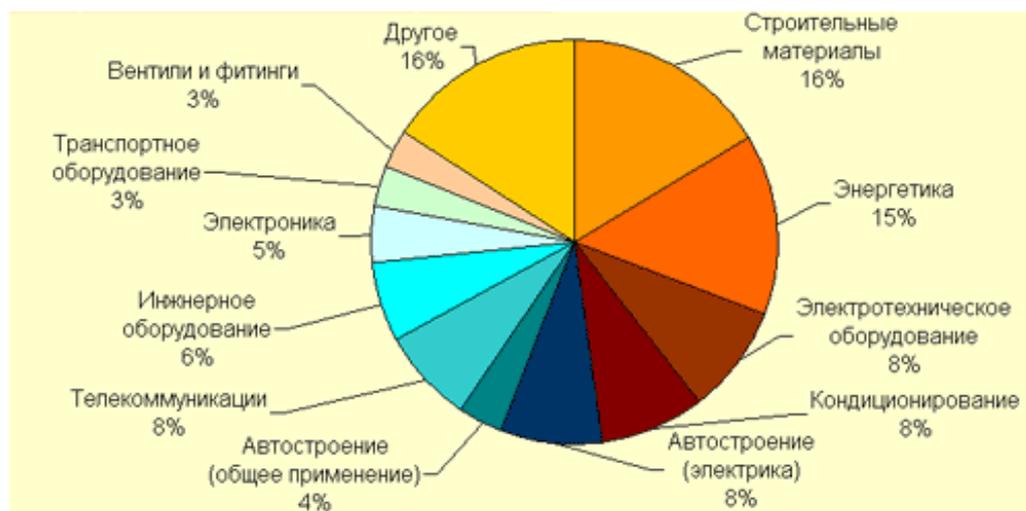


Рисунок 1 – Потребление меди по отраслям

Изготовление медных сплавов позволяет улучшить свойства меди, не теряя основных преимуществ данного металла, а также получить дополнительные полезные свойства. К медным сплавам относят: бронзу, латунь и медно-никелевые сплавы.

Бронза – это сплав меди и олова. Он также может содержать другие металлы, такие как алюминий, марганец и никель. Бронза твёрже меди, имеет высокую прочность, износостойкость и хорошую коррозионную стойкость, что делает ее идеальным материалом для производства изделий, которые подвергаются сильным механическим нагрузкам, таких как подшипники, зубчатые колеса, а также монеты.

Одним из главных преимуществ использования меди и ее сплавов является их способность к легкой обработке. Они легко формуруются в различные формы и размеры, что делает их идеальными для производства сложных деталей и компонентов. Более того, медь и ее сплавы

являются экологически чистыми материалами, поскольку они могут быть переработаны и использованы повторно без потери своих свойств. Они лучше поддаются обработке металла давлением, прежде всего, ковке.

Латунь – это сплав меди и цинка. Цинк добавляется для улучшения механических свойств меди, в частности, для увеличения прочности и жесткости сплава. Латунь имеет золотистый цвет и хорошую коррозионную стойкость, что делает ее идеальным материалом для производства декоративных изделий, музыкальных инструментов и сантехнических изделий, таких как краны и фитинги. Обладают антифрикционными свойствами, позволяющими противостоять вибрациям. У них высокие показатели жидкотекучести, что даёт изделиям из них высокую степень устойчивости к тяжёлым нагрузкам. В отливках латуни практически не образуются ликвационные области, поэтому изделия обладают равномерной структурой и плотностью.

Мельхиор – сплав меди и никеля. В качестве добавок в сплаве могут присутствовать железо и марганец. Частные случаи технических сплавов на основе меди и никеля, такие как нейзильбер (дополнительно содержит цинк), константан (дополнительно содержит марганец), нихром, пермаллой, инвар и др., широко применяются в качестве жаропрочных материалов в аэрокосмической промышленности

Медь и ее сплавы также широко используются в электронике. Они являются отличными проводниками электрического тока и тепла, что делает их идеальными для производства различных компонентов электроники, включая провода, контакты, радиаторы и многие другие. Кроме того, медь и ее сплавы также находят широкое применение в автомобильной промышленности. Они используются в производстве тормозных колодок, радиаторов, электрических проводов и многих других компонентов. Они обладают высокой степенью прочности и долговечности, что делает их идеальными для использования в качестве денежных единиц. Во многих странах монеты изготавливаются из меди и ее сплавов, таких как бронза, латунь и никель-серебро. А также, одним преимуществом меди и ее сплавов является их экологическая безопасность. Медь является одним из самых перерабатываемых металлов, и ее сплавы могут быть легко переработаны вновь и вновь без потери своих свойств. Это делает медь и ее сплавы идеальными материалами для производства экологически чистых и устойчивых изделий.

Несмотря на все преимущества, у меди и ее сплавов также есть свои недостатки. Они могут быть дорогими и тяжелыми в использовании, что может ограничить их применение в некоторых отраслях промышленности, также играют важную роль в медицинской отрасли. Они используются для производства различных медицинских инструментов, включая скрепки, зажимы и иглы. Медь также является важным компонентом многих лекарственных препаратов и добавок. Кроме того, некоторые медные сплавы могут быть коррозионно-активными и требуют дополнительной защиты для сохранения своих свойств на протяжении длительного времени.

Таким образом, медь и ее сплавы – это важные материалы, которые продолжают находить все новые и новые применения. Благодаря своим уникальным свойствам и преимуществам, они играют важную роль в различных отраслях промышленности и жизни людей.

### **Список использованных источников**

1. Медь и ее сплавы. [Электронный ресурс] / Промышленно-экологический интернет журнал. – Режим доступа: <https://prompriem.ru> – Дата доступа: 14. 04. 2023.

**Структурный анализ азотирования титановых сплавов**

Студент гр. 10405119 Матюков И.М.

Научный руководитель - Константинов В.М.

Белорусский национальный технический университет

Титан и титановые сплавы благодаря сочетанию таких механических свойств, как удельная и абсолютная прочность при комнатных и повышенных температурах (вплоть до 550°C) нашли широкое применение в космической, авиационной, а благодаря высокой коррозионной стойкости и биосовместимости, в химической промышленности и восстановительной медицине [1].

Однако следует отметить, что титановые сплавы обладают низкой износостойкостью и большим коэффициентом трения [2].

Прибегая к термической обработке и легированию, проблематично существенно повысить вышеперечисленные свойства титановых сплавов. Наиболее перспективным методом повышения данных свойств является диффузионное поверхностное легирование, в частности, азотирование [2].

Для ХТО деталей из титановых сплавов неприемлемы среды, используемые для обработки сталей, особенно с содержанием водорода, который приводит к водородному охрупчиванию титана [2].

Не решенной до конца проблемой является так же опасность образования диффузионно-непроницаемой нитридной корки на поверхности титана при азотировании.

Подходящим решением для повышения эксплуатационных свойства титановых может быть выбрано ионно-плазменное азотирование (ИПА).

Анализ диаграммы Ti-N (рисунок 1) показывает возможную последовательность формирования фаз. Это соответствует общему механизму образования диффузионного слоя при ХТО, т. е. определяется последовательностью их расположения вдоль изотермической горизонтали при температуре ИПА.

Диффузионный слой после ИПА в общем случае может состоять из следующих фаз: твердый раствор  $\alpha$ -Ti с ГПУ решеткой ( $\alpha$ -фаза),  $\beta$ -Ti с ОЦК решеткой ( $\beta$ -фаза), фаза внедрения TiN с ГЦК решеткой ( $\delta$ -фаза) и промежуточный нитрид  $Ti_{2-3}N$  ( $\epsilon$ -фаза). Высокая микротвердость (1700-2000 HV<sub>0,1</sub>) вкупе с золотистым цветом позволяют судить о том, что диффузионный слой в основном состоит из  $\delta$ -фазы (TiN), которая выявляется в микроскопе в виде светлого слоя толщиной до 10 мкм. Под слоем  $\delta$ -фазы может находиться темный подслой нитрида  $Ti_{2-3}N$  ( $\epsilon$ -фаза) с толщиной 1-3 мкм, который образуется в процессе охлаждения из нитрида  $\delta$ -фазы. При увеличении температуры как правило, относительная толщина TiN уменьшается, а  $Ti_{2-3}N$  увеличивается [3].

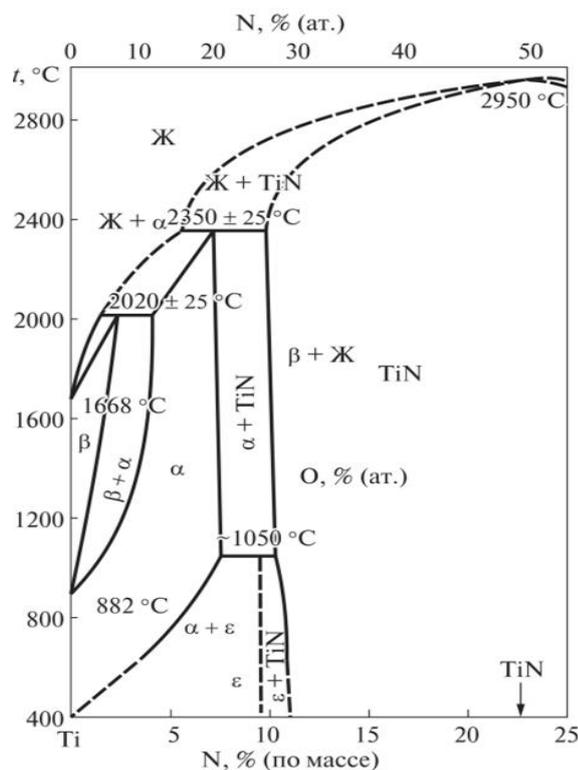


Рисунок 2 - Диаграмма состояния Ti-N

Проведение азотирования титановых сплавов в тлеющем разряде существенно интенсифицирует процесс. К примеру, слой в 50 мкм получается на техническом титане при выдержке 13 часа при температуре 950°C, тогда как при ИПА необходимо 3 часа [4].

Азотирование титановых сплавов в среде аммиака применяют редко в виду присутствия в рабочей камере водорода, что приводит к водородной хрупкости. ИПА титановых сплавов в среде очищенного азота происходит интенсивнее, чем в среде аммиака [4].

Давление азота в камере оказывает существенное влияние на толщину диффузионного слоя и нитридной зоны. Для формирования азотированного слоя без хрупкой нитридной зоны можно либо уменьшить подачу азота, либо разбавить его инертным газом, например аргоном [4].

Толщина нитридной зоны монотонно возрастает с повышением давления азота в рабочей камере, тогда как рост диффузионного слоя имеет экстремальный характер [4].

Существенного уменьшения нитридной зоны при ИПА на титановых сплавах можно добиться малой скоростью подачи азота к поверхности металла, которая становится лимитирующим фактором всего процесса. В данных условиях весь поступающий к поверхности азот переходит в твердый раствор, и технологически это осуществимо разбавлением азота аргоном [4].

При обработке титановых сплавов в аргон азотной смеси слой состоит в основном из диффузионной зоны, представляющие собой высокоазотистые твердые растворы [4].

Зависимость толщины азотированного слоя при ИПА, как и любой термически активный процесс, подчиняется экспоненциальному закону, а кинетика описывается квадратичной параболической зависимостью, так как процесс контролируется диффузией азота в металле [4].

Таким образом титан и титановые сплавы являются высокотехнологичным материалом, применяемым в отраслях машиностроения, в которых требуется сочетание высокой прочности, пластичности, технологичности и коррозионной стойкости: авиастроение, космическая отрасль, химическая промышленность, восстановительная хирургия.

Для повышения эксплуатационных свойств и соответствия требованиям промышленности титановые сплавы подвергают термодиффузионной обработке, наиболее эффективной из которых является ионно-плазменное азотирование (ИПА). С помощью варьирования параметров ИПА, таких как температура, насыщающая способность смеси и давление азота можно получать, как твердорастворные диффузионные слои, так и нитридные покрытия.

#### Список использованных источников

1. Ходосевич Д. А. Титан и области его использования / Д. А. Ходосевич; науч. рук. В. М. Комаровская // Современные технологии и образование: проблемы, идеи, перспективы: материалы Международной научно-практической конференции (27-28 ноября 2014). В 2 ч. Ч. 2 / ред. колл. : Б. М. Хрусталева [и др. ]. – Минск: БНТУ, 2014 – С. 218 – 220.
2. Шевцов, А. Ю. Азотирование титана и его сплавов / А. Ю. Шевцов, А. Ю. Савич; науч. рук. Г. А. Ткаченко // Новые материалы и технологии их обработки: сборник научных работ XVI Республиканской студенческой научно-технической конференции, 22 – 24 апреля 2015 года / Белорусский национальный технический университет, Механико-технологический факультет. – Минск: БНТУ, 2015. – С. 29 - 31.
3. Kukareko V. A., Konstantinov V. M., Vereshchak N. A., Grigorichik A. N. Structure of commercial titanium subjected to low-temperature ion nitriding // Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials. 2022. №1, P. 48 – 55.
4. Верещак Н. А. Исследование процесса азотирования сплавов медицинского назначения: дис. магистр: 17. 01. 2021. – БНТУ, Минск – 90 с.

# **Охрана труда и промышленная безопасность**

## Влияние темперамента специалиста на безопасность труда в промышленности

Студент гр. 24v-20 Маматкаримов О.А.  
Научный руководитель - Петросова Л.И.  
Ташкентский государственный технический университет  
г. Ташкент

В структуру темперамента входят различные формально-динамические свойства человека. Так, одна из известных — восьмимерная модель структуры темперамента В. М. Русалова содержит два различных аспекта темперамента: предметно-деятельностный и коммуникативный.

В соответствии с этим выделяются: предметная эргичность (выносливость), социальная эргичность, пластичность, социальная пластичность, скорость или темп, социальный темп, эмоциональность, социальная эмоциональность.

Для специалистов «Охрана труда» и «Безопасность жизнедеятельности» наиболее актуальными являются: *предметная эргичность*, пластичность, социальная пластичность и эмоциональность.

«*Предметная эргичность*» определяет жажду деятельности, стремление к физическому и умственному труду, степень вовлечённости в трудовую деятельность.

«*Пластичность*» свидетельствует о лёгкости (трудности) переключения с одного предмета деятельности на другой, о скорости перехода с одних способов мышления на другие, о стремлении к разнообразию форм предметной деятельности.

«*Социальная пластичность*» показывает степень лёгкости (трудности) переключения в процессе общения от одного человека к другому и разнообразию неосознанных, импульсивных форм поведения при социальном контакте.

«*Эмоциональность*» выражает эмоциональную чувствительность человека к несовпадению между задуманным и реальными результатами.

Одной из главных задач по обеспечению безопасности условий труда работников, согласно Типовому положению №273 Республики Узбекистан «Об организации работ по охране труда» является профессиональный отбор; проведение психофизиологического обследования и оценка профессиональной пригодности вновь поступающих на работу.

Эффективность профессионального отбора зависит от «трудности профессии» и от «цены ошибки» при неправильных действиях специалиста. Поэтому отбор эффективен при работе человека в экстремальных условиях в системах, где надёжность комплекса «человек — машина» определяется главным образом человеческим звеном. Особенно большую роль играют свойства темперамента в деятельности, связанной с экстремальными условиями дефицита времени и угрозы жизни. Это в первую очередь опасные производственные объекты.

Для правильного отбора кандидатов проходит этап профессионального обучения, цель которого — создать условия для усвоения обучаемым определённой совокупности знаний, умений и навыков, обеспечивающих его эффективную деятельность на производстве. Содержание учебных предметов кафедры БЖД определяется содержанием будущей профессиональной деятельности и строится с использованием методов обучения, реализующих дидактические принципы — от «простого к сложному», поэтапного формирования навыков, формирующего влияния обучающей среды. Выбор методов обучения зависит от типа задач, выполняемых в рамках профессии. Задачи можно условно разделить на «простые» и «сложные». «Простые» не требуют специализированного обучения и могут выполняться студентами самостоятельно без дополнительного обучения. Сложные задачи не могут быть освоены без

специального обучения. Это происходит из-за невозможности на данный этап использования реальной техники в целях обучения.

С целью определения пригодности будущих специалистов к профессиональной деятельности на кафедре БЖД ТашГТУ были разработаны анкеты в виде тестов.

Выявленные результаты темпераментов студентов кафедры «Безопасность жизнедеятельности» (БЖД) представлены на рис. 1.



Рисунок 1 - Темперамент студентов кафедры БЖД

Для обеспечения безопасной работы у специалистов должна быть мотивация, ведущая к ответу на вопрос: «Чего хочет специалист, что для него привлекательно, к чему он стремится?».

Теория мотивации определяет ответ на вопрос «Почему человек берётся за данную деятельность, в чём цель его деятельности?» Мотивационные влияния проявляются во всех принимаемых решениях. «Мотив» понимается как врождённая потребность; стремление к чему-либо или избегание чего-либо; стремление к получению новой информации о собственных способностях и компетентности. Отдельно выделяют «социальные мотивы»: стремление к общению, власть, помощь, агрессия, мотив достижения. Рассматривают иерархию потребностей: физиологические, безопасности, самосохранения, социальные, эгоистические и самоутверждения.

Если у работника нет мотивации к работе, то он не достигает необходимого мастерства, трудится на пределе физиологических функций, что приводит к неврозам, повышенной заболеваемости, аварийности и травматизму. Травматизм у таких лиц на 40 - 50% выше, чем у первых.

Для повышения мотивации студентов необходимо иметь тренажёры, которые позволят организовать процесс тренировки в виде многократного повторения изучаемого действия.

#### Список использованных источников

1. Petsova L., Avezova N. IMPROVING WORK SAFETY INCLUDING THE HUMAN FACTOR/ "Sciences of Europe" journal. № 113. 2023. pp. 94- 97 DOI: 10. 5281/zenodo. 7773878.

## Особенности условий и организации труда водителей, осуществляющих международные перевозки грузов

Студенты гр. 10114119 Богомольцев М.А., Климович В.А.  
 Научный руководитель - Абметко О.В.  
 Белорусский национальный технический университет

Водители относятся к категории лиц, выполняющих работу особого характера. Поэтому правильно созданные условия труда водителя имеют огромное значения не только для эффективности работы, но и для обеспечения безопасности дорожного движения.

Работа водителя, осуществляющего международные перевозки грузов, связана с воздействием различных опасных и вредных производственных факторов: высокая напряженность, обусловленная частыми разъездами и психологическими перегрузками; плохие дорожные условия; условия ограниченной видимости; превышение допустимой скорости движения; повышенный уровень шума, инфразвука и вибрации; недостаточный уровень освещенности; повышенная загазованность и запыленность воздушной среды в кабине; воздействие паров бензина; технические неисправности автомобиля, которые могут стать причиной аварий и несчастных случаев (неисправность тормозной системы, рулевого управления; нарушение герметичности топливо- и маслопроводов, газовой аппаратуры); ожоговое воздействие некоторых элементов автомобиля; пожароопасность.

Воздействие перечисленных факторов может приводить как к травмированию, так и к развитию профессиональных заболеваний. Профессиональные и профессионально обусловленные заболевания водителей прямо связаны с неблагоприятными условиями труда, определяя не только уровень их работоспособности, но и состояние здоровья, а также продолжительность творческого долголетия. Профессиональные и профессионально обусловленные заболевания водителей условно делятся на группы:

- 1 – болезни, связанные с продолжительным воздействием стрессов. Нервная система постоянно находится под напряжением, что вызывает заболевания нервно-психической сферы и сердечно-сосудистую патологию. У водителей нередко развиваются аритмии, кардиологии, гипертензия, инфаркты миокарда
- 2 – болезни, вызванные продолжительным нахождением в сидячем положении. К таким заболеваниям относятся остеоартрозы, остеохондрозы, спондилоартрозы, спондилолистезы (несращение дуги позвонков), радикулиты, грыжи дисков позвонков, привычные вывихи, шейно-плечевые плекситы, вибрационная болезнь, простатит, геморрой
- болезни, связанные с неполноценным и нерегулярным питанием в рабочее время. К ним причисляют гастрит, язвенную болезнь, холецистит, колит, панкреатит, дисбактериоз
- заболевания, обусловленные малоподвижным образом жизни и нарушениями обмена веществ. Это – сахарный диабет и ожирение
- 5 – аллергические и онкологические заболевания. К ним относят бронхиальную астму (выхлопные газы, дизельное топливо, бензин, смазочные масла)

Негативное влияние вредных и опасных факторов на состояние здоровья водителей, способных вызывать развитие у них профессиональных и профессионально обусловленных заболеваний, требует проведения профилактических мероприятий, направленных на создание здоровых и безопасных условий труда. В первую очередь, создание условий рабочей среды, соответствующих установленным гигиеническим нормативам, правильная организация рабочего места водителя, соблюдение режима труда и отдыха.

Организация рабочего места водителя должна обеспечивать максимальное восприятие профессионально значимой информации во время движения автомобиля, поддержание удобной рабочей позы.

Компоновка органов управления должна обеспечивать возможность свободного доступа водителя ко всем устройствам и узлам автомобиля, подлежащим обслуживанию и контролю в процессе эксплуатации, а показатели тяжести и напряженности труда при работе с органами управления не должны превышать допустимых значений в соответствии с требованиями санитарных норм и правил, устанавливающих гигиеническую классификацию условий труда.

Автомобильный перевозчик должен обеспечивать режимы труда и отдыха, направленные на снижение нервно-эмоционального напряжения и производственного утомления водителей (гимнастика, физкультурная пауза, психологическая разгрузка, организация отдыха, пропаганда здорового образа жизни и другое).

При продолжительности рейса более одной смены администрацией автомобильного перевозчика должны сообщаться водителям места ночного отдыха, на постоянных маршрутах – места расположения организаций здравоохранения по маршруту следования.

В соответствии с Европейским соглашением, касающееся работы экипажей транспортных средств, производящих международные автомобильные перевозки (ЕСТР) [1] на всех транспортных средствах производится установка механических контрольных устройств (тахографов), обеспечивающих регистрацию на специальных контрольных листках времени управления транспортным средством и отдыха, скорости движения и пройденного пути.

Согласно соглашению, ежедневная продолжительность управления автомобилем не превышает 9 часов. Она может быть увеличена дважды в течение любой одной недели до 10 часов. Общая продолжительность управления автотранспортным средством в течение любых двух недель не превышает 90 часов. Продолжительность непрерывного управления автомобилем не превышает четырёх с половиной часов. По истечении этого периода водителю предусмотрен перерыв не менее 45 минут. Этот период может быть заменён перерывами продолжительностью не менее 15 минут каждый, распределяемыми в течение периода управления так, чтобы в сумме они составляли 45 минут.

В течение каждых 24 часов водитель имеет непрерывный ежедневный отдых продолжительностью не менее 11 часов. Этот отдых может быть сокращён до 9 часов не более трёх раз в течение одной недели при условии, что до конца следующей недели ему предоставляется соответствующий отдых в качестве компенсации. В те дни, когда продолжительность отдыха не сокращается, он может быть разбит на два или три отдельных периода в течение 24 часов, один из которых составляет не менее 8 часов. В этом случае продолжительность отдыха увеличивается не менее чем до 12 часов. При работе экипажей из двух водителей в течение каждых 30 часов, каждый водитель имеет период отдыха продолжительностью не менее 8 часов.

#### **Список использованных источников**

1. Европейское соглашение, касающееся работы экипажей транспортных средств, производящих международные автомобильные перевозки (ЕСТР).

Студенты гр. 10115119 Протосевич П.В., Сушкевич А.В.

Научный руководитель - Абметко О.В.

Белорусский национальный технический университет

Ускоренное развитие производство автомобилей увеличивает количество машин, что является причиной образования пробок на улицах. Это, в свою очередь приводит к резкому росту массового количества токсичного дыма, выходящего из автомобилей, что оказывает вредное воздействие на здоровье человека и окружающую среду. В отработавших (выхлопных) газах содержится множество вредных веществ, в том числе окись углерода (СО), углеводород (СН), оксид азота (NO<sub>x</sub>) и другие газы.

Наиболее опасны для здоровья человека:

**Окись углерода (СО)** — газ без цвета и запаха. Приводит к развитию у человека кислородной недостаточности, нарушению центральной нервной системы, поражению дыхательной системы, ухудшению зрения. Увеличенные среднесуточные концентрации СО способствуют возрастанию смертности лиц с сердечно-сосудистыми заболеваниями. При содержании в воздухе 0,05 % СО слабое отравление наступает через 1 ч, при 1 % человек теряет сознание через несколько вдохов

**Оксиды азота (NO<sub>x</sub>)** представляют собой смесь NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. В результате их воздействия нарушается функция бронхов и легких, особенно у людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями. При концентрации в воздухе 0,001 % по объему оксиды азота вызывают раздражение слизистых оболочек носа и глаз, при 0,002 % начинается кислородное голодание, при 0,008 % — отек легких

**Сернистый ангидрид** — бесцветный газ с резким запахом, становится причиной возникновения бронхитов, астмы и других респираторных заболеваний

**Углеводороды** (частично и полностью несгоревшие) — группа соединений углеводородов. В результате реакции с окислами азота образуют смог

**Соединения свинца** — появляются в отработавших газах в случае применения этилированного бензина, поражают центральную нервную систему и кроветворные органы человека

**Сажа (С)** — твердый фильтрат отработавших газов, сам по себе опасности не представляет, но является накопителем канцерогенных веществ

Загрязняющие вещества, попадающие в атмосферу от автомобилей, составляют 75-90 %. Опасности от отработавших газов преобладают в крупных городах. Выхлопные газы влияют на демографию, рост инвалидности, на здоровье населения. Стремительное развитие автомобильной промышленности, потоки машин в мегаполисах, многочасовые пробки, все это в конечном итоге наносит огромный вред здоровью населения. Загрязнение окружающей среды отрицательно влияет на организм, если физические и химические параметры превышают предельно допустимые концентрации (ПДК).

Интенсивное развитие автотранспорта стало оказывать серьезное негативное воздействие на все компоненты биосферы, причем наибольшая доля загрязнения атмосферы выхлопными газами приходится на легковому автомобилю (рисунок 1).

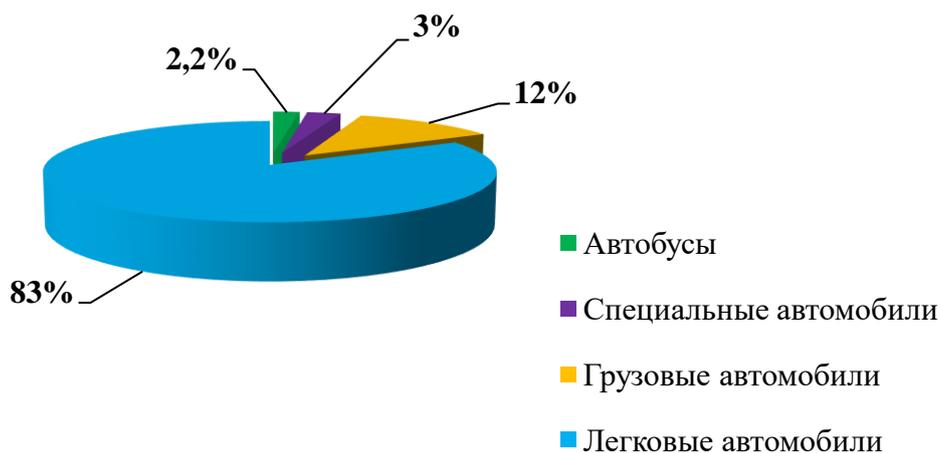


Рисунок 1 – Структурные доли загрязнения окружающей среды различными видами автомобилей, %

Содержание CO в отработавших газах зависит прежде всего от соотношения смеси воздух-топливо, но даже при получении стехиометрического состава долю CO нельзя довести ниже 0,5%. Вместе с тем уменьшение CO путем подбора соответствующего стехиометрического состава смеси воздух-топливо приводит одновременно к усилению образования NO<sub>x</sub>, при этом необходимо отметить, что процессы окисления NO до двуокиси NO<sub>2</sub> и дальнейшая полимеризация двуокиси до четырехоксида N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> являются сложными, длительными и до настоящего времени основательно не изученными.

Образование NO<sub>x</sub> определяется в значительной степени температурой сгорания топлива в цилиндре двигателя, а также неравномерностью этой температуры по объему рабочей камеры, причем степень окисления NO<sub>x</sub> зависит в дальнейшем от скорости движения газов и их температуры в выпускном тракте двигателя.

Проблема экологической безопасности автомобильного транспорта и снижение количества вредных выбросов является важнейшей задачей современности, решение которой возможно как за счет совершенствования конструкции двигателя, так и улучшения качества топлива.

Для снижения количества выбрасываемых в окружающую среду вредных веществ разрабатывается ряд мер, которые направлены на достижение как можно более полного сгорания топлива. Для этого необходимо улучшать процессы смесеобразования, обеспечивать приготовление оптимального состава горючей смеси для каждого режима работы двигателя. С этой целью создают все более совершенные конструкции карбюраторов, обеспечивают подогрев топлива на различных участках впускной системы, используют электронное управление не

только системой питания, но и зажиганием, а также планируется полный переход на впрысковую систему питания бензиновых двигателей.

Один из путей снижения токсичности отработавших газов заключается в утилизации их энергии. Процессы утилизации (отбора) энергии отработавших газов связаны с их охлаждением, увеличением плотности и снижением скорости движения в системе выпуска ДВС.

С целью нейтрализации отработавших газов по содержанию в них оксидов азота, в основном  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ , в конструкции системы выпуска ДВС применяют теплообменник, имеющий вид змеевика и установленный внутри глушителя шума в его резонансных камерах. Теплообменник утилизирует теплоту ОГ, в том числе и теплоту от реакции окисления окислов азота. Понижение температуры отработавших газов способствует увеличению скорости окисления окиси азота  $\text{NO}$  до двуокиси  $\text{NO}_2$  и дальнейшей полимеризации двуокиси  $\text{NO}_2$  до четырехокиси  $\text{N}_2\text{O}_4$  при выделении значительного количества теплоты. Охлаждение способствует существенному снижению в отработавших газах содержания окиси азота  $\text{NO}$  и двуокиси азота  $\text{NO}_2$ , а также их суммы. Это объясняется тем, что с падением температуры и снижением скорости движения газов время окисления окислов азота сокращается, степень окисления возрастает и большая часть окиси азота  $\text{NO}$  переходит в  $\text{NO}_2$ , но одновременно и двуокись азота  $\text{NO}_2$  полимеризуется в четырехокись  $\text{N}_2\text{O}_4$ , причем, чем интенсивнее охлаждение потока, тем активнее происходят окислительные процессы в отработавших газах.

Необходимо отметить эффект, который имеет место в данной конструкции нейтрализатора – повышение эффективности шумоподавления путем охлаждения отработавших газов. Так, например, охлаждение потока газов только на  $80^\circ\text{C}$  приводит к снижению уровня звукового давления на 4,0 дБ в среднем по всему среднегеометрическому спектру частоты от 63 до 8000 Гц. Таким образом, изменяя интенсивность охлаждения, можно регулировать эффективность работы теплообменника как нейтрализатора и уровень звукового давления системы выпуска ДВС.

## Проблемы пульсации источников света

Студент гр. 10603219 Антипов А.Э.  
Научный руководитель - Автушко Г.Л.

Белорусский национальный технический университет

Несмотря на то, что проблема пульсаций не нова, последние разработки индустрии светоизлучающих диодов (СИД) выдвинули эту проблему для многих проектировщиков и производителей на передний план.

Жалобы на пульсации не новость для светотехнической отрасли. Однако специфические особенности светодиодного освещения создают уникальные проблемы. Самое простое определение пульсации — это «модуляция светового потока». Эта основная концепция, однако, не отражает многие сложные характеристики, которые в конечном итоге делают пульсацию трудно поддающейся количественной оценке. И в то время, как пульсации в электрическом освещении, как правило, считаются нежелательными, существуют ситуации (особенно с естественным светом), где они могут добавить освещению своеобразную атмосферу. Это, например, мерцание свечи или отражение солнечного света от поверхности воды. В данной статье мы сосредоточимся на нежелательных аспектах пульсации электрического освещения.

Помимо просто модуляции светового потока, важно выделить следующие виды пульсации:

- видимая пульсация — модуляция света, периодическая или прерывистая, которую может увидеть большинство людей даже в статических условиях.

- стробоскопическая пульсация — периодическая модуляция света, обусловленная используемым источником питания, которая ощущается только при движении источника света или наблюдателя.

Следует принять во внимание, что, в то время как жалобы обычно связаны с видимой пульсацией, эти два вида не взаимоисключающие: стробоскопическая пульсация может быть видимой или невидимой.

Даже при нормальной эксплуатации и в «идеальных» условиях традиционные источники света, такие как лампы накаливания (ЛН), имеют стробоскопическую пульсацию. Напряжение на ЛН, работающей на частоте 60 Гц (в Северной Америке), снижается до нуля 120 раз в секунду — нить накала лампы остывает, уменьшая световой поток. Однако теплоемкость нити накаливания защищает ее от значительного остывания на те 8 мс или около того, пока напряжение не начнет расти снова. Такую пульсацию можно обнаружить при тщательном измерении, но она почти никогда не является источником жалоб потребителей (рис. 1).

Сравним ЛН с люминесцентной лампой (ЛЛ), подключенной через электромагнитный балласт. В этом случае лампа гаснет и загорается 120 раз в секунду. ЛЛ не имеют теплоемкости, которая могла бы поддерживать свечение в течение какого-то времени, поэтому их свет гаснет примерно через миллисекунду (гораздо быстрее, чем у ламп накаливания). Пульсация у люминесцентных ламп с электромагнитным балластом заметна и может заставить людей, работающих при таком освещении, ощутить более тонкие эффекты этой стробоскопической пульсации, включая головные боли, напряжение глаз и дискомфорт, даже если эти пульсации невидимы. Но, в то же время, высокочастотные электронные балласты, большинство из которых работает на частоте около 40 кГц, почти полностью устраняют проблемы со стробоскопической пульсацией ЛЛ (рис. 2).

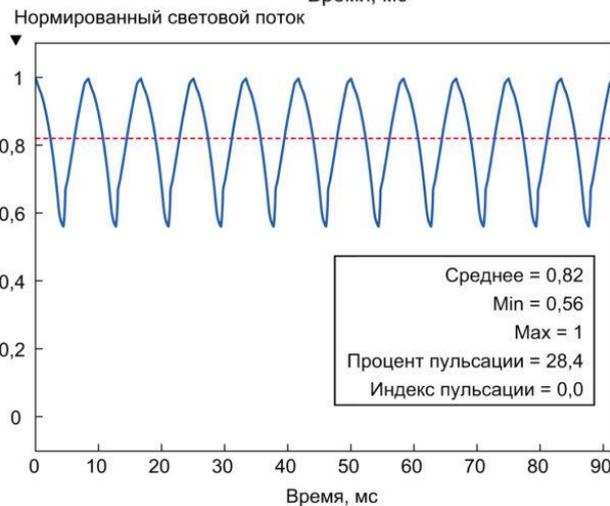
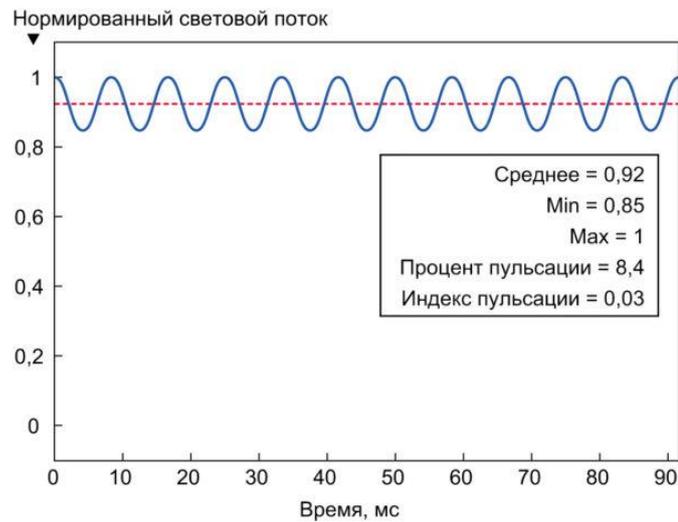


Рисунок 1 - Даже у обычной лампы накаливания можно обнаружить пульсацию, которая повторяет кривую переменного тока

Рисунок 2 - У люминесцентных ламп с высокочастотным электронным балластом проблема пульсаций практически устранена

В таком случае можно сделать вывод, что пульсация — это не просто неотъемлемое свойство используемого источника света, а результат его сочетания с соответствующей электроникой, такой как балласт для ЛЛ или драйвер для СИД. Кроме того, неидеальное электропитание, обусловленное источниками электронных шумов, распространенных в реальном мире, также вносит свой вклад в наблюдаемую суммарную пульсацию.

В отличие от других источников света, СИД не присуща способность продолжать излучать свет, если ток прекратится. Когда ток, протекающий через СИД, снижается до нуля, то световой поток также снижается до нуля — как правило, в пределах нескольких микросекунд. Например, из-за конкретно этой характеристики СИД часто используются в высокоскоростной волоконно-оптической связи. Пульсация является функцией источника света и стабильности соответствующей электроники. Поэтому любая флуктуация в источнике питания светодиода может стать флуктуацией света или пульсацией.

При оценке пульсаций перед нами встают вопросы о том, какая степень пульсации для человека приемлема и какие проблемы она может создать. Даже при «идеальных» условиях степень наблюдаемых пульсаций в данном применении может меняться в зависимости от многих различных переменных: частоты пульсации, и будет ли она периодической (стробоскопической) или нет; формы пульсаций; возраста и остроты зрения наблюдателя; общего уровня освещенности; позиции, интенсивности и возможной синхронности других источников света; относительного передвижения наблюдателя, источника света и/или близлежащих объектов.

Все эти факторы объясняют, почему так трудно выбрать один правильный, общепризнанный, количественный ответ на вопрос, есть ли пульсация источника света.

Диммирование светодиодных светильников добавляет еще одну переменную. Мало того, что диммер уменьшает уровни освещенности, создавая среду, где пульсация более очевидна, он добавляет еще один потенциальный источник нестабильности. Даже небольшие изменения в стабильности аналогового диммера, с фазовым управлением или управлением напряжением 0–10 В, могут привести к пульсациям в светодиодном драйвере. Особенно подвержены пульсациям низкокачественные светодиодные драйверы или драйверы, которые не разработаны и не протестированы для обеспечения надежной работы совместно с диммером. Специально разработанные и тщательно протестированные диммеры, предназначенные для использования с диммируемыми светодиодными светильниками, часто могут улучшить параметры диммирования и устранить или минимизировать пульсацию до уровня, обусловленного самим драйвером.

В то же время существующие и разрабатываемые промышленные стандарты не дают адекватного описания методик измерений и количественной оценки пульсаций светодиодных источников света (и связанной с ними электроники, включая драйверы и диммеры). Дальновидные производители и регулирующие органы активно участвуют в интенсивных попытках разработки усовершенствованной, воспроизводимой методики измерений. В ближайшие месяцы стоит следить за результатами этой захватывающей работы.

Эволюция светоизлучающих диодов (СИД) на рынке освещения не всегда была гладкой, но к сегодняшнему моменту технология прошла уже долгий путь. По мере развития СИД каждое поколение поднимает планку, побуждая потребителей и изготовителей стремиться к более высокой эффективности и более гибким системам управления. Производители также продолжают решать проблемы потребителей, улучшая качество света, стоимость, срок службы, эффективность и возможности диммирования. Тем не менее, пульсации света все еще остаются тем вопросом, который отрасль должна в полной мере осмыслить и учесть при разработке светодиодных светильников и приборов для управления ими, чтобы обеспечить возможность безопасного и комфортного освещения на основе СИД.

#### **Список использованных источников**

1. «Matching SSL and control technology remains a challenge (MAGAZINE)» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bit.ly/1KIPW8C>.

Студентка гр. 10808120 Васютина Е.В.  
Научный руководитель - Вершеня Е.Г.  
Белорусский национальный технический университет

Хозяйственная деятельность невозможна без функции хранения. Функцию хранения принимают на себя производители продукции, предприятия оптовой и розничной торговли. Склад рассматривается как необходимое для завершения маркетингового процесса место хранения товаров. Организация складского хранения включает в себя несколько ключевых элементов для обеспечения эффективной и результативной работы. Некоторые из этих элементов включают в себя:

1. Планировка и дизайн. Планировка и дизайн склада играют решающую роль в том, как товары хранятся и перемещаются по всему объекту. Хорошо спроектированный склад включает в себя специально отведенные зоны для приема, хранения, комплектования и упаковки, а также отгрузки.

2. Управление запасами. Точное управление запасами необходимо для оптимизации складских операций. Это включает в себя отслеживание уровней запасов, подсчет циклов и использование программного обеспечения для управления запасами.

3. Погрузочно-разгрузочное оборудование. Использование погрузочно-разгрузочного оборудования, такого как вилочные погрузчики, тележки для поддонов и конвейеры, может значительно повысить эффективность и безопасность на складе.

4. Стандартные операционные процедуры (СОП). В СОП описываются процессы и процедуры, которым необходимо следовать для обеспечения согласованности и производительности на складе. Это включает в себя все, от того, как товары получены, до того, как они будут отправлены.

5. Меры безопасности. Меры безопасности имеют решающее значение для защиты сотрудников, оборудования и инвентаря на складе. Программы обучения, оборудование для обеспечения безопасности и техническое обслуживание объектов являются важными компонентами комплексной программы обеспечения безопасности.

6. Технология. Использование таких технологий, как системы управления складом (WMS), штрих-кодирование и RFID, может повысить точность, скорость и эффективность складских операций [1].

В целом организация складского хранения требует тщательного планирования и внимания к деталям для обеспечения оптимальной производительности.

Одним из наиболее эффективных способов обеспечения безопасности на складе является регулярное обучение сотрудников технике безопасности и действиям в чрезвычайных ситуациях. Это поможет создать культуру безопасности и обеспечить, чтобы все сотрудники знали, как обращаться с опасными материалами, безопасно эксплуатировать оборудование и правильно реагировать в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

Регулярные проверки безопасности. Регулярные проверки безопасности помогут выявить потенциальные опасности на складе и обеспечить соблюдение всех правил техники безопасности. Это включает в себя проверку на потенциальную опасность возгорания, обеспечение надлежащего обслуживания всего оборудования и выявление любых хранящихся опасных материалов. Периодические проверки и техническое обслуживание физической структуры, оборудования и механизмов склада могут помочь предотвратить несчастные случаи, отказ оборудования или неисправность, а также обеспечить соблюдение правил техники безопасности.

Надлежащее хранение. Надлежащее хранение является ключом к обеспечению безопасности на складе. Это включает в себя хранение материалов и оборудования в специально отведенных местах, использование соответствующих стеллажей и полок, чтобы предметы не располагались слишком высоко или слишком низко, а также поддержание чистоты и хорошего освещения проходов.

Использование защитного снаряжения: Средства индивидуальной защиты (СИЗ) необходимы на складе. Сюда входят такие предметы, как каски, защитные очки, перчатки и защитная обувь. Обеспечение сотрудников соответствующими СИЗ поможет предотвратить травмы и повысить безопасность.

Готовность к чрезвычайным ситуациям. В случае чрезвычайной ситуации важно иметь план действий в чрезвычайных ситуациях. Это включает в себя наличие четких процедур эвакуации со склада и обеспечение того, чтобы сотрудники знали, как реагировать на различные чрезвычайные ситуации.

Регулярное техническое обслуживание. Регулярное техническое обслуживание оборудования, машин и транспортных средств необходимо для обеспечения безопасности на складе. Это включает в себя проверку на износ, ремонт по мере необходимости и обеспечение надлежащего функционирования всех функций безопасности.

Внедрение протоколов безопасности. Установите специальные протоколы для любых опасных материалов, тяжелого оборудования или машин, находящихся на складе. Это гарантирует, что все операции выполняются безопасно, с минимальным риском несчастных случаев или травм.

Обеспечение надлежащей уборки. Надлежащая уборка помогает предотвратить несчастные случаи, сократить время простоя и обеспечить эффективный рабочий процесс. Чистота должна поддерживаться на всем складе, включая проходы, стеллажи, оборудование и складские помещения.

Поощрение открытого общения. Поощрение открытого общения обеспечивает платформу, на которой сотрудники могут безопасно высказывать любые опасения, риски или улучшения. Это гарантирует своевременное устранение любых потенциальных рисков, избегая причинения вреда или травм сотрудникам.

### **Список использованных источников**

1. Warehouse Management System. Системы управления складом [Электронный ресурс] // Пор-тал TADVISER Государство. Бизнес. ИТ. URL: <http://www.tadviser.ru/index.php/WMS> (дата обращения: 22. 03. 2023).

## Сравнение охраны труда Республики Беларусь с Китайской Народной Республикой

Студенты гр. 10808120 Кравец А.О., Бачко А.С.

Научный руководитель - Вершеня Е.Г.

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день одним из условий успешного развития и функционирования общества любого государства является способность людей к трудовой активности, а также обеспечение безопасности их труда и жизнедеятельности. Из практики известно, что любой вид деятельности является опасным и каждый в своей мере. Трудовая, интеллектуальная, духовная деятельности, соответственно, тоже несут свои риски и ведут к определенным последствиям. Человек каждый день сталкивается с природными, техногенными, социальными и другими видами угроз и опасностей. Также, данный вопрос является актуальным, так как наряду с международным терроризмом, проблемами потребления, истощения ресурсов, глобальной проблемой экологии, значение среды обитания человека, а именно защита работающих от травм, болезней, а также летальных исходов, вышла на новый уровень. Международная Организация Труда в свою очередь провела оценку, основанием которой стала статистика данных от организаций по всему миру. Так, по их вердикту ежегодно в мире умирают около 2,2 миллионов человек из-за воздействия негативных факторов на работников, 160 миллионов человек получили травмы, хронические заболевания, из-за условий труда на рабочем месте, общее число человек, у которых произошел несчастный случай на производстве составляет 270 миллионов в год [1].

В Законе Республики Беларусь «Об охране труда» понятие «охрана труда» определяется как «система обеспечения безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающую правовые, социально-экономические, организационные, технические, психофизиологические, санитарно-противоэпидемические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия и средства» [2]. Так, в Республике Беларусь основными нормативно-правовыми актами, регулирующими права работников и охрану труда, являются:

1. Конституция Республики Беларусь 1994 г. (с изменениями и дополнениями);
2. Трудовой кодекс Республики Беларусь;
3. Закон Республики Беларусь от 23 июня 2008 г. № 356-з «Об охране труда» (в ред. Закона Республики Беларусь от 12. 07. 2013 № 61-з);
4. Законы Республики Беларусь «Об основах государственного социального страхования», «О санитарно-эпидемическом благополучии населения», «О сертификации продукции, работы услуг», «О стандартизации», «О единстве измерений», «О пожарной безопасности», «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», «О радиационной безопасности населения»;
5. Постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 28 ноября 2008 г. N 175 «Об утверждении инструкции о порядке обучения, стажировки, инструктажа и проверки знаний работающих по вопросам охраны труда» (в ред. Постановлений Минтруда и соцзащиты от 27. 06. 2011 n 50, от 24. 12. 2013 n 131);
6. Постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 30 декабря 2008 г. N 210 «О комиссиях для проверки знаний по вопросам охраны труда» (в ред. Постановлений Минтруда и соцзащиты от 31. 05. 2011 n 39, от 24. 12. 2013 n 132);
7. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 15 января 2004 г. N 30 «О расследовании и учете несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» (в ред. Постановлений совмина от 04. 11. 2006 n 1462, от 18. 01. 2007 n 60, от 18. 02. 2008 n 221, от 19. 04. 2010 n 579, от 09. 12. 2011 n 1663, от 01. 03. 2012 n 200, от 29. 09. 2012 n

885, от 18. 10. 2012 n 947, от 14. 08. 2013 n 712, от 14. 04. 2014 n 348, от 30. 06. 2014 n 637, от 31. 07. 2015 n 654).

В свою очередь в Китайской Народной Республике основными нормативными правовыми актами, регулирующими область охраны труда являются:

1. Конституция Китайской Народной Республики;
2. Закон Китайской Народной Республики «О труде» от 5 июля 1994 г. ;
3. Закон Китайской Народной Республики «О безопасности на производстве»;
4. Подзаконные акты (положения «Об охране труда женщин», «О ежегодном оплачиваемом отпуске»);
5. Акты Международной Организации Труда.

Проанализировав Конституцию Китайской Народной Республики, статья 42 гласит, что государство должно создавать условия для трудоустройства граждан, содействовать улучшению и совершенствованию безопасности условий труда, и на основе увеличения объемов производства повышать оплату работников, тем самым улучшая благосостояния трудящихся. Также Конституция гласит, что работники имеют право на выплату в виде пособий при случаи потери трудоспособности, болезни или старости.

В свою очередь в Конституции Республики Беларусь указано, что сотрудники и работники имеют право на безопасные условия труда, каждому гражданину гарантируется социальное обеспечение, а также материальные выплаты в случае потери кормильца, имеют право на медицинскую помощь и охрану своего здоровья.

После рассмотрения данных законодательных актов, можно сделать вывод, что в аспектах охраны труда права работников схожи как в РБ, так и в КНР. При этом, сами законодательные акты имеют различную структуру и формулировки, но при этом суть они передают относительно похожую.

В законодательстве КНР отмечаются следующие обязанности работодателя:

- обеспечить работников безопасными рабочими местами и необходимыми средствами защиты;
- обеспечить соответствие рабочих мест государственным требованиям безопасности труда;
- регулярно проводить медицинские осмотры сотрудников, работающих во вредных и опасных условиях. Такие осмотры должны выполняться не реже одного раза в пять лет. Отметим, что этот срок раньше был более длительным, но его сократили из-за большого количества профзаболеваний в разных отраслях. Сегодня проведение проверочных мероприятий жестко контролируется государством [3].

При этом, при получении травмы работником или при его смерти, всё контролируется государством, а также ведется учёт таких случаев, но тем не менее такие случаи происходят и на малых, и на крупных предприятиях Китая. Далее по законодательству проверяют работодателя и в случае, если сотрудник получил травму из-за работодателя, вводятся строгие санкции. В свою очередь обязанности работодателя в Республике Беларусь изложены следующим образом:

- обеспечивать безопасность при эксплуатации территории, зданий (помещений), сооружений, оборудования, ведении технологических процессов и применении в производстве материалов, химических веществ, а также контроль за использованием и правильным применением средств индивидуальной защиты и средств коллективной защиты. Если территория, здание (помещение), сооружение или оборудование используются несколькими работодателями, то обязанности по обеспечению требований по охране труда исполняются ими совместно на основании письменного соглашения;
- предоставлять при необходимости места для выполнения работ (оказания услуг) и создания объектов интеллектуальной собственности по гражданско-правовому договору, соответствующие требованиям по охране труда;

- принимать меры по предотвращению аварийных ситуаций, сохранению жизни и здоровья работающих при возникновении таких ситуаций, оказанию потерпевшим при несчастных случаях на производстве необходимой помощи, их доставке в организацию здравоохранения;
- осуществлять обучение, стажировку, инструктаж и проверку знаний, работающих по вопросам охраны труда;
- информировать работающих о состоянии условий и охраны труда на рабочем месте, существующем риске повреждения здоровья и полагающихся средствах индивидуальной защиты, компенсациях по условиям труда;
- обеспечивать в порядке, установленном законодательством, расследование и учет несчастных случаев на производстве, профессиональных заболеваний, техническое расследование причин аварий, инцидентов на опасных производственных объектах, разработку и реализацию мер по их профилактике и предупреждению и др [2].

Проанализировав данные обязанности и принципы, можно сделать вывод, что при огромной текучке кадров в КНР, при их трудовых обязанностях и продолжительностью рабочего дня, они придерживаются теми же принципами, что и в нашей стране. Для них также важно благосостояние работников и их безопасность.

Труд женщин и несовершеннолетних в КНР и в РБ охраняется особым способом. В КНР данный тип сотрудников имеют преимущество на рынке труда. У них есть определенные условия, так им запрещается выполнять тяжелый вид работ, в Китае все виды работ индифицируют по шкалам тяжести. Запрещается, например, работа на определенных видах предприятий – горнорудных шахтах. Несовершеннолетние не могут работать во вредных условиях труда, это запрещено в КНР. В РБ данный вопрос указан в статье 15 в Законе «Об охране труда». Запрещается привлечение женщин к выполнению тяжелых работ и работ с вредными и (или) опасными условиями труда, а также подземных работ, кроме некоторых подземных работ (нефизических работ или работ по санитарному и бытовому обслуживанию). Запрещается привлечение женщин к выполнению работ, связанных с подъемом и перемещением тяжестей вручную, превышающих установленные для них предельные нормы, если иное не установлено законодательными актами. Список тяжелых работ и работ с вредными и (или) опасными условиями труда, на которых запрещается привлечение к труду женщин, утверждается Министерством труда и социальной защиты. Предельные нормы подъема и перемещения тяжестей женщинами вручную устанавливаются Министерством здравоохранения [2].

Таким образом, можно сделать вывод, что Китайская Народная Республика, занимая лидирующие позиции среди экономик мира, имея отличительные особенности в трудовой деятельности, условиях труда, технологической оснащенности, тем не менее в законодательных актах охраны труда имеет схожие аспекты с Республикой Беларусь.

#### **Список использованных источников**

1. Международная организация труда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.ilo.org/moscow/news/WCMS\\_820246/lang--ru/index.htm](https://www.ilo.org/moscow/news/WCMS_820246/lang--ru/index.htm). – Дата доступа: 27. 03. 2023.
2. Об охране труда [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 23 июня 2008 г. № 356-З : в ред. от 12 июля 2013 г. № 61-3 : с имз. и доп. от 18 декабря 2019 г. № 274-3 – Режим доступа: [https://mintrud.gov.by/system/extensions/spaw/uploads/flash\\_files/zakon-ob-ohrane-truda.pdf](https://mintrud.gov.by/system/extensions/spaw/uploads/flash_files/zakon-ob-ohrane-truda.pdf). – Дата доступа: 27. 03. 2023.
3. Закон Об охране труда в Китае [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.centrattek.ru/info/zakon-ob-ohrane-truda-v-kitae/>. – Дата доступа: 27. 03. 2023.

Курсант Власович А.О.

Научный руководитель - Онищенко С.А.

ГБОУ ВО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР

г. Донецк

С точки зрения противопожарной защиты, обычная электростанция представляет собой комплекс разнообразных объектов, каждый из которых обладает своими собственными особенностями взрывопожарной и пожарной опасности. Чтобы профессионально организовать процесс недопущения чрезвычайных ситуаций необходимо досконально прорабатывать процессы генерации и все сопровождающиеся им технологические действия. Произведем анализ самых главных процессов.

ТЭЦ необходима для обеспечения предприятий и города тепловой энергией в виде горячего водоснабжения и пара, электроэнергии. Для потребителей происходит подача горячей воды со следующими параметрами: давление 10кг/см<sup>2</sup>, температура 70-120гр. На завод подается горячая вода с теми же параметрами и промышленным давлением которое составляет 7, 16 атм. Оба потребителя относятся к первой категории потребления.

Для обеспечения безопасности технологического процесса, зданий и сооружений, а также обеспечения безопасности людей во время пожаров необходимо иметь данные о показателях опасности и взрывоопасности веществ, применяющихся в производстве и наличии средств для тушения пожара.

Проведенный анализ показал, что в последние годы наблюдается увеличение крупных аварий и пожаров на объектах данной отрасли, сопровождающихся значительным материальным ущербом, гибелью и травмами людей, что говорит об актуальности данного вопроса и необходимости разработки пожарных автоматизированных противопожарных систем способных обеспечить безопасность на данных объектах.

Значительную опасность для возникновения пожара представляет пыль углей, сланца и торфа. Топливная пыль при хранении и транспортировке склонна к самовозгоранию. Возможность самовозгорания пыли значительно увеличивается с повышением температуры окружающей среды и при соприкосновении с горячими поверхностями. Взвешенная в воздухе пыль (с размером частиц менее 0, 2 мм) образует смесь, которая благодаря источнику воспламенения может легко взорваться. Уменьшение влажности пыли повышает шанс взрыва пылевоздушной смеси. Отложения пыли на строительных конструкциях, технологическом оборудовании, кабелях и приборах отопления могут стать источником взрыва на предприятии. Взрыхление тлеющих отложений несет особую опасность.

Возможность возникновения пожара на объектах теплоэнергетики обусловлена огромным перечнем причин, так на теплоэлектростанциях применяются в различных агрегатных состояниях значительные количества таких горючих веществ, как:

- легко воспламеняющие и горючие жидкости (турбинное масло, этиловый спирт, дизельное топливо для аварийных силовых установок, гидравлические, трансформаторные и смазочные масла);
- горючие газы: ацетилен, водород для охлаждения ротора генератора;
- твёрдые горючие вещества (упаковка, древесина, горючие фильтрующие материалы - древесный уголь);
- горючие компоненты электрических установок (изоляция электрических кабелей, конструкционные материалы на основе пластмасс).

В настоящее время множество отечественных компаний производят ряд успешных разработок в сфере пожарной безопасности на ТЭС.

Решения по использованию термостойких материалов и уменьшению количества применяемых горючих веществ требуют пристального внимания к процессам проведения аудита качества применяемых веществ и выполняемых процессов, а также экологического аудита. В отечественной практике уже имеется опыт по смене маслonaполненного оборудования на оборудование с негорючим диэлектриком (вакуумом, элегазом, твёрдой изоляцией).

Мероприятия по защите людей и материальных ценностях при пожаре необходимо планировать на начальной стадии проектирования объекта теплоэлектростанции, на этапе формирования соответствующей документации при строительстве. Весьма перспективным поэтому предстаёт внедрение возможностей менеджмента риска в области обеспечения пожарной безопасности.

Необходимо осознавать, что каждая теплоэлектростанция имеет свои характеристики поэтому для осуществления пожарной безопасности нет универсальных решений – для таких объектов решение должно быть оригинальным.

Проект пожарной безопасности требуется разрабатывать высококлассными специалистами, которые имеют большой опыт и грамотно понимают всю специфику и характерные особенности работы объектов электроэнергетики.

Одним из самых эффективных методов для решения поставленных задач может служить единый специализированный комплекс устройств, предназначенных для работы в составе систем пожарной, охранной, охранно-пожарной сигнализации, в системах автоматического пожаротушения и оповещения о пожаре во взрывоопасных зонах. Такие комплексы созданы российскими производителями и уже успешно эксплуатируются на объектах электроэнергетики.

Базовые производственные помещения ТЭС имеют отличительную особенность планировки, в наличии большого свободного объёма с значительными линейными размерами. Применяемое оснащение является крупногабаритным, размещается в различных уровнях и в подавляющем большинстве наполняется горючими веществами. Для большинства отечественных и многих зарубежных ТЭС присуще расположение всех энергоблоков в одном здании - это называется полиблочная компоновка. Следствием такого решения является чрезмерная опасность распространения пожара при авариях, в итоге после чего из строя может выйти моментально несколько агрегатов ТЭС, что приведет к катастрофическому материальному ущербу. В наше время, такое развитие событий на ТЭС является, к сожалению, далеко не редкостью.

Согласно имеющимся статистическим данным (График 1), большинство пожаров происходят на ТЭС (ТЭЦ), причем только 5% – на ГЭС, остальные пожары и аварии приходится на другие виды электроподстанций - 43%.

На теплоэлектростанциях имеется большое количество оборудования, работающего под давлением, систем охлаждения и смазки, комплексов энергоснабжения. Такая комбинация систем служит источником потенциальной опасности для возникновения пожаров и аварий.

Особенностью данных рассматриваемых процессов является тот факт, что возгорание долгое время может происходить в режиме тления с быстрым переходом в активную фазу горения.

Традиционные методы определения возгорания невозможно определять по нескольким причинам:

- по задымленности – большая концентрация пыли;
- по открытому пламени – возгорание носит тлеющий характер;
- по состоянию газовой среды – отсутствует герметичность, большие объемы воздуха перемещаются с большой скоростью;
- из-за негерметичности конструкции, значительных по массе и скорости потоков угля и воздуха.

В связи с вышеуказанными факторами стандартные методы обнаружения пожара не способны в полной мере обеспечить безопасностью объекты электроэнергетики.

Классические пороговые и дифференциальные извещатели функционируют некачественно. Пороговые извещатели показывают запаздывание момента определения, которое неприемлемо, благодаря интенсивной конвекции воздуха и окружающей среды – неполадка может привести к фатальным последствиям. При применении дифференциальных температурных извещателей увеличивается риск ложных срабатываний, спровоцированных включением теплогенераторов, поскольку скорость возрастания температуры достигает существенной величины и превосходит порог срабатывания автоматизированной противопожарной системы.

Обычно блоки электростанций – это помещения и открытые участки со сложной конфигурацией и затрудненным доступом (в особенности на гидроэлектростанциях). Все вышеуказанное напрямую приводит к подорожанию и усложнению пожарной безопасности на объектах с задействованием стандартных средств пожаротушения, установке большого множества автоматизированных противопожарных систем – вначале это большие затраты на сложный монтаж, а впоследствии – на техническое обслуживание.

Российские производители для решения данной задачи придумали извещатель пожарный тепловой линейный. Главным превосходством этой системы противопожарной защиты является применение неэлектрических средств измерения – невозможность возникновения искр и источников взрыва.

Восприимчивым элементом данной автоматизированной противопожарной системы является оптоволоконный кабель, который прокладывается в контролируемых зонах, – его можно проложить в прямом контакте с защищаемым оборудованием, в любых труднодоступных местах.

Эксплуатация возможна в условиях влияния солевого тумана, влаги, пыли, агрессивных сред, вибрации. Важнейшим преимуществом автоматической противопожарной системы является то, что даже при повреждении чувствительного элемента в условиях взрывоопасной атмосферы извещатель абсолютно безопасен, и его использование не приведет к взрыву.

Для определения места изменения температуры в оптоволоконном кабеле используется полупроводниковый лазер. При изменении температуры меняется структура оптоволоконка. Когда свет от лазера попадает в область изменения температуры, то он контактирует с измененной структурой оптоволоконка, и помимо прямого рассеяния света появляется отраженный свет. Блок обработки светоизлучения измеряет скорость распространения и мощность как прямого, так и отраженного света и определяет место изменения температуры.

Анализ экономических параметров доказывает, что для протяженных объектов и объектов с большой площадью цена отечественной автоматизированной противопожарной системы ниже в сравнении с зарубежными аналогами в 4–5 раз.

Известно, что развитый очаг самовозгорания определяется в том числе на основе данных по замерам температуры в массе продукта и газового анализа газовой среды в свободном объеме силоса. На первоначальной стадии аварийной ситуации (в процессе самосогревания) выделяется оксид углерода, или угарный газ. Известно, что угарный газ в пространстве распространяется равномернее, чем водород или углекислый газ. Спецификой угарного газа является его стремительное, практически мгновенное распространение во всем объеме заполняемого пространства и по всем направлениям. Эта особенность лежит в основе использования российской автоматической противопожарной системы с газовым каналом.

Таким образом, современные разработки наших соотечественников обеспечивают выполнение задач по надежному, более бюджетному и сверхбыстрому обнаружению источника возникновения пожара или аварии на объектах хранения, переработки и использования растительного сырья.

## **Использование изучения материаловедения в промышленной безопасности**

Студентка Дзигим В.Е.

Научный руководитель - Онищенко С.А.

ГБОУ ВО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР

г. Донецк

Материаловедение — наука, изучающая взаимосвязь между составом, строением и свойствами металлических сплавов и неметаллических материалов, а также изучение закономерностей их эволюции под влиянием механических, физико-химических и других воздействий.

Свойства материалов определяются не только их химическим составом, но и строением. Структуру можно модифицировать различными способами: легированием, грануляцией, деформацией, термической обработкой, химико-термическим и термомеханическим и др. Кроме того, на структуру и свойства материалов влияют высокое давление, вакуум, ультразвук, скорость охлаждения, ядерное облучение, лазерное лечение и др.

Материаловедение базируется на научных основах физики, химии и последних достижениях в области технологии производства полуфабрикатов и изделий.

Исследования металлов динамично развиваются с помощью электронных микроскопов, рентгеновского микроанализа и другого современного оборудования. Все это позволяет глубже и полнее изучать структуру металлов и сплавов, находить новые пути улучшения их механических, физических и технических свойств. Производятся сверхпрочные сплавы, многослойные композиции с различными свойствами, металлические, алмазные и металлокерамические материалы. В то же время при строительстве и прокладке газопроводов все чаще используются полимерные материалы, сочетающие в себе необходимые свойства и высокую износостойкость.

Знание основ материаловедения и применение их в промышленной безопасности необходимо любому специалисту, работающему в области создания, эксплуатации оборудования и систем газоснабжения и теплоснабжения. Только изучив свойства материалов, можно обоснованно выбрать их для использования, правильно разработать технологический процесс обработки.

Техносфера - это преобразованная человеком часть биосферы, в которой наряду с природными опасностями присутствуют опасности, связанные с деятельностью человека, осуществляемой в интересах удовлетворения своих всё возрастающих жизненных потребностей.

В связи с ростом населения планеты, увеличением ее социально-экономических потребностей трансформация биосферы и развитие техносферы неизбежны.

Взаимодействия между компонентами техносферы, круговоротом, миграцией и трансформацией веществ и энергий в ней отличаются от биосферных закономерностей и требуют специального изучения.

Знание экологии техносферы является исходной для образования благоприятной для человека техносферы, обеспечения ее безопасности и определения допустимых техногенных и антропогенных нагрузок на окружающую природную среду.

Техносфера характеризуется по сравнению с биосферой более широкой номенклатурой опасностей и негативных воздействий, высокой вероятностью, величиной уровня и последствий (ущерба) их реализации.

Комплекс опасностей техносферы взаимосвязан и выступает как единая система связанных и влияющих друг на друга компонентов.

Безопасность техносферы - состояние техносферы, при котором обеспечивается приемлемый уровень опасностей и допустимая величина вредных воздействий на человека и природную среду.

Безопасность обеспечивается комплексной системой мер защиты человека и природной среды от опасностей и негативных воздействий, формируемых деятельностью самого человека и природных опасностей.

Потребность в безопасности - это одна из основных, наряду с физиологическими, потребностей человека, ибо природа даровала ему стремление защищать свою жизнь и жизнь близких людей.

Материаловедение –это наука о взаимосвязи химического состава материалов, безопасной технологии производства и структуры материалов с их свойствами.

Материаловедение служит теоретической основой процессов обработки материалов давлением, литейного производства, сварки, нанесения гальванических покрытий, технологии обработки металлов резанием, изготовления инструментов и деталей машин.

Технология материалов - это комплексная учебная дисциплина, которая предоставляет базовую информацию о производстве и обработке материалов различного назначения для получения деталей определенной конфигурации с определенными свойствами, подходящими для различных машин, механизмов и конструкций.

Основными направлениями в развитии материаловедения является разработка способов производства чистых и сверхчистых металлов, свойства которых сильно отличаются от свойств металлов технической чистоты (с различными примесями в определённом количестве), с которыми преимущественно работают.

На сегодняшний день главной задачей материаловедения является создание материалов с заранее определёнными свойствами применительно к заданным параметрам и условиям работы. Большое внимание уделяется изучению работы материалов в особых условиях (низкие и высокие температуры, высокие нагрузки разного характера, агрессивные среды, облучение и т. д.).

До настоящего времени основной материальной базой машиностроения служит чёрная металлургия, производящая стали и чугуны. Эти материалы имеют много положительных качеств и в первую очередь обеспечивают высокую конструкционную прочность деталей машин. Однако эти классические материалы имеют такие недостатки как большая плотность (большая масса), низкая коррозионная стойкость. Потери от коррозии составляют 20% годового производства стали и чугуна. Поэтому, по данным научных исследований, через 20...40 лет все развитые страны перестроятся на массовое использование металлических сплавов на базе титана, магния, алюминия и неметаллических материалов. Эти лёгкие и прочные сплавы позволяют в 2 — 3 раза облегчить станки и машины, в 10 раз уменьшить расходы на проведение ремонтных работ.

Среди факторов, определяющих возможность и целесообразность практической использования металлов и их сплавов, важнейшими являются их стоимость и дефицитность. Стоимость, в свою очередь, зависит от распространённости металлов в природе, химической устойчивости, определяющей способ и сложность производства, масштаба производства, степени совершенства технологий производства, хозяйственной и политической ситуации. Основным источником добычи металлов является земная кора и мировой океан.

Материаловедение является базовой учебной дисциплиной в подготовке инженерных кадров для различных сфер материального производства.

Развитие науки «Материаловедение и технология материалов» постоянно находится в непрерывной связи с развитием человеческого общества и производства. Большую роль в развитии науки сыграли отечественные учёные.

Теоретическое материаловедение представляет собой научную физико-химическую дисциплину, но, с другой стороны, это прикладная технологическая дисциплина, которая описывает многие конкретные технологические процессы: термическую обработку (упрочнение, отпуск, отжиг, нормализацию), химико-термическую обработку и многие другие. При изучении информации о материаловедении и технологии конструкционных материалов «многоуровневая плавающая техника», упомянутая в контексте изучения химии, становится еще более сложной, поскольку она предназначена для объединения научных и технологических знаний во взаимодействии и взаимодействии.

Именно решение проблемы прочности и надежности материалов и конструкций и, следовательно, обеспечение безопасной эксплуатации изделий образуют «узел», который связывает информацию, содержащуюся в курсах «Материаловедение и технологии материалов». В настоящее время проводятся довольно глобальные исследования, связывающие науку о конструкционных материалах с проблемами безопасности.

Факторы, определяющие наибольшее использование определенных строительных материалов, включают: преобладание в природе химических элементов, составляющих эти материалы; химическая стабильность элементов, определяющих процесс и сложность производства; степень совершенствования технологии производства; физико-химические свойства.

Все металлы условно делятся на черные и цветные металлы. Черные металлы являются наиболее распространенными среди строительных материалов из-за их относительной дешевизны и физико-механических свойств. Цветные металлы имеют красный, желтый, белый цвет. Они обладают большой пластичностью, низкой твердостью, низкой температурой плавления. Известно, что олово обладает полиморфизмом.

Материаловедение опирается на три основных типа конструкционных и функциональных материалов - металлы, керамика и полимер. Они создают симбиоз в виде композиционных материалов (КМ) или промежуточных между ними соответствующих гибридных соединений и материалов на их основе (типа металлических стекол или аморфных металлов, полупроводников, ситаллов, интерметаллидов и т. д.).

Соответственно, мы можем сделать вывод, что современное материаловедение, опираясь на ряд основных типов материалов (металлы, органические или неорганические полимеры, керамика и композиционные материалы (композиты) на основе трех перечисленных), представляет собой комплексную (междисциплинарную) науку и учебную дисциплину.

Следует выделить основные, наиболее важные проблемы, решением которых будет заниматься материаловедение в ближайшем будущем:

- 1) повышение конструктивной прочности массовых материалов;
- 2) создание новых композиционных материалов;
- 3) конструирование новых материалов на атомно-молекулярном уровне;
- 4) модифицирование поверхности высокоэнергетическими воздействиями;
- 5) изучение и использование новых наноструктурных углеродных кластеров-фуллеренов и нанотруб.

В области материаловедения и технологии конструкционных материалов это лазерные, плазменные, вакуумные, детонационные, электрофизические (ЭФО), электрохимические (ЭХО) и особенно бурно развивающиеся в последние несколько десятилетий нанотехнологии.

В настоящее время наноматериалы стали активно применяться для создания качественно нового оборудования, которое открывает новые перспективы в плане повышения устойчивости и безопасности самых различных конструкций, узлов и агрегатов.

Таким образом, даже такое краткое описание современных достижений и проблем материаловедения и технологии производства материалов свидетельствует, что эти научные дисциплины находятся в стадии революционных перемен и входят в число ключевых факторов научно-технического прогресса.

Студент Зубченко Е.С.  
Научный руководитель - Онищенко С.А.  
ГБОУ ВО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР  
г. Донецк

Комплекс опасностей техносферы взаимосвязан и выступает как единая система связанных и влияющих друг на друга компонентов.

Безопасность техносферы - состояние техносферы, при котором обеспечивается приемлемый уровень опасностей и допустимая величина вредных воздействий на человека и природную среду. Техносферная безопасность - это направление подготовки специалистов в области охраны труда, обеспечения промышленной безопасности технологических процессов и производств как в нормальных условиях, так и в условиях чрезвычайной ситуации.

Промышленная безопасность обеспечивается комплексной системой мер защиты человека и природной среды от опасностей и негативных воздействий, формируемых деятельностью самого человека и природных опасностей.

Потребность в безопасности - это одна из основных, наряду с физиологическими, потребностей человека, ибо природа даровала ему стремление защищать свою жизнь и жизнь близких людей.

Теплотехника – наука, которая изучает методы получения, преобразования, передачи и использования теплоты, а также принципы действия и конструктивные особенности тепловых машин, аппаратов и устройств.

Целью освоения дисциплины «Теплотехника» является теоретическая и практическая подготовка будущих специалистов по методам получения, преобразования, передачи и использования теплоты в пищевых производствах.

Задачи дисциплины:

- изучение основных закономерностей взаимопревращения энергии, в частности теплоты и работы, термических и калорических свойств вещества, тепломассопереноса;
- обучение студентов проектированию, выбору и эксплуатации необходимого теплотехнического оборудования пищевых производств;
- обучение студентов современным методам экономии топливноэнергетических ресурсов (ТЭР) и материалов, а также интенсификации технологических процессов.

ЗНАТЬ:

- основные законы преобразования энергии, законы термодинамики, термодинамические процессы и циклы;
- основные свойства рабочих тел, а также принцип действия и устройства теплообменных аппаратов, теплосиловых установок и других теплотехнологических устройств, применяемых в пищевой отрасли.

УМЕТЬ:

- моделировать технические объекты и технологические процессы;
- проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов;
- применять современные методы для разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых машин, приводов, систем, различных комплексов, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности людей от возможных последствий аварий;
- проводить термодинамические расчеты рабочих процессов в теплосиловых установках и других теплотехнических установках, применяемых в отрасли;
- проводить теплогидравлические расчеты теплообменных аппаратов.

На современном этапе научно-технического прогресса деятельность человека, направленная на повышение комфортности его существования, одновременно становится потенциальным источником формирования многочисленных вредных и опасных факторов новой антропогенной среды обитания. В этой связи личная и общественная безопасность перестает быть уделом исключительно специалистов-профессионалов и становится насущной проблемой каждого человека. Техногенные аварии и катастрофы являются одним из основных источников экологических бедствий, последствия которых наносят вред еще длительное время.

Мы живем в динамично меняющемся мире, где постоянно появляются и исчезают новые концепции и подходы. Помимо всех социальных процессов, мы можем с уверенностью сказать, что техника и технологии определяют нашу жизнь. Резкое усиление антропогенной нагрузки на природу привело к нарушению экологического равновесия, нанося ущерб не только среде обитания, но и здоровью человека. Биосфера постепенно утратила свое главенствующее значение и начала трансформироваться в техносферу в населенных районах.

Разновидностью теплотехники является теплоэнергетика. Развитие тепловой энергетики как общей системы использования природных ресурсов началось в начале этого столетия. Долгое время основным источником тепловой энергии во всем мире были дрова, мышечная энергия людей и скота. В двадцатом веке произошли фундаментальные изменения в структуре потребления тепла.

Использование двигателей внутреннего сгорания в промышленном теплотехнике, морском и автомобильном транспорте, сельском хозяйстве и авиации привело к развитию производства и переработки нефти. Для бытового и промышленного использования газовое топливо стало использоваться как более дешевая и удобная эксплуатация и более дешевое котельное оборудование. С середины прошлого столетия увеличение расхода энергии организмом происходит в основном за счет этих двух типов ресурсов (2010 г. : нефть 0,3 млрд. тонн уг., уголь 0,73 млрд. тонн уг., 1975 г. : нефть-4, 04, природный газ-1, 69, уголь-2, 63 млрд тонн).

Ядерное топливо, как и ископаемое топливо, отличается от возобновляемых источников энергии и относится к категории невозобновляемых источников энергии. Он основан на лучистой энергии солнца, механической энергии речных потоков, приливов, волн и ветров, тепловой энергии (геотермальной энергии) и тепловой энергии внутри Земли, а также градиентах температуры различных слоев воды в океане.

На ископаемое топливо приходилось 70-90% угля (извлечение 30-60%). Уголь геологических ресурсов 7,5-14,0 трлн. т. (Коэффициент извлечения 1,0-2,4 трлн тонн).

Наиболее динамично меняются представления о запасах нефти и газа (извлекаемость 8-11 млрд. тонн) и (700-110 млрд. тонн геологических ресурсов нефти и газа 800 трлн м3).

Ядерное топливо. Общие запасы урана, доступные для добычи из недр, оцениваются в 66,16 млн. тонн. Ресурсы дейтерия, обогащенные в атмосфере, практически неисчерпаемы. Потенциальные ресурсы ядерного топлива в пересчете на тепловые эквиваленты намного превышают общие ресурсы всех видов ископаемого топлива.

Возобновляемые ресурсы: энергия кишечника Земли, космическая и солнечная радиация и их производные в виде преобразованной или накопленной энергии. Наиболее перспективными источниками энергии группы являются солнечная энергия, гидроэлектроэнергия (наиболее распространенная и широко используемая энергия выбросов) и энергия ветра.

Тепловая энергетика немыслима без теплоэлектростанций.

Тепловые энергоустановки функционируют по следующей схеме. Сначала топливо органического происхождения подается в топку, где оно сжигается и нагревает, проходящую по трубам воду. Вода, нагреваясь, преобразуется в пар, который заставляет вращаться турбину. А благодаря вращению турбины активизируется электрогенератор, благодаря которому генерируется электрический ток. В качестве топлива в тепловых электростанциях используется нефть, уголь и другие невозобновляемые источники энергии.

Топливная энергия широко используется не только на тепловых электростанциях и на транспорте, но и в ряде других весьма разнообразных отраслях промышленности. Поэтому знания о принципах устройства и работы агрегатов, применяемых современной теплотехникой, необходимы для подготовки инженеров широкого профиля различных специальностей.

Главным негативным фактором в развитии теплоэнергетики стал тот вред, который наносят окружающей среде в процессе своей работы тепловые электростанции. При сгорании топлива в атмосферу выбрасывается огромное количество вредных выбросов. К ним относятся и летучие органические соединения, и твёрдые частицы золы, и газообразные оксиды серы и азота, и летучие соединения тяжёлых металлов. Кроме того, ТЭС сильно загрязняют воду и портят ландшафт из-за необходимости организации мест для хранения шлаков, золы или топлива.

Также, функционирование ТЭС сопряжено с выбросами парниковых газов. Ведь тепловые электрические станции выбрасывают огромное количество  $\text{CO}_2$ , накопление которого в атмосфере изменяет тепловой баланс планеты и становится причиной возникновения парникового эффекта – одной из актуальнейших и серьёзнейших экологических проблем современности.

Вот почему важнейшее место в современных разработках тепловой энергетики должно отводиться изобретениям и инновациям, способным усовершенствовать ТЭС в сторону их экологической безопасности. Речь идёт о новых технологиях очистки топлива, используемого ТЭС, создании, производстве и установке на ТЭС специальных очистительных фильтров, строительства новых тепловых электростанций, спроектированных изначально с учётом современных экологических требований. В настоящее время, чтобы решить возникающие проблемы, человек должен совершенствовать техносферу, снизив её негативное влияние до допустимых уровней.

Студент Коротич Е.А.  
Научный руководитель - Онищенко С.А.  
ГБОУ ВО «Академия гражданской защиты» МЧС  
Г. Донецк

В настоящее время одной из самых важных задач в строительстве является увеличение энергетической эффективности зданий и снижение затрат на их эксплуатацию. В связи с этим значительное внимание уделяется повышению теплотехнических характеристик, а, следовательно, и увеличению уровня теплоизоляции ограждающих конструкций для того, чтобы уменьшить тепловые потери через ограждающие конструкции и тем самым снизить энергопотребление.

Настоящий свод правил разработан с целью повышения уровня безопасности людей в зданиях и сооружениях и сохранности материальных ценностей в соответствии с Федеральным законом от 30 декабря 2009 г. N 384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений", повышения уровня гармонизации нормативных требований с европейскими и международными нормативными документами, применения единых методов определения эксплуатационных характеристик и методов оценки [1].

В настоящем своде правил применены следующие термины с соответствующими определениями:

1. влажностное состояние ограждающей конструкции: Состояние ограждающей конструкции, характеризующееся влажностью материалов, из которых она состоит.

2. влажностный режим помещения: Совокупность состояний влажности воздуха в помещении.

3. воздухопроницаемость ограждающей конструкции: Физическое явление, заключающееся в фильтрации воздуха в ограждающей конструкции, вызванной перепадом давления воздуха. Физическая величина, численно равная массе воздуха усредненной по площади поверхности ограждающей конструкции, прошедшего через единицу площади поверхности ограждающей конструкции при наличии перепада давления воздуха.

4. защита от переувлажнения ограждающей конструкции: Мероприятия, обеспечивающие влажностное состояние ограждающей конструкции, при котором влажность материалов, ее составляющих, не превышает нормируемых значений.

5. зона влажности района строительства: Характеристика района территории Российской Федерации, на котором осуществляется строительство, с точки зрения влажности воздуха и выпадения осадков.

6. класс энергосбережения: Характеристика энергосбережения здания, представленная интервалом значений

удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, измеряемая в процентах от базового нормируемого значения.

7. коэффициент остекленности фасада здания: Отношение площадей светопроемов к суммарной площади наружных ограждающих конструкций фасада здания, включая светопроемы.

8. коэффициент теплотехнической однородности фрагмента ограждающей конструкции: Безразмерный показатель, численно равный отношению значения приведенного сопротивления теплопередаче к условному сопротивлению теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции.

Сотрудники пожарной охраны, после пожара проверяют здание на план его построения. Так как это может являться одним из документирующих фактором пожара, что также предусмотрено при проверке инспекцией МЧС.

В нормах устанавливают требования к:

приведенному сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций здания; удельной теплозащитной характеристике здания;

ограничению минимальной температуры и недопущению конденсации влаги на внутренней поверхности ограждающих конструкций в холодный период года, за исключением светопрозрачных конструкций с вертикальным остеклением (с углом наклона заполнения к горизонту 45° и более);

теплоустойчивости ограждающих конструкций в теплый период года; воздухопроницаемости ограждающих конструкций;

влажностному состоянию ограждающих конструкций;

теплоусвоению поверхности полов;

расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий.

Влажностный режим помещений зданий в холодный период года в зависимости от относительной влажности и температуры внутреннего воздуха следует устанавливать по таблице 1.

Таблица 1

Режим	Влажность внутреннего воздуха, %, при температуре, °С		
	До 60	До 50	До 40
Сухой	Свыше 60 до 75	Свыше 50 до 60	Свыше 40 до 50
Нормальный	Свыше 75	Свыше 60 до 75	Свыше 50 до 60
Влажный	-	Свыше 76	Свыше 60

Теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующим требованиям:

а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений (поэлементные требования);

б) удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (комплексное требование);

в) температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование).

Требования тепловой защиты здания будут выполнены при одновременном выполнении требований а), б) и в).

Из всех органических материалов наибольшее распространение при строительстве современных зданий получила древесина и изделия из нее - древесностружечные плиты (ДСП), древесно-волоконные плиты (ДВП), фанера и т. д. Все органические материалы относятся к группе горючих, а их пожарная опасность повышается при добавлении различных полимеров. Например, лакокрасочные материалы не только повышают горючесть, но и способствуют более быстрому распространению пламени по поверхности, увеличивают дымообразование и токсичность. В этом случае к СО (угарному газу) - основному продукту горения органических материалов - добавляются и другие токсичные вещества [2].

Для снижения пожарной опасности органических строительных материалов, как и в случае с полимерными веществами, их обрабатывают антипиренами.

Нанесенные на поверхность, под воздействием высоких температур антипирены могут превращаться в пену или выделять негорючий газ. В обоих случаях они затрудняют доступ кислорода, препятствуя возгоранию древесины и распространению пламени. Эффективными

антипиренами являются вещества, содержащие диаммоний фосфат, а также смесь фосфорнокислого натрия с сульфатом аммония.

Что касается смешанных материалов, они состоят из органического и неорганического сырья. Как правило, строительная продукция данного типа не выделяется в отдельную категорию, а относится к одной из предыдущих групп, в зависимости от того, какое сырье преобладает. К примеру, фибролит, состоящий из древесных волокон и цемента, считается органическим, а битум - неорганическим. Чаще всего смешанный тип относится к группе горючих продуктов.

Повышенные требования к пожарной безопасности крупных торгово-развлекательных и офисных центров, а также высотных зданий диктуют необходимость разработки комплекса противопожарных мероприятий. Одним из наиболее важных является преимущественное использование негорючих и слабо горючих материалов. В особенности это касается несущих и ограждающих конструкций здания, кровли, а также материалов для отделки путей эвакуации.

Теплоизоляционные материалы, подлежащие сертификации в области пожарной безопасности, можно разделить на пять групп. Первая из них - пенополистиролы. Благодаря сравнительно низкой стоимости они получили широкое распространение в современном строительстве. Наряду с хорошими теплоизолирующими свойствами эта продукция обладает рядом серьёзных недостатков, в числе которых недолговечность, недостаточная влагостойкость и паропроницаемость, низкая стойкость к воздействию ультрафиолетовых лучей и углеводородных жидкостей, а главное - высокая горючесть и выделение при горении токсичных веществ.

Одной из разновидностей пенополистиролов является экструдированный пенополистирол. Он имеет более упорядоченную структуру из мелких закрытых пор.

Такая технология производства повышает влагостойкость материала, но не снижает его пожарную опасность, которая остается столь же высокой. Воспламенение пенополистиролов происходит при температуре от 220 до 380°C, а самовоспламенение соответствует температуре 460-480°C. При горении пенополистиролы выделяют большое количество тепла, а также токсичные продукты. Вне зависимости от вида, все материалы данной категории относятся к группе горючести Г4. .

В качестве теплоизоляции в составе штукатурных фасадных систем пенополистирол рекомендуется устанавливать с обязательным устройством противопожарных рассечек из каменной ваты - негорючего материала. Из-за высокой пожарной опасности применение материалов этой группы недопустимо в вентилируемых фасадных системах, так как они могут существенно повысить скорость распространения пламени по фасаду здания. При использовании комбинированных кровельных покрытий пенополистирол укладывается на негорючее основание из каменной ваты.

Следующий вид теплоизоляционного материала - пенополиуретан - представляет собой неплавкую термореактивную пластмассу с ячеистой структурой, пустоты и поры которой заполнены газом с низкой теплопроводностью. Из-за невысокой температуры воспламенения (от 325°C), сильной дымообразующей способности, а также высокой токсичности продуктов горения, в число которых входит цианистый водород (синильная кислота), пенополиуретан обладает повышенной пожарной опасностью. При производстве пенополиуретана активно применяются антипирены, которые позволяют снизить воспламеняемость, но, вместе с тем, повышают токсичность продуктов горения.

Еще один вид теплоизоляции - стекловата, для производства которой используются те же материалы, что и при изготовлении стекла, а также отходы стекольной промышленности. Стекловата обладает хорошими теплотехническими характеристиками, а температура её плавления составляет порядка 500°C. Однако в силу некоторых особенностей к группе НГ относится теплоизоляция плотностью менее 40 кг/м<sup>3</sup>.

Подводя итоги, необходимо ещё раз отметить важность эффективных противопожарных мероприятий в процессе проектирования и строительства зданий. Одно из центральных

мест занимают оценка пожарной опасности и грамотный выбор строительных материалов, основанный на действующих нормах и стандартах и учитывающий функциональное назначение и индивидуальные особенности здания. Применение современных материалов позволяет обеспечить полное соответствие требованиям пожарной безопасности, гарантируя сохранность жизни и здоровья людям, которые будут находиться в здании после завершения строительства.

**Анализ статистических данных по профессиональной заболеваемости работников в Республике Беларусь за период 2017-2021 гг.**

Студенты гр. 10503120 Смирнова Е.А., Цветкова А.Д.  
 Научные руководители: Кот Т.П., Абметко О.В.  
 Белорусский национальный технический университет

Различные профессии в отраслях экономики Республики Беларусь характеризуются своей спецификой. Многообразие сложных технологических процессов и эксплуатируемого оборудования, сырья и материалов определяют особые условия труда на рабочих местах. Многие из которых относятся к вредными и опасным. Согласно данным Департамента государственной инспекции труда Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь в среднем количество работников, занятых на рабочих местах с вредными и опасными условиями труда составляет на сегодняшний день около 17,4 % от общего количества занятых в экономике.

Среди вредных производственных факторов наиболее значимыми по уровню воздействия на работников являются повышенный уровень шума и вибрации, загазованность и запыленность воздуха рабочей зоны, повышенный уровень излучений. В таблице 1 представлена численность работников Республики Беларусь, работающих во вредных и опасных условиях труда за период 2017-2021 гг.

Таблица 1 – Численность и удельный вес работников, занятых во вредных и опасных условиях труда по условиям их воздействия за период 2017-2021 гг. [1-5]

Работники, занятые в условиях воздействия вредных и (или) опасных факторов производственной среды	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
	Количество, человек % от общего количества				
Всего	845925	774232	764255	761507	748204
из них занятых в условиях воздействия:					
повышенного уровня шума	<u>320374</u> 37,87%	<u>289643</u> 37,41%	<u>284069</u> 37,17%	<u>284616</u> 37,37%	<u>282524</u> 37,73%
повышенного уровня вибрации	<u>10085</u> 11,92%	<u>90127</u> 11,64%	<u>85224</u> 11,15%	<u>84541</u> 11,1%	<u>86493</u> 11,57%
запыленности (пыли, аэрозоли)	<u>72260</u> 8,54%	<u>65811</u> 8,5%	<u>62504</u> 8,18%	<u>61912</u> 8,12%	<u>53348</u> 7,13%
загазованности (пары, газы)	<u>35783</u> 4,23%	<u>31911</u> 4,12%	<u>30420</u> 3,98%	<u>28288</u> 3,74%	<u>23178</u> 3,1%
повышенного уровня неионизирующих полей и излучений (в том числе лазерного и ультрафиолетового)	<u>15150</u> 1,79%	<u>14297</u> 1,85%	<u>14615</u> 1,91%	<u>15503</u> 2,04%	<u>15937</u> 2,14%
повышенного уровня ионизирующего излучения	<u>6691</u> 0,8%	<u>7740</u> 1,0%	<u>7678</u> 1,0%	<u>8303</u> 1,08%	<u>8335</u> 1,12%
прочих вредных производственных факторов	<u>294808</u> 34,85%	<u>274703</u> 35,48%	<u>279745</u> 36,70%	<u>278344</u> 36,55%	<u>278389</u> 37,21%

Анализ представленных данных показывает, что самый высокий удельный вес приходится на работников, подвергающихся воздействию повышенного уровня шума. К

сожалению, положительной тенденции к существенному снижению по данному фактору не наблюдается.

К предприятиям республики с наибольшим удельным весом работников с вредными условиями труда в первую очередь относятся организации, подчиненные концернам «Белнефтехим», «Беллесбумпром», а также Минстройархитектуры и Минлесхозу (рисунок 1).

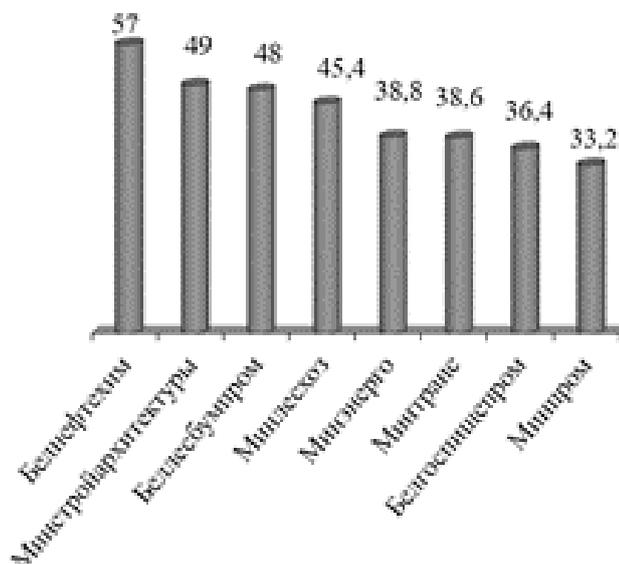


Рисунок 1 – Удельный вес работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, к общему числу работников (в процентах)

Воздействие вредных факторов приводит к развитию различных профессиональных заболеваний. Так за последние 5 лет в Беларуси было зарегистрировано 322 впервые выявленного профессиональных заболевания: 2017 г. – 84 (66 мужчин и 18 женщин), 2018 г. – 72 (60 мужчин и 12 женщин), 2019 г. – 56 (49 мужчин и 7 женщин), 2020 г. – 57, 2021 г. – 54 (39 мужчин и 15 женщин) [6].

По уровню профессиональной заболеваемости самые высокие показатели ежегодно фиксируются по Минску и Минской области, что несомненно обусловлено высокой численностью работающего населения и сосредоточенностью различных производств в сравнении с другими областями. В таблице 2 представлено распределение количества случаев профессиональных заболеваний за 2017-2019 и 2021 г. по областям.

Таблица 2 – Количество зарегистрированных случаев профессиональных заболеваний по областям [6]

Область	Количество зарегистрированных случаев профессиональных заболеваний по годам			
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2021 г.
Брестская	1	1	–	–
Витебская	–	2	2	1
Гомельская	12	3	7	12
Гродненская	7	3	4	5
г. Минск	43	35	24	24
Минская	16	18	18	11
Могилевская	5	10	1	1
Всего по республике	84	72	56	54

Примечание: за 2020 г. данные не представлены по причине отсутствия данной информации в официальных источниках

Отмечается стойкая тенденция к снижению профессиональной заболеваемости работников за последние годы как в целом по республике, так и по г. Минску. В 2022 году по

Минску зарегистрирован 21 случай профессиональных заболеваний (18 мужчин и 3 женщины). Согласно опубликованным официальным отчетным данным за 2022 г. в целом, уровень профессиональной заболеваемости на 10 000 работающих по Минску составил 0,23, а по Республике Беларусь – 0,1. Для сравнения, в 2021 году показатели были равны 0,24 по Минску и 0,14 по стране [7].

Если сравнивать различные отрасли Республики Беларусь по динамике профессиональной заболеваемости работников, то лидирующую позицию ежегодно занимает обрабатывающая промышленность (за последние 5 лет удельный вес профессиональных заболеваний составил в среднем 68 %), далее следуют горнодобывающая промышленность (17%), здравоохранение (10%), по остальным отраслям в совокупности не более 6%.

Подводя итог анализа, следует отметить, что проводимая в Республике Беларусь целенаправленная планомерная политика в области охраны труда, ориентированная на улучшение условий и повышение безопасности труда, ужесточение контроля со соблюдением санитарно-гигиенических требований способствует существенному снижению профессиональной заболеваемости работников.

### Список использованных источников

1. Статистический ежегодник Республики Беларусь 2018. – Режим доступа: [https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/index\\_10865/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/index_10865/). – Дата доступа 01. 04. 2023.
2. Статистический ежегодник Республики Беларусь 2019. – Режим доступа: [https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public\\_compilation/index\\_14636/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index_14636/). – Дата доступа 01. 04. 2023.
3. Статистический ежегодник Республики Беларусь 2020. – Режим доступа: [https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public\\_compilation/index\\_18023/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index_18023/). – Дата доступа 01. 04. 2023.
4. Статистический ежегодник Республики Беларусь 2021. – Режим доступа: [https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public\\_compilation/index\\_41019/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index_41019/). – Дата доступа 01. 04. 2023.
5. Статистический ежегодник Республики Беларусь 2022. – Режим доступа: [https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public\\_compilation/index\\_57394/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_compilation/index_57394/). – Дата доступа 01. 04. 2023.
6. Информационные материалы к Всемирному дню охраны труда в 2018-2021 году – Режим доступа: <https://mintrud.gov.by/ru/vsemirnij-dzen-ohrany-truda-2018-ru>. – Дата доступа 01. 04. 2023.
7. Снижение травматизма и количества профзаболеваний. – Режим доступа: <https://minsknews.by/snizhenie-travmatizma-i-kolichestva-profzabolevanij/>. – Дата доступа 01. 04. 2023.

### **Воздействие факторов производственной среды на работающих в литейном производстве**

Магистрант группы 50424022 Новик А.А.  
Научный руководитель - Лазаренков А. М.  
Белорусский национальный технический университет

В литейном производстве условия труда работающих определяются следующими производственными факторами: запыленность, загазованность, шум, вибрация, тепловое излучение, параметры микроклимата, электромагнитное излучение. Воздействие указанных факторов на работающих может привести к увеличению общей заболеваемости, развитию профессиональных заболеваний и повышению производственного травматизма. Поэтому при выборе технологических процессов изготовления отливок необходимо учитывать профессиональные риски с точки зрения воздействия производственных факторов на организм работающих.

*Пыль* выделяется в воздухе рабочих зон при протекании многих производственных операциях: подготовке и приготовлении формовочных и стержневых смесей, изготовлении стержней и форм, выплавке металла, выбивке отливок из залитых форм, обрубке и зачистке литья, ремонте плавильных агрегатов и заливочных ковшей и других. Качественный состав пыли предопределяет возможность и характер ее действия на организм человека. Пылевые частицы легко осаждаются на слизистой оболочке верхних дыхательных путей и могут стать причиной хронических трахеитов и бронхитов, а также профессиональных пылевых заболеваний. Значительное место занимают пневмокониозы (фиброз легочной ткани – болезнь легких, в основе которых лежат изменения, обусловленные отложением пыли и последующим ее взаимодействием с легочной тканью). Среди пневмокониозов наибольшую опасность представляет силикоз - медленно протекающий хронический процесс, развивающийся у лиц, проработавших несколько лет в условиях значительного загрязнения воздуха свободной двуокисью кремния ( $\text{SiO}_2$ ). В литейных цехах заболевание силикозом отмечается у земледелов, стерженщиков и формовщиков. Вероятность профзаболевания возрастает при сопутствующем воздействии таких производственных факторов, как тяжелая физическая нагрузка, микроклимат, вредные вещества.

*Вредные вещества* в воздухе рабочих мест литейных цехов выявляются при протекании различных технологических процессов.

Оксид углерода приводит к отравлению организма работающих. При остром отравлении и очень высокой концентрации СО отмечается потеря сознания, судороги и смерть от кислородного голодания. В более легких случаях выделяют три степени тяжести: легкая - сильная головная боль, головокружение, шум в ушах, слабость, сердцебиение, одышка, тошнота, рвота, повышение давления, расширение зрачков, потеря ориентации в пространстве; средняя - симптомы резко усиливаются, характерна выраженная сонливость, слабость, кожные покровы и слизистые приобретают багровый оттенок, одышка усиливается, давление падает; третья - потеря сознания, утрата рефлексов, судороги

Оксиды азота – вызывают расширение сосудов и снижают кровяное давление, приводят к отеку легких, оказывают действие на центральную нервную систему.

Свинец (изготовление отливок из бронзы и латуни) – к признакам интоксикации относятся анемия, быструю утомляемость, слабость, раздражительность, головную боль, головокружение, снижение памяти, боли в конечностях. В более выраженных случаях отмечается дрожание пальцев вытянутых рук, языка, век, изменения в органах пищеварения: наиболее тяжелым синдромом поражения желудочно-кишечного тракта является «свинцовая» колика.

Сурьма применяется в различных сплавах (бронзы). Сурьма откладывается в печени, коже и волосах. Соединения сурьмы оказывают раздражающее действие на кожные покровы, слизистые оболочки глаз, верхние дыхательные пути и пищеварительного тракта; поражают центральную нервную систему, сердечную мышцу.

Цинк применяется для образования сплавов с другими металлами, преимущественно с медью (латунь). Поступает в организм через органы дыхания, отчасти через желудочно-кишечный тракт. Металлический цинк в твердом и пылеобразном состоянии не токсичен. Вдыхание цинковых паров вызывает так называемую «цинковую» или «литейную лихорадку». Растворимые соли цинка обладают значительным прижигающим действием на кожу и слизистые. Лихорадка литейщиков, латунная лихорадка – профессиональное заболевание, возникающее при вдыхании паров различных металлов (цинка, меди, латуни, железа и др.). При поступлении цинка через рот или верхние дыхательные пути возможно появление сладковатого вкуса во рту, жажда, усталость, чувства разбитости, тошнота и рвота, боли в груди, покраснение глаз, сухой кашель.

Метиловый спирт (метанол) – сильный нервный и сосудистый яд, раздражает слизистые оболочки верхних дыхательных путей и глаз. Токсичность связана с образованием в организме формальдегида и муравьиной кислоты. Через несколько часов появляется головная боль, тяжесть в голове и груди, затруднение дыхания, общее недомогание и ослабление зрения; лицо одутловатое, одышка, тахикардия. Затем развивается беспокойство с жалобами на затруднение дыхания, стеснение в груди, страх смерти, судороги. В производственных условиях при вдыхании паров метилового спирта описаны обморочные состояния, головные боли, чувство опьянения, раздражение слизистых оболочек глаз и дыхательных путей.

Фенол – высокотоксичен, является нервным ядом, оказывают выраженное раздражающее действие. При остром отравлении отмечается слабость, возбуждение, головная боль, головокружение, повышенное слюноотделение, раздражение слизистых оболочек верхних дыхательных путей. Острые отравления могут возникнуть в результате попадания фенола на кожу. Признаки ожога (первоначальное побледнение, сморщивание пораженного участка кожи, образование пузырей) могут наступать уже при попадании на кожу 2–3% растворов фенола.

Формальдегид – газ, обладает общей ядовитостью, раздражает кожу и слизистые оболочки, приводит к спазмам и отеку гортани, кашлю, одышке, бронхиту, пневмонии. При попадании на кожу появляется дерматит, при поступлении внутрь возникают ожоги пищеварительного тракта, жжение во рту и за грудиной, сопровождается тошнотой и рвотой с кровью. Поражает печень и почки. Большие концентрации могут привести к коме, повреждению сердечной мышцы.

*Температура воздуха* в литейных цехах может достигать 33–40 °С и более, что существенно влияет на теплообмен работающего, приводя к функциональным нарушениям нервной системы, обмена веществ с образованием токсических продуктов, нарушения водносолевого обмена. В результате перегрузки сердца и изменений в сердечной мышце и сосудах, вызываемых высокой температурой, возникает острая сердечно-сосудистая недостаточность. В случаях, когда тепловое воздействие сопровождается большой потерей хлоридов, возникает судорожная болезнь (жалобы на периодически возникающие болезненные судороги различных групп мышц, чаще – ног, лица, иногда переходящие в общие судороги). При систематическом отклонения параметров микроклимата от норм приводят к хроническим простудным заболеваниям, заболеваниям суставов, тепловым ударам, судорогам, стрессовым состояниям.

*Шум* оказывает на организм работающего двойное воздействие: специфическое (сказывается на слуховом анализаторе, что приводит к развитию профессиональной тугоухости) и неспецифическое (сказывается на функции центральной нервной, пищеварительной систем

(язвенные дефекты); сердца (инфаркт миокарда); сосудов (нарушения кровообращения)). Профессиональное заболевание от воздействия шума нейросенсорная тугоухость – постепенное снижение остроты слуха, обусловленное длительным воздействием (преимущественно высокочастотного). Шумоопасные профессии литейного производства – формовщики, обрубщики, чистильщики литья, наждачники. При сочетании шума с воздействием вибрации, пыли, токсических и раздражающих веществ, факторов микроклимата, физическим перенапряжением ускоряется развитие патологии. Комбинированное действие шума и вибрации вызывает изменения в вестибулярном анализаторе. Имеют место жалобы со стороны нервной системы – раздражительность, повышенную утомляемость, нарушение сна, невозможность сосредоточиться, головные боли, головокружения; со стороны сердечно-сосудистой системы – вначале колющие, затем сжимающие боли в области сердца, изменение пульса и давления, повышенную потливость, зябкость и мерзнущие руки и ноги.

*Вибрация* приводит к развитию утомления, росту заболеваемости и нередко к возникновению профессиональной патологии - вибрационной болезни. Воздействие общей вибрации нарушает работу нервной системы и анализаторов: вестибулярного, зрительного. Наблюдаются: головные боли, боли в пояснице, в конечностях, в области желудка, раздражительность, расстройство координации движений, вестибулярная неустойчивость. Локальная вибрация вызывает спазмы сосудов кисти, предплечий, нарушая снабжение конечностей кровью. Одновременно наблюдается воздействие вибрации на нервные окончания, мышечные и костные ткани, выражающееся в понижении кожной чувствительности, уплотнении сухожилий мышц, отложении солей в суставах кистей и пальцев, что приводит к болям, деформациям и снижению подвижности суставов. К факторам, усугубляющим воздействие вибраций на организм, относятся мышечные нагрузки, микроклимат, интенсивный шум.

*Электромагнитные поля* большой интенсивности приводит к тепловому эффекту (нагрев органов и тканей, термическое поражение). При воздействии токов высокой и сверхвысокой частоты возникают функциональные нарушения в нервной и сердечно-сосудистой системе. Наблюдается температурная реакция (39–40 °С); появляется одышка, ощущение ломоты в руках и ногах, мышечная слабость, головные боли, сердцебиение. При хроническом воздействии работающие жалуются на утомляемость, расстройство сна, раздражительность, потливость, головную боль, боли в области сердца, одышку. Микроволны при особо неблагоприятных условиях труда оказывают повреждающее действие на глаза, вызывая помутнение хрусталика (катаракту).

#### **Список использованных источников**

1. Косарев В. В. Профессиональные болезни: учебное пособие /В. В. Косарев, С. А. Бабанов // Москва: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2011 – 252 с.
2. Лазаренков А. М. Оценка влияния шума на работающих в литейном производстве / А. М. Лазаренков, С. А. Хорева, В. В. Мельниченко // Литье и металлургия. – Минск, 2011, № 3 (62) – С. 194-195.
3. Лазаренков А. М. Оценка влияния вибрации на работающих в литейном производстве / А. М. Лазаренков, С. А. Хорева, В. В. Мельниченко // Литье и металлургия. – Минск, 2011, № 3 (62) – С. 192-193.
4. Лазаренков А. М. Исследование воздуха рабочих зон литейных цехов / А. М. Лазаренков // Литье и металлургия. – Минск, 2019 № 2 – С. 138-142.
5. Лазаренков А. М., Хорева С. А. Оценка параметров микроклимата рабочих мест литейных цехов //Труды 25-й Междунар. науч. -техн. конф. «Литейное производство и металлургия 2017, Беларусь». Минск, 18-19 октября 2017. С. 216-218.

**Оценка условий труда работающих на участках изготовления отливок из медных сплавов**

Магистрант группы 50424022 Новик А.А.

Научный руководитель - Лазаренков А.М.

Белорусский национальный технический университет

Условия труда на рабочих местах литейных участков при изготовлении отливок из медных сплавов (кокильное и центробежное литье, на машинах для литья под давлением, на установках непрерывного литья) определяются опасными и вредными производственными факторами, к которым относятся содержание вредных веществ и пыли, параметры метеорологических условий, шум, вибрация, электромагнитные излучения, влияние которых на организм работающих может привести к заболеванию или травме. Также следует учитывать, что на абсолютные значения вышеуказанных производственных факторов влияют многообразие типов оборудования, трудоемкие операции, выполняемые зачастую вручную и требующие значительного физического напряжения. Оценка вышеуказанных параметров проводилась по результатам проведенных исследований на рабочих местах участков изготовления отливок из медных сплавов и данных работ [1, 6, 7].

В качестве плавильных агрегатов на участках используют в основном индукционные печи (возможно и газопламенные печи). Технологические операции, выполняемые у плавильных печей, характеризуются выделением вредных веществ в виде пыли и газов (оксид меди, оксид цинка, оксид олова, оксид углерода, оксид азота, пыль с содержанием диоксида кремния). Значительное количество пыли выделяется при выбивке и ремонте футеровки плавильных печей и заливочных ковшей. Специфическими, вредно отражающимися на здоровье работающих условиями труда, является пыле- и газообразование при плавлении, разливке жидкого металла и обточке отливок. Концентрации вредных веществ и пыли превышают предельно допустимые в 1,3-2,1 раза, что соответствует данным работ [4, 6].

Метеорологические условия на рабочих местах плавильщиков и заливщиков определяются температурой воздуха, скоростью движения воздуха и интенсивностью теплового излучения. Отмечается превышение допустимых температур на вышеуказанных рабочих местах на 4 – 9 °С в зависимости от периода года, интенсивности тепловых излучений при работе у плавильных агрегатов и разливке жидкого металла – от 3 до 14 раз в зависимости от выполняемой технологической операции, превышение скорости движения воздуха фиксировалось в основном в теплый период года в 1,3 – 2, 2 раза, что соответствует данным работ [5, 6].

Источниками шума являются плавильные агрегаты, зачистные машины и ручной пневмоинструмент. Уровни шума на рабочих местах превышают допустимый уровень 80 дБА от 2 до 14 дБА, что соответствует данным работ [2, 6].

Источниками повышенной вибрации являются зачистные автоматы и ручной пневмоинструмент. Уровень виброускорения общей технологической вибрации на рабочих местах не превышает допустимого значения 50 дБ (за исключением работы у зачистных машин), а локальной вибрации при работе с ручным виброинструментом превышает допустимое значение 76 дБ, что соответствует данным работ [3, 6].

Воздействию электромагнитного излучения работающие подвергаются при работе у индукционных плавильных печей (загрузка шихтовых материалов, счистка шлака, контроль за ходом плавки). Напряженность электрического поля у индукционных печей не превышает 5 Вт/м<sup>2</sup>.

По тяжести трудового процесса профессия литейщиков оцениваются классом 3. 2 (вредные условия труда 2 степени), категория профессионального риска – средний (существенный), а по напряженности трудового процесса – класс 3. 1 (вредные условия труда 1 степени), категория профессионального риска – малый (умеренный).

Таким образом, оценка условий труда на рабочих местах литейщиков при изготовлении отливок из медных сплавов может быть проведена объективно только при учете всех этапов применяемых технологических процессов, типов используемого оборудования и ручного инструмента, продолжительности нахождения в различных условиях и воздействия всего комплекса опасных и вредных производственных факторов, тяжести и напряженности трудового процесса.

#### Список использованных источников

1. Лазаренков А. М., Хорева С. А. Анализ производственных факторов литейных цехов // Труды 24-й Междунар. науч. -техн. конф. «Литейное производство и металлургия 2016, Беларусь». Минск, 19-21 октября 2016. С. 117-120.
2. Лазаренков А. М. Оценка влияния шума на работающих в литейном производстве / А. М. Лазаренков, С. А. Хорева, В. В. Мельниченко // Литье и металлургия. – Минск, 2011, № 3 (62) – С. 194-195.
3. Лазаренков А. М. Оценка влияния вибрации на работающих в литейном производстве / А. М. Лазаренков, С. А. Хорева, В. В. Мельниченко // Литье и металлургия. – Минск, 2011, № 3 (62) – С. 192-193.
4. Лазаренков А. М. Исследование воздуха рабочих зон литейных цехов / А. М. Лазаренков // Литье и металлургия. – Минск, 2019 № 2 – С. 138-142.
5. Лазаренков А. М., Хорева С. А. Оценка параметров микроклимата рабочих мест литейных цехов //Труды 25-й Междунар. науч. -техн. конф. «Литейное производство и металлургия 2017, Беларусь». Минск, 18-19 октября 2017. С. 216-218.
6. Лазаренков А. М. Классификация производственных факторов литейного производства / А. М. Лазаренков // Литье и металлургия. – Минск, 2021, № 3 – С. 118-122.
7. Лазаренков А. М. Методика комплексной оценки условий труда в литейном производстве / А. М. Лазаренков, Т. П. Кот // Литье и металлургия. – Минск, 2021, № 3 – С. 112-117.

## Анализ особенностей условий труда и разработка мероприятий по обеспечению безопасности работников метрополитена

Студент гр. 10605119 Аликевич И.О.  
Научный руководитель - Мордик Е.В.  
Белорусский национальный технический университет

Метрополитен представляет собой комплекс наземных и подземных инженерно-технических сооружений, где представлены практически все вредные и опасные производственные факторы: физические, химические, биологические и эргономические, которые могут оказывать негативное влияние на здоровье работников и приводить к профессиональным заболеваниям. Поэтому обеспечение безопасных условий труда при выполнении работ – одна из важнейших задач руководства метрополитена.

Метрополитен как элемент транспортной системы содержит все черты производственной среды. Также определенную специфику формируют проблемы организации движения и устойчивость функционирования транспортного процесса. Носители опасностей в транспортной среде – это, в первую очередь, человек, а затем – техническая и материальная составляющие: здания, сооружения, дороги, подвижной состав, машины, станки, инструменты, используемая энергия, материалы, технологии, информатизация.

Носителями вредности выступают шумы, вибрации, пыли, электромагнитные поля, неблагоприятные микроклиматические условия, химические вещества.

Можно выделить следующие виды вредных и опасных производственных факторов, которые воздействуют на работников и определяют категорию профессиональных рисков:

- движущийся подвижной состав, транспортные средства, подъемные сооружения;
- подвижные части технологического оборудования и инструмента;
- падающие предметы и инструменты;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи;
- запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень шума и вибрации на рабочих местах;
- отсутствие или недостаток естественной освещенности;
- повышенная или пониженная температура, влажность и скорость движения воздуха рабочей зоны;
- расположение рабочих мест на значительной высоте относительно поверхности земли (пола);
- стесненные условия труда (замкнутые и ограниченные пространства);
- психофизиологическое воздействие на организм работника.

Правильная организация труда и отдыха – главнейшее условие высокой работоспособности. Степень работоспособности работника метрополитена зависит от состояния его здоровья и возраста, стажа работы и профессиональных навыков, специфики производственного процесса, организации труда и рабочей обстановки (уровень шума и вибрации на рабочем месте, температура, влажность, скорость движения воздуха и его состав, атмосферное давление, окраска стен и оборудования, освещенность).

Специфика работы на метрополитене, несомненно, определяет повышенные требования к охране труда и здоровью работников. В метрополитене работают как мужчины, так и женщины. У каждой профессии есть свои особенности, но одной из основных является недостаток солнечного света. Большинство работников метрополитена вынуждены проводить под землей восемь часов в сутки, где нехватка воздуха, высокая концентрация вредных веществ, пыль железа, частицы свинца, могут вызывать множество профессиональных заболеваний.

Первое и самое главное профессиональное заболевание, которое возникает у машинистов, – это вибрационная болезнь. Машинист постоянно находится под воздействием движения и шума, что вызывает нарушение работы слухового аппарата, мышечную слабость, а также слабость конечностей, возможное развитие варикозных вен, проблемы с сердечно-сосудистой системой и кровообращением. Из-за сидячего образа жизни может нарушиться работа как центральной, так и периферической нервной системы.

Еще один отрицательный момент, возникающий у машинистов, – это так называемый «страх солнца». Так как большую часть времени машинисты проводят под землей, глаза начинают остро реагировать на дневной свет, он становится для них непривычным. Солнечные лучи необходимы для выработки организмом витамина Д. Нехватка этого витамина может вызывать у работников такие заболевания, как остеопения, остеопороз другие.

Аллергическая реакция, вызванная специфическим и своеобразным запахом в метро, – еще одна проблема, которая может возникнуть у машиниста. Она также может стать причиной возникновения хронической болезни легких, для которой характерно частично необратимое ограничение воздушного потока в дыхательных путях.

С целью недопущения стресса, а также восстановления организма машинистам могут предоставляться выходные дни, а также разработан рациональный режим труда и отдыха. Так, машинистам электропоездов установлен суммированный учет рабочего времени с учетным периодом три месяца. Они работают 36 часов в неделю по именным графикам с продолжительностью смены от 6,5 до 8,5 часа. Смены бывают утренние, дневные и вечерние.

Студент гр. 10602219 Вадейко В.С.  
Научный руководитель - Мордик Е.В.  
Белорусский национальный технический университет

Под канцерогенными факторами понимаются факторы, способные вызвать у человека образование злокачественных и доброкачественных опухолей. Известные канцерогенные факторы систематизированы и объединены в перечень, в соответствии с которым производится санитарно-эпидемиологический надзор, сертификация рабочих мест, а также осуществляются мероприятия по ограничению воздействия канцерогенных факторов на человека.

Распространенность проблемы злокачественных новообразований, вызываемых канцерогенными факторами, подтверждается Всемирной организацией здравоохранения. В настоящее время они являются одной из основных причин смертности в промышленно развитых странах. Республика Беларусь не является исключением. Исходя из этого, вопрос об охране труда работников, имеющих контакт с производственными канцерогенами, носит актуальный характер.

Канцерогенная опасность зависит от уровня и длительности воздействия канцерогенных факторов, а также других факторов, изменяющих воздействие канцерогенного фактора на человека.

К канцерогеноопасным технологическим процессам, относятся деревообрабатывающее производство, производство кокса, газификация угля, производство резиновых изделий, производство чугуна и стали, электролитическое производство алюминия и др. Отмеченные процессы относятся к различным отраслям народного хозяйства, что свидетельствует о распространенности канцерогенной активности.

При разработке профилактических мероприятий и средств индивидуальной защиты на данных производствах необходимо учитывать классификационную группу, к которой относится канцероген. По природе происхождения канцерогены подразделяют на химические, физические и биологические. В зависимости от характера действия выделяют канцерогены местного действия, селективного действия, т. е. воздействующие на определенные органы, и множественного действия. Канцерогены также подразделяются на генотоксические, способные взаимодействовать с ДНК клетки и вызывать в геноме клетки мутации, а также негенотоксические, создающие условия для роста ранее мутировавших клеток.

Первостепенную роль в профилактике канцерогенной опасности играют санитарно-гигиенические мероприятия, которые включают в себя государственный санитарный надзор за применением производственных канцерогенных факторов, гигиеническое обучение и воспитание, а также паспортизацию канцерогеноопасных производств.

Государственный санитарный надзор осуществляет, в частности, санитарно-эпидемиологическое нормирование, одним из направлений которого является разработка единых методик исследовательских работ по разработке гигиенических нормативов для производственных канцерогенных факторов, а также их научное обоснование. Гигиеническим нормативом в случае физических канцерогенных факторов является предельно допустимый уровень, а в случае биологических и химических – предельно допустимая концентрация.

Гигиеническое обучение осуществляется с целью информирования работников о воздействии канцерогенов и его последствиях и формирования навыков выполнения профилактических мероприятий.

Санитарно-гигиеническая паспортизация производится для выявления и учета участков и технологических процессов, где работники подвержены воздействию канцерогенных факторов, разработки мероприятий по устранению или снижению канцерогенной опасности,

разработки безотходных и автоматизированных процессов, а также для аттестации рабочих мест и сертификации производств.

Непосредственно уменьшить воздействие на работника канцерогенных факторов можно путем выполнения профилактических мероприятий. Последние подразделяются на технологические, санитарно-технические и медико-профилактические и имеют соответствующую порядку приоритетность.

Технологические мероприятия предполагают изменение производственного оборудования и технологического процесса. К ним относятся замена канцерогенных веществ неканцерогенными, автоматизация непрерывного технологического процесса для предотвращения канцерогенного воздействия на переходах между этапами, разработка безотходных и малоотходных технологий, комплексная механизация процессов, герметизация технического оборудования, дистанционный контроль и управление технологическими процессами. Актуальным способом является деканцерогенизация канцерогена в сырье и в продукции.

Санитарно-технические мероприятия включают в себя средства коллективной и индивидуальной защиты. К средствам коллективной защиты относятся объемно-планировочные решения, рациональная организация вентиляции, оборудование и препараты для дезинфекции и стерилизации, а также применение заградительных устройств и знаков безопасности. К средствам индивидуальной защиты относятся изолирующие костюмы, средства защиты органов дыхания такие, как противогазы, респираторы, пневмомаски и др., средства защиты ног (боты, галоши) и рук (рукавицы, перчатки), средства защиты головы (каска, шлемы, косынки), глаз и лица (защитные очки, щитки), а также средства защиты кожных покровов (кремы, мази, очистители кожи, защитные пасты).

Медико-профилактические мероприятия заключаются в проведении обязательных медицинских осмотров, витаминoproфилактику, рациональное питание и диспансеризацию. Данные мероприятия позволяют оценить динамику состояния здоровья работников, выявить предопухолевые состояния, произвести профилактику возникновения новообразований у работников путем рационализации питания и употребления витаминов.

Проведение предприятиями санитарно-гигиенической паспортизации и соглашение «Гигиенического паспорта канцерогеноопасного производства» с государственным надзором обеспечивает выполнение необходимых мер по предотвращению или ограничению канцерогенного воздействия на работников. При этом важную роль играет ответственное отношение работника к выполнению профилактических мероприятий, которое в значительной мере определяет его защищенность на рабочем месте.

### **Список использованных источников**

1. Производственные канцерогены. Паспортизация канцерогенноопасных производств. Методические рекомендации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.bsmu.by/downloads/kafedri/k\\_gig\\_tryd/stud/2016-2/metod/koncerogen.pdf](https://www.bsmu.by/downloads/kafedri/k_gig_tryd/stud/2016-2/metod/koncerogen.pdf). – Дата доступа: 27. 03. 2023.
2. Канцерогенная опасность. – Режим доступа: <https://gorses-grodno.by/kancerogennaya-opasnost.html>. – Дата доступа: 27. 03. 2023.
3. Перечень веществ, продуктов, производственных процессов, бытовых и природных факторов, канцерогенных для человека: Постановление Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 29. 04. 1998 г. №18 //Гигиенические нормативы. – 1998. – №18. – 9 с.

**Анализ современных вторичных топливно-энергетических ресурсов и перспективы утилизации энергии отработавших газов двигателей внутреннего сгорания**

Магистрант Конч С.А.

Научный руководитель - Белохвостов Г.И.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Под вторичными топливно-энергетическими ресурсами (ВТЭР) понимается энергетический потенциал продукции, отходов, побочных и промежуточных продуктов, образующихся в технологических агрегатах (установках, процессах), который не используется в самом агрегате, но может быть частично или полностью использован для энергоснабжения других агрегатов (процессов).

Структура ВТЭР определяется источниками их выхода, параметрами и фазовым состоянием.

Существуют два вида ВТЭР: внешние, образующиеся как побочный результат промышленных технологий, не связанных с предприятиями АПК, и внутренние, образующиеся непосредственно на предприятиях (объектах) отрасли.

К внешним ВТЭР относятся тепловые отходы, образующиеся на предприятиях других отраслей промышленности (металлургических, нефтехимических, машиностроительных и т. д.), где теплоту относительно низкого потенциала непосредственно не используют. Другим примером внешних ВТЭР является потенциальная энергия сжатого природного газа. При подходе к потребителю давление в газопроводе снижают, т. е. происходит дросселирование газа, при котором снижается его температура. Конечная температура газа (порядка  $-100^{\circ}\text{C}$ ) приемлема для нужд промышленного хранения различных продуктов и сырья. В ряде стран для производства пищевых продуктов широко используются геотермальные источники теплоты. Например, имеются страны, которые полностью обеспечивает себя картофелем, яблоками и даже бананами, выращиваемыми в защищенном грунте. Использование внешних ВТЭР не только снижает затраты энергии на предприятиях АПК, но и способствует охране окружающей среды от порой малозаметных, но все же неблагоприятно влияющих на климат тепловых выбросов.

Однако необходимо отметить, что использование внешних ВТЭР, хотя и сулит значительные экономические преимущества, требует решения ряда серьезных вопросов. Сложность проблемы заключается прежде всего в том, что выгода, получаемая в отрасли АПК, предопределяет организационные трудности, которые требуется решать в других отраслях промышленности.

Здесь единственным выходом является кооперирование предприятий различных отраслей по потенциалу используемой энергии (предположительно: металлургические предприятия – пищеперерабатывающие предприятия - агротеплофикация), что представляется очень сложным, особенно в настоящее время.

В связи с изложенным, наиболее перспективным является использование внутренних ВТЭР, образующихся непосредственно на предприятиях (объектах) АПК, т. к. оно предусматривает наименьшие экономические затраты.

К внутренним ВТЭР относятся: уходящие дымовые газы технологических печей и котельных установок, отработавшие продукты сгорания топлива двигателей внутреннего сгорания (ДВС), пароконденсаторная смесь и вторичный (соковый) пар, сбросные горячие и теплые воды, отработанный воздух сушильных установок и термокамер, вентиляционные выбросы, физическая теплота продукции, энергия биологического сырья.

Для оценки целесообразности использования какого-либо ВТЭР применяется эксергетический метод, согласно которому все ВТЭР можно условно разделить на три группы по кри-

терию качества  $R$ :  $R > 0,10$  – перспективные (высокопотенциальные);  $R = 0,07 \div 0,10$  – менее перспективные (среднепотенциальные);  $R < 0,07$  – малоперспективные (низкопотенциальные). Однако технико-экономическую целесообразность использования отдельных вторичных энергоресурсов следует обосновывать с помощью их себестоимости.

Следует отметить, что ВТЭР среднего потенциала в основном используются для обогрева кузовов и салонов транспортных средств, технологических аппаратов, отопления и кондиционирования помещений, на нужды агротеплофикации. ВТЭР высокого потенциала направляют для получения пара на нужды отопления. ВТЭР низкого потенциала используют для кондиционирования, подогрева воды, технологических нужд и нужд агротеплофикации.

Технико-экономический анализ установок для использования среднепотенциальных ВТЭР, к которым прежде всего относятся отработавшие газы (ОГ) двигателя внутреннего сгорания (ДВС), на нужды отопления или выработки электроэнергии с возвратом в бортовую сеть транспортного средства, подтверждает целесообразность их широкого внедрения.

Тепловые двигатели сегодня вырабатывают более 80 % всей энергии в мире и одновременно занимают первое место среди первичных источников загрязнения окружающей среды, так как только с их ОГ теряется и бесполезно отводится в атмосферу от 30 до 40 % энергии сжигаемого топлива. В этой связи широкое использование в народном хозяйстве страны вторичных энергоресурсов в ДВС, к которым прежде всего следует отнести ОГ, является важной технической и экологической задачей в условиях складывающегося дефицита топливно-энергетических ресурсов и считается одним из путей повышения термодинамической эффективности и эксплуатационных характеристик энергосиловых установок.

При этом выбросы ДВС транспортных средств занимают первое место среди первичных источников загрязнения атмосферы.

Вместе с тем ОГ являются распространенным и достаточно мощным источником ВТЭР, с которыми отводится в окружающую среду от 25 до 35 % энергии сжигаемого в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) ценного топлива. Применение на энергосиловых установках систем внешней утилизации теплоты ОГ сегодня рассматривается как один из основных путей снижения удельного расхода топлива и уменьшения загрязнения окружающей среды токсичными компонентами.

Процессы утилизации энергии ОГ ДВС способствуют снижению температуры газов, возрастанию плотности, уменьшению скорости потока и падению давления, т. е. имеет место эффект (закон Л. А. Вулиса) теплового торможения газового потока, обуславливающего снижение уровня шума, токсичности отработавших газов при меньшем противодавлении, положительно влияют на эффективные показатели работы ДВС.

### Список использованных источников

1. Груданов, В. Я. Влияние процессов утилизации энергии отработавших газов на токсичность и эффективные показатели работы двигателей внутреннего сгорания / В. Я. Груданов, Г. И. Белохвостов, Л. Т. Ткачева // Горная механика и машиностроение. – 2023. – № 1. – С. 39–50.

2. Влияние процессов утилизации энергии отработавших газов поршневых двигателей внутреннего сгорания на газодинамические и акустические характеристики глушителей шума / В. Я. Груданов [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. фізіка-тэхнічных навук. – 2022. – Т. 67, № 3. – С. 307–317.

3. Акуленко С. В. Использование теплоты отработавших газов в автофургонах для перевозки хлебобулочных изделий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05. 18. 12 / С. В. Акуленко; Могилевский технологический институт. — Могилев, 1995. — 21 с.

## К расчету глушителей аэродинамического шума

Студенты гр. 9,8 от Магало Е.В., Рубчевская Д.В., Скоробогатая А.А.  
 Научные руководители: Белохвостов Г.И., Кунаш М.В.  
 Белорусский государственный аграрный технический университет  
 г. Минск

В современных условиях шум является одним из ведущих факторов загрязнения окружающей среды, связанный с ростом городов и развитием технологий. Воздействие шума на человека становится все более актуальной проблемой. Особое место занимает шум производственного происхождения, уровень которого существенно вырос. Воздействие повышенных уровней шума на работающих обусловлено все более широким применением высокопроизводительного оборудования, увеличением скорости технологических процессов при эксплуатации промышленного оборудования.

За 2021 г. В Республике Беларусь распределение по основным нозологическим формам в группе профессиональных заболеваний, обусловленных воздействием физических факторов трудового процесса: по-прежнему превалирует нейросенсорная тугоухость – 85,7% от количества всех заболеваний в данной группе.

Для снижения аэродинамического шума (шума турбулентного перемешивания выхлопной струи с окружающей атмосферой) при работе компрессоров, пневмоустройств, турбореактивных, реактивных двигателей и т. д., основное внимание уделяется конструированию глушителей. Выбор того или иного типа глушителя определяется необходимым уровнем снижения шума, его спектром, мощностью источника, физическими свойствами материала: высоким звукопоглощением в требуемом диапазоне частот, малым объемным весом, экономичностью и т. д. Важно, чтобы глушители оказывали небольшое гидравлическое сопротивление. Цель, которую необходимо достигнуть при разработке глушителя, состоит в том, чтобы в определенных точках шум был допустим для людей и не мешал нормальному течению технологического процесса. Решение задачи включает следующие этапы:

- определение допустимого шума;
- расчет шума в точке наблюдения по известной акустической характеристике источника, шум которого необходимо снизить;
- определение необходимой акустической эффективности глушителя;
- выбор схемы глушителя и конструкции звукопоглощающих элементов;
- акустический и гидравлический расчеты глушителя. Снижение уровня мощности шума  $L_w$  в глушителе определяется по формуле:

$$L_w = L_w - [L]20 \lg r - \Delta L_a - 10 \lg \phi,$$

где  $L_w$  - уровень акустической мощности источника;  $[L]$  - допустимый уровень шума;  $r$  - расстояние от установки до точки наблюдения;  $\phi$  - фактор направленности;  $\Delta L_a$  - затухание в атмосфере.

Допустимый уровень шума выбирается исходя из общего шумового фона местности, где расположен источник условий его работы и гигиенического норматива.

Акустическая характеристика источников определяется экспериментальным или расчетным путем.

Приблизительно расчет дозвуковой свободной газовой струи можно провести по следующей методике.

Суммарная звуковая мощность струи  $W$  определяется по формуле Лайтхилла:

$$W = k \frac{\rho_c^2 V_c^8}{\rho_0 c_0^5} D^2 \frac{I}{\left( \frac{T_o}{T_c} \cdot 0,6 + 0,4 \right)^2},$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, равный  $3 \cdot 10^{-5}$ ;  $\rho_c$  – плотность потока свободной струи, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_0$  – плотность неподвижной среды (воздуха), кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_0 \approx 1,23$ );  $V_c$  – скорость потока, м/с;  $C_0$  – скорость звука в неподвижном воздухе, м/с;  $D$  – диаметр сопла, м;  $T_o$  – абсолютная температура окружающего воздуха, К;  $T_c$  – абсолютная температура струи, К.

Составляющие спектра звуковой мощности в 1/3-октавных полосах частот

$$L_{wi} = L_w + \Delta L_{wi},$$

где  $\Delta L_{wi}$  – составляющие безразмерного спектра звуковой мощности.

При этом частота шума определяется по формуле:

$$Sh = \frac{fD}{V_c},$$

где  $Sh$  – число Струхаля;  $f$  – средняя частота 1/3-октавной полосы шума;  $D$  – диаметр сопла;  $V_c$  – скорость струи на выходе из сопла.

Уровень суммарного звукового давления  $L$  в точках, расположенных в дальнем поле на расстоянии  $r$  от выхлопа струи, определяется по формуле:

$$L = 10 \lg \frac{w}{w_0} \cdot \frac{I}{4\pi r^2} + 10 \lg \phi = L_w - 20 \lg r - \theta + (I + b) 10 \lg \phi,$$

где  $\theta = \Pi_g B$  при излучении в сферу;  $\theta = 8gB$  при излучении в полусферу,  $B = 0,3 \frac{T_c - T_o}{T_o}$ .

Фактор направленности  $\Phi$  шума определяется по соответствующим кривым.

Уровни составляющих спектра звукового давления в 1/3-октавной полосе

$$Lg = L + \Delta L_i,$$

где  $\Delta L_i = \gamma(Sh)$  – составляющие безразмерного спектра шума.

Уровень суммарного звукового давления вдоль границы струи определяется по формуле:

$$L = L_w + \frac{40}{\sqrt{P_c}} - 0,6 \frac{x}{D} - 20 \frac{a}{D}$$

где  $P_c$  – перепад давления в сопле;  $a$  – расстояние от границы струи, принимая полный угол ее раскрытия  $2\alpha = 20^\circ$ ,

$$\begin{aligned} \text{а) } x/D > 4 & \quad Sh = \left( \frac{0,2}{x/D} \right)^{0,38} \\ \text{б) } x/D \geq 4 & \quad Sh = \left( \frac{1,8}{x/D} \right)^{1,45} \end{aligned}$$

Скорость истечения газа,  $V_c$ , м/с можно определить по формуле:

$$V_c = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{R}{\mu} T \left[ I - \left( \frac{P}{P+P_o} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]},$$

где  $k = C_p / C_v$  – отношение теплоемкости газа при постоянном давлении к теплоемкости газа при постоянном объеме;  $R = 8,31 \cdot 10^7$  Дж/(кмоль·град) – универсальная

газовая постоянная;  $\mu$  – молекулярный вес газа;  $T$  – абсолютная температура, К;  $P_0$  – давление в среде, в которую вытекает струя, Па;  $P$  – избыточное давление газа в сопле перед истечением, Па.

При вычислении скорости истечения нужно иметь в виду, что для обычных сопел скорость истечения не может превышать критическую скорость:

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} \frac{R}{\mu} T}$$

равную скорости звука в истекающей газовой струе. Сверхзвуковая скорость истечения возможно лишь в соплах Лавалья.

Плотность газа в сопле перед истечением определяется по формуле:

$$\rho = \rho_0 \left( \frac{P + P_0}{P_0} \right)^{\frac{1}{k}}$$

Критическая скорость для воздуха ( $k = 1,4$ ;  $\mu = 29$ ), истекающего из сопла в атмосферу, при нормальных атмосферных условиях  $V_c = 312$  м/с достигается при избыточном (критическом) давлении  $P_{кр} = 8,8 \cdot 10^4$  Па (0,9 атм). Поскольку в обычных технических устройствах избыточное давление в сопле, как правило, превышает указанное значение, то  $v = 312$  м/с и звуковая мощность, излучаемая струей, зависит главным образом от плотности газа в сопле и его диаметра.

Исследованиями показано, что спектр шума струи является практически сплошным. Он в значительной мере зависит от расположения точки измерения. Высокочастотный шум создается участками струи, расположенными вблизи сопла, низкочастотный шум создается участками газового потока, находящимися ниже по течению струи. Звуковая мощность, излучаемая элементарным объемом, находящимся в начальном участке струи, незначительно зависит от расположения объема относительно среза сопла. В основном участке струи (при удалении от сопла) звуковая мощность элементарного объема струи резко падает приблизительно пропорционально седьмой степени расстояния от сопла. Звуковая мощность, излучаемая начальным участком струи, составляет около 50% всей звуковой мощности струи. Таким образом, основная доля шума излучается участками струи, находящимися на расстоянии шести диаметров струи от среза сопла. Это нужно учитывать при конструировании глушителя.

### Список использованных источников

1. Рыбина, А. Л. Шум как физический фактор. Влияние на организм и профилактика на производстве / А. Л. Рыбина, И. П. Семенов // Охрана труда. Технологии безопасности. — 2021. — № 7. — С. 74—79.
2. Микулич, И. В. Профессиональная заболеваемость в 2021 году / А. Л. Микулич // Охрана труда. Технологии безопасности. — 2022. — № 4. — С. 21—27.
3. Иголкин, А. А. Разработка глушителей аэродинамического шума пневматических и газотранспортных систем / А. А. Иголкин. - Самара, 2015. — 31 с.
4. Яременко, С. А. Повышение эффективности глушителей аэродинамического шума систем вентиляции / С. А. Яременко. – Воронеж, 2008. – 17 с.
5. Богданов, А. Е. Глушители аэродинамического шума / Сост. А. Е. Богданов, Ю. В. Карпов. – Москва, 1979. – 19 с.

**К вопросу обеспечения пожарной безопасности  
торгово-развлекательного центра «Dana Mall»**

Студент гр. 11101117 Хасанов С.М.  
Научный руководитель - Ушакова И.Н.  
Белорусский национальный технический университет

Согласно СН 2. 02. 05-2020 «Пожарная безопасность зданий и сооружений» здание Dana Mall по функциональной опасности относится к классу Ф3. 1 (здания по обслуживанию населения, предприятия торговли). Данный нормативный документ определяет предельно допустимую площадь этажа и этажность в зданиях предприятий торговли и эти требования выполнены.

Требования по пожарной безопасности для здания Dana Mall необходимо выполнять также в соответствии с СН 3. 02. 02-2019 «Общественные здания». Данный СН устанавливает требования по пожарной безопасности при проектировании общественных зданий и сооружений, при разработке проектной документации на возведение, реконструкцию, капитальный ремонт и реставрацию.

Так как здания Dana Mall относятся к общественным зданиям, поэтому должны быть учтены требования по пожарной безопасности к проектированию зданий и помещений розничных торговых объектов (площадь застройки, этажность), учтены требования пожарной безопасности в подвальных и цокольных этажах, кратность воздухообмена и расчетная температура воздуха, высота помещений, требование по пожарной безопасности к зрительным залам, лифтовым холлам.

Работа торгово-развлекательного центра (ТРЦ) связана с постоянным потоком посетителей разных возрастов и социальных групп, наличием торговых и развлекательных зон. Как и другие объекты, где предполагается большое скопление людей, пожарные риски для ТРЦ носят повышенный характер.

Пожарная безопасность торгового центра должна обеспечить предотвращение задымлений и возгораний, своевременное выявление пожаров и их тушение, быструю и полную эвакуацию посетителей, персонала. Обязанности по обеспечению пожарной безопасности возлагаются на владельца ТРЦ, руководителей торговых точек и арендаторов помещений.

Dana Mall – самый крупный торгово-развлекательный центр в Республике Беларусь, соответствующий и международным стандартам.

Данный ТРЦ оснащен самыми новыми системами оповещения и пожаротушения по пожарной безопасности. В ТРЦ находится диспетчерская, где сходятся все касающиеся пожарной безопасности сигналы со всего центра. Срабатывает система собственной пожарной безопасности: система дымоудаления, пожаротушения и оповещения. Датчики срабатывают при температуре 57 градусов. Такая система оповещения и тушения пожара в Беларуси одна. Также в здании нет дверей, которые закрываются на ключ – двери открываются автоматически в момент подачи сигнализации.

Стеклянные купола крыши имеют систему дымоудаления. При срабатывании двух пожарных извещателей, раскрываются отдельные части куполов.

Большое значение для обеспечения пожарной безопасности имеет характеристика строительных материалов, отделочных материалов. Строительные и отделочные материалы имеют самые высокие свойства по пожаробезопасности. Они взяты класса пожарной опасности КО (не пожароопасные), группы Г1 (слабогорючие), В1 (трудновоспламеняемые), Т1 (малоопасные), Д1 (с малой дымообразующей способностью).

Все этажи здания Dana Mall снабжены планами эвакуации, эвакуационными путями и выходами, световыми табло и громкоговорителями системы эвакуации. По всему торговому

центру расстановлены огнетушители. Предусмотрено отключение лифтов и эскалаторов в пожароопасных ситуациях. Немалое значение имеет обученность персонала действию в случае пожара. В ТРЦ существует группа специалистов, которые наблюдают за ситуацией круглосуточно.

Могут возникнуть сложности и при тушении пожаров в ТРЦ. Чем выше посещаемость центра, тем сложнее будет организация подъезда спецтехники, медицинских расчетов. Поэтому еще на стадии проектирования запланированы подъездные пути. Специалисты ТРЦ постоянно следят за отсутствием на них машин посетителей.

Все предусмотренные решения по пожарной безопасности в Dana Mall обеспечат уменьшение пожарных рисков, увеличат скорость эвакуации людей из всех помещений и со всех этажей. Состояние пожарной безопасности Dana Mall находится под строгим контролем МЧС.

**Специальное расследование несчастных случаев**

Студенты гр. Борисенко Е.А., Свирский В.С.  
Научный руководитель - Шрубенко Т.П.  
Белорусский национальный технический университет

Охрана труда является одним из важнейших аспектов деятельности любого предприятия или организации. Предотвращение несчастных случаев и производственных заболеваний - одна из главных задач, которую ставят перед собой специалисты по охране труда. Однако, несмотря на все предпринимаемые меры, несчастные случаи все еще происходят, что подчеркивает необходимость проведения специальных расследований для выявления причин и обстоятельств произошедшего и принятия мер, чтобы такие происшествия не повторялись в будущем. В данной научной работе мы рассмотрим основные аспекты специального расследования несчастных случаев и его важность для обеспечения безопасности труда.

Специальное расследование несчастных случаев – это один из важных инструментов в системе охраны труда. Оно позволяет выявлять причины несчастных случаев, производственных заболеваний и других производственных происшествий, а также разрабатывать меры по их предотвращению. Позволяет определить, было ли происшествие связано с несоблюдением требований по охране труда, недостаточной подготовкой персонала, несоответствием используемого оборудования или другими факторами. Результаты расследования позволяют принимать меры по предотвращению аналогичных ситуаций в будущем, а также корректировать систему охраны труда на предприятии.

Расследование проводится независимым отделом или комиссией, которая состоит из представителей администрации предприятия, профсоюзов и специалистов по охране труда.

В процессе расследования определяются следующие факторы:

- причины несчастного случая;
- обстоятельства, приведшие к несчастному случаю;
- действия персонала, приведшие к несчастному случаю;
- меры, предпринятые для предотвращения несчастного случая;
- результаты и выводы по результатам расследования.

Результаты расследования должны быть оформлены в соответствующем протоколе, который должен содержать следующие сведения:

- дата и место происшествия;
- сведения об участниках происшествия;
- описание происшествия;
- сведения о проведенных мерах;
- выводы и рекомендации.

Одним из важных этапов расследования является анализ действий персонала, который был свидетелем или участником происшествия. Это позволяет выявить нарушения требований по охране труда, а также установить, нуждается ли персонал в дополнительном обучении или повышении квалификации. Важно также провести анализ производственного процесса и выявить возможные проблемные зоны, которые могут привести к несчастным случаям.

Результаты расследования должны быть оформлены в соответствующем протоколе, который содержит подробную информацию о происшествии, проведенных мерах и рекомендациях по улучшению системы охраны труда. Этот протокол является важным документом для руководства предприятия и службы охраны труда, поскольку на его основе принимаются решения о необходимости внесения изменений в систему охраны труда.

Существует множество причин, которые могут привести к несчастным случаям на производстве. Одной из главных причин является несоблюдение требований по охране труда. Например, некачественное оборудование, неисправное электрическое оборудование, отсутствие средств индивидуальной защиты или их неправильное использование могут стать причиной несчастных случаев. Другой причиной является недостаточная квалификация и подготовка персонала. Недостаточная подготовка может привести к неправильному использованию оборудования, неумению работать с опасными веществами или неспособности быстро и правильно реагировать на происходящие события.

Пример: на дорожно-строительной площадке произошёл тяжелый несчастный случай с участием рабочего. Он получил серьезные травмы в результате падения с высоты, когда пытался снять строительный кран с троса. Случай был зарегистрирован, и была назначена комиссия для проведения специального расследования. Комиссия начинает работу с описания происшествия и сбора всех доступных доказательств. Кроме того, она изучает все доступные документы, связанные с работами на стройплощадке, включая проекты, технические условия, инструкции по охране труда, переписку между заказчиком и подрядчиком, а также отчеты о предыдущих несчастных случаях на этом объекте. Далее, комиссия проводит собеседования с работниками, которые были свидетелями или участниками происшествия, а также с представителями заказчика и подрядчика. Они задаются вопросами о ходе работы, технических деталях, условиях труда и охране труда. Комиссия также обращается к экспертам, чтобы получить техническую и научную помощь в выявлении причин аварии. Например, может быть вызван специалист по безопасности в работе на высоте, инженер-конструктор или другой эксперт в соответствующей области. После сбора всех данных и проведения анализа, комиссия подводит итоги. Она определяет причины аварии, нарушения правил охраны труда и устанавливает ответственных лиц. Также комиссия формулирует рекомендации по улучшению условий труда и предотвращению подобных происшествий в будущем. В данном случае, комиссия выявила, что рабочий не имел соответствующей квалификации и опыта работы на высоте, не соблюдал правила охраны труда, а также работал на устаревшем оборудовании. Комиссия предложила внести изменения в систему обучения рабочих, внедрить более безопасные технологии и оборудование, а также ужесточить контроль за соблюдением правил охраны труда на строительной площадке.

Таким образом, специальное расследование несчастных случаев является важным элементом системы охраны труда. Оно позволяет выявлять причины и обстоятельства несчастных случаев и разрабатывать меры по их предотвращению. Правильно проведенное расследование может способствовать улучшению условий труда и снижению числа производственных происшествий.

#### **Список использованных источников**

1. <https://ohranatruda.of.by/poryadok-rassledovaniya-neschastnykh-sluchaev-na-proizvodstve.html>
2. <https://erudo.by/zhurnal/statia/poryadok-rassledovaniya-neschastnyh-sluchaev-chtodolzhen-znat-zaveduyushchij>
3. <https://suot.by/kakov-poryadok-provedeniya-specialnogo-rassledovaniya-neschastnogo-sluchaya.html>

Студент гр. 11403119 Ветров А.Н.  
Научный руководитель - Шрубенко Т.П.  
Белорусский национальный технический университет

Охрана труда обеспечивает создание безопасных условий труда: санитарных правил и норм, техники безопасности. Соблюдение производственной санитарии на дорожном строительстве из-за его большого расстояния и чаще удаленности от населенных пунктов имеет большое значение. Дабы сохранить производственную санитарию на линейных работах устанавливают передвижные, а на других неподвижные санитарно-бытовые помещения.

По технике безопасности дорожного строительства проводят основные мероприятия, такие как:

- Ознакомление с правилами техники безопасности и охраны труда;
- выбор и назначение ответственных лиц;
- проведение вводного инструктажа;
- обучение рабочих технике безопасности;
- ограждение движущихся частей стационарных машин;
- если необходимо, установка пылеулавливателей и вентиляций;
- оборудование самоходных дорожных машин звуковой и световой сигнализацией;
- ограждение мест работы и стоянок дорожных машин;
- обеспечение рабочих спецодеждой, средствами индивидуальной защиты;
- перевозка людей только на специальных транспортных средствах.

Автомобильная дорога плотно связана с окружающей средой. Иной одиночный объект производственного или бытового назначения можно представить по отношению к среде как локальное пятно.

Дорога – полоса, искусственно приспособленная для специального использования. Функциональные параметры дороги отличаются от параметров окружающей территории, несмотря на её характер и назначение.

При производстве множества технологических процессов, которые связаны со строительством дороги, окружающая среда загрязняется.

По характеру и степени воздействия технологические процессы при строительстве автомобильных дорог делятся на:

- разработку, перемещение и укладку грунта и других минеральных материалов при возведении земляного полотна и устройстве оснований дорожных одежд;
- подготовка материалов и изделий на производственных предприятиях дорожного строительства;
- укладку и монтаж материалов и конструкций;
- деятельность приобъектных пунктов обеспечения дорожного строительства.

Главные мероприятия по уменьшению загрязнения направлены на уменьшение токсичности выхлопных газов.

Технологические процессы строительства автомобильных дорог являются источником интенсивного шума и вибрации, которые негативно воздействуют на здоровье людей, участвующих в технологических процессах и живущих в прилегающей жилой застройке. Сильный внешний шум создается при работе дорожно-строительных машин.

Чтобы уменьшить уровень шума стараются снизить шум дорожно-строительных машин. Так же применяют экраны, отражающие или поглощающие звук.

Технологические процессы строительства автомобильных дорог негативно влияют на человека, растения и животных. Для того чтобы защитить растения нужно значительно уменьшить объем и концентрацию выброса токсичных веществ.

Сточные воды очищают механическим, химическим и биологическим методами. Дабы уменьшить вынос загрязняющих веществ со сточными водами организуют постоянную уборку территорий и ограждают строительные площадки с упорядочением отвода поверхностных вод.

Основные мероприятия по охране труда и природы при дорожном строительстве предусматривают с целью обеспечения безопасных условий труда и сохранения окружающей среды, учитывая степень вредных воздействий и опасности выполнения технологических процессов.

При этом необходимо обязательно соблюдать требования промышленной санитарии, охраны труда и противопожарной техники, предусмотренных действующими законоположениями, нормами и правилами.

Воздействие неблагоприятных атмосферных условий, влияние токсических свойств используемых материалов, вибрация, пыль, шум, недостаточное освещение и другие факторы могут привести к заболеваниям и потере трудоспособности рабочих. Нарушение правил техники безопасности может привести к травматизму. Необходимо учитывать противопожарные требования, в первую очередь на пожароопасных объектах. Все самоходные машины и транспортные средства должны быть оборудованы средствами тушения пожара в связи с возможностью возгорания горюче-смазочных материалов. Все мероприятия по охране труда следует проводить планомерно, в течение всего периода производства работ.

Технологический процесс, осуществляемый при строительстве дорог, не должен наносить вреда окружающей среде. С этой целью при производстве работ необходимо обязательно предусматривать комплекс соответствующих мероприятий применительно к данному объекту строительства.

Главные действия по охране труда и окружающей среды в дорожном строительстве нацелены на поддержание безопасных условий труда и сохранение окружающей среды.

При этом нужно следовать требованиям промышленной санитарии, охраны труда и противопожарной техники, предусмотренным действующими нормами и правилами.

Такие факторы как воздействие неблагоприятных атмосферных условий, токсических свойств используемых материалов, вибрация, пыль, шум, нехватка освещения и другие могут привести к болезням и потере трудоспособности рабочих. Несоблюдение правил техники безопасности может привести к травматизму. Все мероприятия по охране труда проводятся в течение всего периода производства работ.

## Меры по профилактике виброболезни

Студент гр. 11403119 Викин Е.Н.  
Научный руководитель - Шрубенко Т.П.  
Белорусский национальный технический университет

Вибрация на рабочих местах может приводить к серьезным последствиям для здоровья работников, таким как виброболезнь. Данное состояние может привести к снижению работоспособности и даже инвалидности. В связи с этим, профилактика виброболезни является важной задачей для всех работодателей и работников. В данной научной работе мы рассмотрим меры по профилактике виброболезни на рабочих местах, которые могут снизить риск возникновения данного состояния и обеспечить безопасность и здоровье работников.

Виброболезнь - это медицинское состояние, вызванное длительным воздействием вибрации на тело человека. В связи с этим, важно принимать меры по профилактике виброболезни на рабочих местах. Виброболезнь может возникать по разным причинам, включая:

- работа с вибрирующим оборудованием: работа с инструментами, такими как дрели, молотки, шлифовальные машины и т. д., может привести к длительному воздействию вибрации на тело работника;

- движение транспортных средств: работа на транспортных средствах, таких как грузовики, тракторы и т. д., может привести к длительному воздействию вибрации на тело;

- работа на вибрирующих поверхностях: работа на вибрирующих поверхностях, таких как бетонные полы или плохо сбалансированные столы, может привести к длительному воздействию вибрации на тело;

- длительное использование портативных устройств: длительное использование портативных устройств, таких как мобильные телефоны или планшеты, может также привести к длительному воздействию вибрации на тело;

- неправильная техника работы: неправильная техника работы с вибрирующими инструментами или на вибрирующих поверхностях может увеличить риск возникновения виброболезни;

- индивидуальная чувствительность: некоторые люди более чувствительны к вибрации, что может увеличить риск развития виброболезни;

Понимание причин возникновения виброболезни может помочь в разработке эффективных мер по ее предотвращению на рабочих местах. Следующие меры могут помочь в профилактике виброболезни:

- использование специального оборудования: на рабочих местах, где есть вибрация, необходимо использовать специальное оборудование, которое может снизить уровень вибрации на теле работника. Это может быть кресло с подушкой, наполненной жидкостью, специальная ручка для инструментов, а также другие устройства;

- организация правильной работы: необходимо обучать работников правильной технике работы, чтобы снизить воздействие вибрации на тело. Например, правильная техника дрели или молотка может снизить количество вибрации, которую они создают;

- регулярный отдых: регулярные перерывы на отдых помогают снизить риск возникновения виброболезни. Работники должны делать перерывы каждые несколько часов и совершать легкие упражнения, чтобы размять тело;

- использование защитных средств: защитные перчатки и обувь могут снизить воздействие вибрации на тело работника;

- постоянный мониторинг: необходимо постоянно отслеживать уровень вибрации на рабочих местах и принимать меры по снижению его уровня, если это необходимо;

- Обучение работников: работники должны быть обучены признакам и симптомам виброболезни, а также о том, как ее предотвратить;

Таким образом, виброболезнь является серьезным заболеванием, которое может привести к ограничению качества жизни человека. Однако, принятие соответствующих мер по профилактике и контролю уровня вибрации на рабочих местах может помочь предотвратить ее возникновение. Необходимо обучать работников правильной технике работы, использовать специальное оборудование и защитные средства, а также организовывать регулярные перерывы на отдых. Важно также проводить постоянный мониторинг уровня вибрации и обучать работников о признаках и симптомах виброболезни. Профилактические меры должны быть включены в общую систему охраны труда и контролироваться на постоянной основе. Это позволит снизить риск возникновения виброболезни и обеспечить безопасные условия труда для работников.

#### **Список использованных источников**

1. <https://www.iloencyclopaedia.org/ru/part-xvi-62216/construction/major-sectors-and-their-hazards?start=1180>

2. <http://46cge.rosпотреbnadzor.ru/content/вибрация-на-рабочих-местах>

3. <https://infourok.ru/nauchnaya-statya-na-temu-vliyanie-shuma-na-cheloveka-4400505.html>

Студент гр. 11403319 Гинько М.С.  
Научный руководитель - Шрубенко Т.П.  
Белорусский национальный технический университет

Конструкция автомобильных дорог в Республике Беларусь требует соблюдения высоких стандартов охраны труда. Работы по строительству автодорог связаны с множеством рисков и опасностей, таких как падение с высоты, травмы, пожары и даже смерть. Поэтому правильная организация охраны труда является одним из ключевых аспектов строительства дорог. При строительстве автодорог в Беларуси применяются многочисленные меры по обеспечению безопасности и охраны труда. Кроме того, в нашей стране существует система обязательного страхования от несчастных случаев на производстве, что позволяет защитить интересы работников и уберечь их от неприятных последствий.

Одной из основных мер по обеспечению безопасности является подготовка и обучение рабочих перед началом работы. Все работники проходят обязательное обучение по правилам и мерам охраны труда. Обучение проводится специалистами, которые прошли соответствующую подготовку и имеют сертификаты на право проведения обучения. Кроме того, работники проходят обучение по пожарной безопасности, оказанию первой помощи и другим необходимым знаниям. Важным элементом охраны труда является обеспечение специальной защитной одежды и оборудования. Рабочие должны быть оснащены защитными шлемами, очками, наушниками, защитными костюмами, перчатками, ботинками и другими необходимыми средствами защиты. Для работы на высоте применяются специальные устройства, такие как строительные леса, тросы и другие средства подъема.

Одним из главных мероприятий, направленных на обеспечение безопасности на стройплощадке, является создание безопасных зон. Ограждения, конусы и другие средства используются для предотвращения доступа на опасные участки. Также проводится маркировка участков, на которых ведутся работы, для увеличения осведомленности рабочих и проезжающих машин. Важным аспектом охраны труда является внедрение системы контроля и управления охраной труда на стройплощадке. Это включает в себя контроль за соблюдением правил и инструкций по охране труда, обнаружение и устранение возможных опасностей, проведение проверок оборудования и средств защиты, а также разработку мероприятий по улучшению охраны труда на основе анализа результатов проверок и отчетности.

Помимо этого, важным элементом охраны труда на стройплощадке является организация дежурных бригад, которые быстро реагируют на возможные аварийные ситуации и оказывают первую помощь пострадавшим. Также на стройплощадке должны быть организованы пункты первой медицинской помощи и обеспечена наличие необходимых медицинских средств и препаратов.

Для эффективной работы охраны труда на строительстве автомобильных дорог в Беларуси используются современные технологии и оборудование. Например, при строительстве мостов применяются специальные автоподъемники, которые обеспечивают безопасный подъем на высоту. Также широко применяются системы автоматического управления строительной техникой и оборудованием, которые позволяют снизить риск несчастных случаев и повысить эффективность работы. В целом, охрана труда при строительстве автомобильных дорог в Беларуси является важным и неотъемлемым элементом процесса строительства. Систематические меры по обеспечению безопасности на стройплощадке позволяют снизить риск несчастных случаев и уберечь работников от опасностей, связанных с выполнением строительных работ. Правильная организация охраны труда способствует улучшению условий работы на стройке и повышению производительности труда.

Кроме того, важным аспектом охраны труда на стройплощадке является подготовка и обучение персонала. Все работники, задействованные в строительстве автомобильных дорог, должны проходить обучение по правилам и мерам безопасности на рабочем месте. Это включает в себя знакомство с правилами работы с тяжелым оборудованием, правилами работы на высоте, правилами электробезопасности и т. д. Также важно обеспечить работников необходимой защитной одеждой и средствами индивидуальной защиты. Это включает в себя шлемы, защитные очки, специальную обувь, перчатки, маски и другие средства, которые необходимы для обеспечения безопасности на рабочем месте. Одним из основных элементов охраны труда на строительстве автомобильных дорог является соблюдение строительных норм и правил. На каждом этапе строительства необходимо следить за соблюдением норм и правил, чтобы предотвратить возможные опасности и аварийные ситуации. Также необходимо строго контролировать качество материалов и оборудования, чтобы исключить возможность несчастных случаев из-за некачественных материалов.

В заключение, можно сказать, что охрана труда при строительстве автомобильных дорог в Беларуси является серьезной и ответственной задачей, которая требует максимальной внимательности и профессионализма со стороны всех задействованных в строительстве работников и специалистов. Благодаря правильной организации работы и использованию современных технологий и оборудования, можно добиться высокого уровня безопасности на стройплощадке и обеспечить максимальную защиту для работников.

## Мероприятия по охране труда при укладке асфальтобетонной смеси

Студенты гр. 11403219 Михайлова Д.В., гр. 11403419 Гордович К.С.  
Научный руководитель - Шрубенко Т.П.  
Белорусский национальный технический университет

Укладка асфальтобетонной смеси является опасной работой, связанной с возможностью получения травм и развитием профессиональных заболеваний у работников, так как в процессе укладки работники сталкиваются с различными опасностями, такие как высокие температуры, ядовитые пары, небезопасные технологические процессы и т. д. Поэтому принимаемые меры по охране труда являются необходимыми для обеспечения безопасности работников.

Охрана труда включает в себя ряд мероприятий, которые направлены на обеспечение безопасной рабочей среды для работников. Основными принципами охраны труда при укладке асфальтобетона являются:

1. Оценка риска. Перед началом работы необходимо оценить все возможные риски и опасности, связанные с укладкой асфальтобетона. Это позволяет разработать меры по их минимизации.

2. Использование соответствующей защитной одежды и оборудования. Предоставление персональных средств защиты. Работники должны использовать сигнальные жилеты, защитные очки, маски, перчатки, каски, рукавицы, ботинки кожаные, наколенники брезентовые, плащ непромокаемый и другие средства защиты.

3. Обучение работников правилам охраны труда. Работники должны знать, как работать с тяжелым оборудованием и правильно использовать персональные средства защиты. Кроме того, должны быть обучены правилам охраны труда и получить инструктаж перед началом работы.

4. Правильная организация рабочих мест: на месте укладки асфальтобетона должен быть задан порядок работы, предусмотрены безопасные зоны для работников и общественность должна быть предупреждена о возможных опасностях. Организация, выполняющая работы, должна подготовить план строительства на участке строительства дороги с указанием вида выполняемых работ и сроков их проведения. Запрещается проводить работы по укладке смеси, если на пути к месту производства работ не установлено защитное ограждение с предупреждающими и указательными знаками.

5. Разработка и реализация схемы безопасности. Необходимо разработать схему, определяющую ход работ и маршруты транспорта, чтобы не было конфликтов между работниками и транспортом.

6. Проведение инспекций рабочей площадки. Перед началом работы необходимо провести инспекцию рабочей площадки для выявления возможных опасностей.

7. Установка знаков безопасности. Необходимо установить знаки безопасности для предупреждения работников о возможных опасностях на рабочей площадке.

8. Проведение ежедневных инструктажей. Ежедневные инструктажи помогают работникам оставаться в курсе всех текущих задач и мер по охране труда.

9. Применение ограничителей скорости транспорта. Для снижения риска происшествий необходимо устанавливать ограничители скорости на транспорте, используемом в процессе укладки асфальтобетона. Рабочие в свою очередь, во избежание несчастных случаев, не должны приближаться ближе, чем на 3 метра к движущемуся транспорту. Машины, профилирующие дороги или окашивающие обочины, должны иметь спереди и сзади предупреждающий знак «Прочие опасности», работать с включенным ближним светом фар, габаритными огнями и (или) проблесковыми маячками оранжевого цвета.

10. Применение системы контроля опасных веществ. Необходимо устанавливать системы контроля и мониторинга опасных веществ на рабочей площадке.

11. Контроль над качеством выполненных работ. Необходимо контролировать качество укладки асфальта, ведь ошибки могут привести к различным последствиям.

12. Организация системы первой помощи: на месте работы необходимо иметь комплект для оказания первой помощи и наставление работников по его использованию, а также должна быстро организоваться экстренная медицинская помощь в случае необходимости.

При укладке асфальтобетона меры по охране труда являются необходимыми для защиты работников от возможных опасностей. Работники должны быть проинструктированы, обучены и оснащены соответствующей защитной одеждой и оборудованием. Все эти мероприятия помогут обеспечить безопасность работников на участках укладки асфальта и минимизировать риски возникновения травматизма и профессиональных заболеваний.

## Производственное освещение на производстве

Студентка гр. 11403319 Римашевская Е.М.  
Научный руководитель - Шрубенко Т.П.  
Белорусский национальный технический университет

Производственное освещение - это важный аспект для обеспечения безопасности и производительности в рабочей среде. Необходимость хорошо освещенного рабочего места не только повышает работоспособность и эффективность работников, но и снижает вероятность несчастных случаев на производстве.

Существуют различные виды производственного освещения, каждый из которых имеет свои особенности и применяется в зависимости от конкретных условий производства.

### 1. Общее освещение

Общее освещение – это освещение, которое равномерно распределяется по всей поверхности помещения. Оно используется для освещения больших производственных помещений, где не требуется точное направление света. Общее освещение может быть создано с помощью светодиодных ламп, люминесцентных ламп или металлогалогенных ламп.

### 2. Локальное освещение

Локальное освещение – это освещение, которое направлено на конкретные рабочие места. Оно используется в производственных помещениях, где работники выполняют тонкую и точную работу. Локальное освещение может быть создано с помощью настольных ламп, направленных светодиодов или специальных светильников.

### 3. Экстренное освещение

Экстренное освещение – это освещение, которое используется в случае аварийных ситуаций, таких как пожар или отключение электроэнергии. Оно должно гарантировать безопасность работников и обеспечить возможность быстрого эвакуирования. Экстренное освещение может быть создано с помощью аварийных светильников, которые включаются автоматически при отключении основного освещения.

### 4. Освещение наружных территорий

Освещение наружных территорий – это освещение, которое используется для обеспечения безопасности и ориентации на территории предприятия в темное время суток. Оно может быть создано с помощью фонарей, прожекторов или светодиодных лент.

### 5. Солнечное освещение

Солнечное освещение – это освещение, которое используется для экономии энергии и снижения затрат на электроэнергию. Оно использует солнечную энергию для работы светильников. Солнечное освещение может быть использовано как для общего, так и для локального освещения.

Качественное производственное освещение должно обеспечивать равномерную и достаточную яркость на рабочих поверхностях, что помогает снизить усталость глаз и повышает точность восприятия информации. Кроме того, правильно спроектированное освещение может улучшить концентрацию, повысить продуктивность и снизить количество ошибок.

Освещение на производстве может быть осуществлено различными способами. Некоторые из них включают в себя использование светодиодных ламп, ламп натрия и металлогалогенных ламп. Светодиодные лампы на сегодняшний день являются наиболее распространенным вариантом, благодаря своей эффективности и долговечности. Они также не содержат опасных для здоровья веществ, что делает их экологически безопасными.

При проектировании производственного освещения необходимо учитывать различные факторы, такие как тип работы, высота потолков, размеры помещения и т. д. Кроме того, необходимо учитывать требования по безопасности и здоровью работников, а также экономические соображения.

Важно отметить, что производственное освещение должно соответствовать стандартам безопасности и здоровья. Оно должно быть достаточно ярким, чтобы обеспечить безопасность на рабочих местах, но не должно создавать излишнего блика или теней, которые могут привести к несчастному случаю.

В заключение, производственное освещение является необходимым элементом для обеспечения безопасности и комфорта на рабочем месте. Выбор конкретного типа освещения зависит от условий производства и требований безопасности.

## Воздействие химических элементов на здоровье человека при работе на АБЗ

Студенты гр. 11403419 Шебеко М. Р., Шершнёва Е.А.  
Научный руководитель - Шрубенко Т.П.  
Белорусский национальный технический университет

С развитием дорожного хозяйства, увеличилось количество производств, отходы которых приводят к негативному воздействию на здоровье и работоспособность человека. Основным производством в сфере дорожной отрасли является асфальтобетонный завод (АБЗ). В результате деятельности АБЗ выделяется большое количество вредных химических соединений, образующихся при приготовлении асфальтобетонной смеси, состоящей из органического вяжущего, мелкого и крупного заполнителя, минерального порошка, используемой для устройства автомобильных дорог.

Вредные вещества, по степени воздействия на организм человека подразделяют на 4 класса:

1. Чрезвычайно опасные;
2. Высокоопасные;
3. Умеренно опасные;
4. Малоопасные.

При работе АБЗ, в окружающую среду выделяются:

- Оксид углерода (СО), быстро поглощается кровью человека и блокирует возможность гемоглобина снабжать организм кислородом;
- Монооксид азота (NO) способен образовывать метгемоглобин, высокая концентрация которого приводит к летальному исходу;
- Диоксид азота (NO<sub>2</sub>). Способствует образованию азотной кислоты, приводящий к разрушению легочной ткани и верхних дыхательных путей;
- Сажа и диоксид серы поражают легкие и верхние дыхательные пути;
- Пыль, вызывающая приступы кашля и астмы, развитие аллергии, различных воспалительных заболеваний, уменьшение прозрачности воздуха и ухудшение общих санитарно-бытовых условий. Она является основной производственной вредностью в промышленности, т. к. воздействию пыли может подвергаться большое количество работников.

Даже небольшие концентрации химических веществ в воздухе могут привести к образованию существенной поглощенной дозы. Доза воздействия вредного вещества, получаемая работником, равна произведению концентрации на объем.

Существует необходимость по организации мероприятий за соблюдением охраны труда на производстве. Такими мероприятиями могут служить: своевременное обеспечение работников средствами индивидуальной защиты, защитными кремами, смывающими средствами; создание и соблюдение санитарно-гигиенических условий труда; периодические медицинские осмотры, которые предусмотрены в соответствии с Постановлением МЗ РБ от 29.07.2019 № 74; своевременное удаление и обезвреживание отходов производства.

Таким образом, можно сделать вывод, важной составляющей производства является не только конечный изготавливаемый продукт, а также создание комфортных условий труда, что в свою очередь приведет к сохранению здоровья человека.

## Содержание

<b>Металлургия чёрных и цветных сплавов .....</b>	<b>4</b>
Маршалковский Р. С., Пузынин Я. С., Пугачевич М. В., Мотыль А. В. Изучение влияния типа и количества углеродсодержащего восстановителя в брикете из пыли газоочистки электродуговой печи .....	5
Клюйко Д. А., Рукина К. А., Микулич А. Д., Оленцевич А. А. Исследование влияния размеров отливок на эффект модифицирования литых низколегированных сталей .....	8
Самедова Р. Т., Бойко Д. С., Мачкова Д.В. MS EXCEL как среда планирования и управления складскими запасами металлургического производства.....	11
Форнель А. Д., Дайлид Е. С., Бусел А. А. Диагностика состояния футеровки индукционных тигельных печей .....	13
Подласенко И. А., Петриченко И. Выплавка стали в дуговых печах с кислой футеровкой.....	16
Руленков А. Д. Оценка пористости покрытия, полученного с использованием отходов литейных алюминиевых шлаков на основе системы Al-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	17
Панасевич Д. А. Переработка отходов резиносодержащих изделий методами пиролиза.....	20
Меркуль И. Д., Бойко Д. С., Безбородько П. Д., Котляренко И. В. Использование быстроохлажденных металлических материалов для изготовления композитов на основе полимеров. ....	22
Гулецкий Н.А., Клюйко Д.А., Рукина К.А., Татарлы Д.Д., Максимов Н.П. Технологические особенности получения чугуна с шаровидным графитом различных марок. ....	26
Ковко О.Г., Форнель А.Д., Меркуль И.Д., Кошелев Н.А.Термодинамический анализ металлотермического восстановления олова из оксидов. ....	33
Гулецкий Н. А., Бойко Д.С., Панасюк В.О., Матюшко П.А. Отработка в лабораторных условиях литейно-металлургического процесса получения материалов для нанесения износостойких покрытий. ....	36
Оленцевич А.А., Микулич А.Д., Даничев А.О., Тропашко Е.В. Сравнительный анализ технологий получения слитков из комплексных силицидов для катодов-мишеней.....	40
Ковальков А.В. Разработка модульной плавильно-литейной установки револьверного типа с вакуумным всасыванием .....	43
<b>Машины и технология литейного производства.....</b>	<b>45</b>
Дикун А.О. Способы физико-механического воздействия на расплав.....	46
Бартошик А.А, Новацкий Д.Д. Исследование влияния противопригарного покрытия на поведение стержней при высоких температурах .....	49
Бартошик А. А, Новацкий Д. Д. Причины возникновения просечки и существующие способы борьбы с данным дефектом .....	52
Воропаев А.Н. Современные материалы и технологии для изготовления модельной оснастки в условиях индивидуального и мелкосерийного производства .....	54
Ткачева А.А. Разработка методов выбора технологических элементов с различными теплофизическими свойствами для снижения литейных дефектов, возникающих при изготовлении крупногабаритных стальных отливок.....	57
Шевченко Г. В. Современные материалы и технологии для изготовления модельной оснастки в условиях индивидуального и мелко серийного производства .....	59

Шмурадко Н.А. Классификация огнеупорных материалов для металлургической промышленности и литейного производства.....	62
Лешок Д.И. Машинная формовка песчаных стержней .....	67
Ткач Н.В. Литье в кокиль алюминиевых сплавов .....	69
Моргунов Е.А., Пугач М.В. Плавка алюминиевых сплавов .....	71
Кучмин Я.С. Исследование влияния параметров охлаждения на структуру и свойства слитка из алюминиевого сплава и разработка рекомендаций по оптимизации режима охлаждения .....	74
Курач Д.И. Варианты утилизации аспирационной пыли плавильных печей.....	77
<b>Машины и технология обработки металлов давлением.....</b>	<b>80</b>
Литвиненко И.А. Магнитные поля и их влияние на процессы ОМД.....	81
Фролов И.Д. Калибрующая клеть мелкосортного стана 320 ОАО «БМЗ» для слиттинг-процесса.....	84
Силичев В.В., Скокова О.А., Сергеенко Д.В., Хромых А.А. Исследование процессов магнитно-импульсной штамповки.....	87
Юнчиц А.А., Гирицкий А.И. Коррозия и окисление металлов.....	89
Гаворовский А.П. Высокоточная горячая объемная штамповка.....	91
Головин П.В. Термомеханическая обработка.....	93
Цымбалюк Е.В. Исследование влияния калибровки инструмента на формоизменение металла при прокатке труб.....	95
Апанасевич Е.В., Мусский А.А. Обзор прокатного стана.....	96
Биленко Ю.Э. Штамповка в производстве протезов костей и суставов .....	98
Бородич Л.А. Пути совершенствования технологии штамповки на КГШП для деталей поглощающих аппаратов .....	100
Вашкевич А.А. Рабочее оборудование для импульсной штамповки.....	102
Винниченко А.Д. Термомеханическая обработка ударным прессованием.....	104
Гаан В.В. Особенности обработки титана давлением .....	106
Галимская П.В. Методика выявления дефектов на полуфабрикатах и изделиях, получаемых листовой штамповкой методами технического зрения.....	108
Германович М.С., Петрович Д.А. Медицинское оборудование и способы его производства методом обработки материалов давлением.....	110
Гирицкий А.И., Юнчиц А.А. Обзор материалов выполнения оснастки .....	112
Дешко Г.Д., Щекало Д.В. Совершенствование технологии изготовления пружинной проволоки .....	114
Капанец И.И. Промышленная прецизионная ковка.....	116
Каранчуков Р.В. Экономичные области применения горячего прессования стальных труб.....	118
Ковальчук К.В. Коренько С.И., Ковалевич А.А. Коробов Д.В. Формоизменение при холодной объемной штамповке.....	119
Корнилов М.С. Повышение качества поверхности при штамповке .....	124
Красовский Н.Р. Плазменная обработка и резка материалов .....	127
Кудрявцев Е.А. Поперечно-клиноватая прокатка.....	129
Кусиков А.С., Лебедев Д.В. Использование ультразвуковых волн в прокатке .....	131
Лебедев Д. В., Кусиков А.С. Магнитно-импульсная обработка материалов давлением.....	133
Жогло А.Г., Лукашевич В.В. Особенности разработки поковок для зубчатых колес...	135
Маркевич А.В. Индукционный нагрев в кузнечно-прессовом производстве .....	138
Мартынов А.Л. Волочение .....	140

Мартынов Д.В. Повышение надежности и долговечности инструмента штампового оборудования.....	144
Мусский А.А., Апанасевич Е.В. Использование гидравлических форсунок для автоматического охлаждения методических печей.....	146
Кашмель А.В., Евстратовский А.В. Штамповка в изготовлении кузовных деталей машин.....	149
Вязов Ю.М. Новый процесс производства высокоточной бесшовной стальной трубы.....	151
Губар П.Г. Гидравлический привод в производственных машинах .....	153
Осадчая А.Ю. Совершенствование процесса штамповки деталей типа «Фланец» и «Ступица» из деформируемых титановых сплавов BT20 и OT4-1 .....	156
Потапенко В.А. Основные направления модернизации кузнечно-штамповочного оборудования.....	158
Силивоник Д.С. Пресс Говарда.....	160
Снетько А.В. Штамповка резиной .....	161
Петрушенко М.М. Комбинированные методы штамповки.....	163
Карпей Ф.С. Имитационная модель процесса осадки цилиндрического образца из тугоплавких металлов при электроимпульсном воздействии .....	166
Сульжицкий Е.И. Определения контактных напряжений при прокатке .....	168
Су Сяодун Анализ материала многофункциональных слоистых композитов системы Ti-TiAl <sub>3</sub> .....	171
Сун Цзяжи, Цян Хао Новое в применении электромагнитной штамповки.....	173
Будник А.Р., Жуковец Е.С., Кветко А.К. Передовые технологии листовой штамповки. Оборудование листовой штамповки.....	177
Евстратовский А.В., Кашмель А.В. Технологические аспекты процесса винтовой экструзии.....	179
Хованский А.А. Бесшовное производство труб .....	181
Цыпенков А.А. Гидроформовка.....	184
Чёрный А.Г. Использование горячей штамповки в зарубежных странах .....	186
Чижик И.И. Гидростатическое прессование.....	189
Мироевский Е.А., Романчук Д.Ю., Лазарчик В.Ю., Кудравец М.Н. Применение штамповки взрывом в современном производстве .....	191
Щекало Д.В., Дешко Г.Д. Совершенствование процесса осадки четырехлучевых заготовок с углом вогнутых граней 150° .....	193
Зарбиев Е.В. Водородное отжигание.....	198
Сосункевич К.Н. Изготовление методом штамповки зубчатых шестерен.....	200
Прохира А.Д., Булва М.А., Гао Цзинчао Преимущества и недостатки штамповки на горизонтально-ковочной машине.....	203
Коротченко К.Г., Снежко А.В., Чжоу Сяохань, Ху Хайчао Магнитно-импульсные прессы. Методы ОМД.....	205
Заренок В.Д., Янь Цзюньвэй, Борисовец И.В. Электромагнитно-импульсная сварка .....	207
Вьюнов Т.А. Ковка и штамповка рабочих деталей автомобилей.....	209
Завольский М.К., Хаозе Янг, Зенько А.А. Прокатный стан с возможностью изменения зазора между валками во время работы и автоматического нагрева валков .....	212
Якубчик Н.Г., Комар А.В. Технология инъекционного прессования .....	214
Стафейчук Н.В., Копейко В.Д., Буримский С.В., Хань Ятао Ковка. Виды инструментов дляковки.....	216
Василевская Е.Д. Методика контроля размеров штамповочных изделий методом технического зрения .....	218

Лыщик Е.Н. Методика контроля формы штамповочных изделий методом технического зрения.....	219
Яцукевич В.А. Виды химико-термической обработки для обработки материалов давлением.....	220
Багнюк Н.А. Обзор использования магнитно-импульсной штамповки.....	222
Петрович Д.А., Германович М.С. Технологический процесс мелкой прокатки.....	225
<b>Материаловедение в машиностроении.....</b>	<b>227</b>
Спиридович А.А. Коррозия и методы борьбы с ней.....	228
Змачинская И.А. Особенности деформации брони линкора типа «Bismarck» .....	230
Карачун А.С. Моделирование и анализ свойств материалов методами компьютерного материаловедения.....	232
Лепеш В.И. Композитные материалы в современной авиации .....	235
Монжос Ю.С. Использование титана в военной промышленности.....	238
Бобкович М.П. Применение и особенности легирования титановых сплавов.....	240
Ткачёва А.А., Макаревич В.О. Влияние различных факторов на структуру и эксплуатационные свойства подшипниковых сталей .....	243
Шевцова А.В. Применение и свойства меди и ее сплавов .....	245
Матюков И.М. Структурный анализ азотирования титановых сплавов.....	247
<b>Охрана труда и промышленная безопасность .....</b>	<b>250</b>
Маматкаримов О.А. Влияние темперамента специалиста на безопасность труда в промышленности .....	251
Богомольцев М.А., Климович В.А. Особенности условий и организации труда водителей, осуществляющих международные перевозки грузов .....	253
Протосевич П.В., Сушкевич А.В. Токсичность отработавших газов автомобилей и пути ее снижения .....	255
Антипов А.Э. Проблемы пульсации источников света .....	258
Васютина Е.В. Охрана труда в организации складского хозяйства.....	261
Кравец А.О., Бачко А.С. Сравнение охраны труда Республики Беларусь с Китайской Народной Республикой .....	263
Власович А.О. Совершенствование промышленной безопасности на объектах электроэнергетики .....	266
Дзигим В.Е. Использование изучения материаловедения в промышленной безопасности.....	269
Зубченко Е.С. Экономико-теплотехнические аспекты промышленной безопасности .....	272
Коротич Е.А. Промышленная безопасность зданий и сооружений .....	275
Смирнова Е.А., Цветкова А.Д. Анализ статистических данных по профессиональной заболеваемости работников в Республике Беларусь за период 2017-2021 гг. ....	279
Новик А.А. Воздействие факторов производственной среды на работающих в литейном производстве .....	282
Новик А.А. Оценка условий труда работающих на участках изготовления отливок из медных сплавов .....	285
Аликевич И.О. Анализ особенностей условий труда и разработка мероприятий по обеспечению безопасности работников метрополитена.....	287
Вадейко В.С. Охрана труда работников канцерогеноопасных производств.....	289
Конч С.А. Анализ современных вторичных топливно-энергетических ресурсов и перспективы утилизации энергии отработавших газов двигателей внутреннего сгорания...	291

Магало Е.В., Рубчевская Д.В., Скоробогатая А.А. К расчету глушителей аэродинамического шума.....	293
Хасанов С.М. К вопросу обеспечения пожарной безопасности торгово-развлекательного центра «Dana Mall» .....	296
Борисенко Е.А., Свирский В.С. Специальное расследование несчастных случаев .....	298
Ветров А.Н. Охрана труда и окружающей среды при строительстве автомобильной дороги.....	300
Викин Е.Н. Меры по профилактике виброболезни.....	302
Гинько М.С. Охрана труда при строительстве автомобильных дорог в Республике Беларусь .....	304
Михайлова Д.В., Гордович К.С. Мероприятия по охране труда при укладке асфальтобетонной смеси .....	306
Римашевская Е.М. Производственное освещение на производстве .....	308
Шебеко М. Р., Шершнёва Е.А. Воздействие химических элементов на здоровье человека при работе на АБЗ.....	310