

1-Й БЕЛОРУССКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ФОРУМ

А. П. МЕЛЬНИКОВ, директор НП РУП «Институт БелНИИлит», канд. техн. наук,
Д. М. КУКУЙ, Председатель Совета БелОЛМ, д-р техн. наук, профессор

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Отливки составляют значительную долю по массе и трудоемкости изготовления любого вида продукции машиностроения. На литые заготовки в общем объеме производства автомобилестроения приходится 8–10%, тракторостроения – 15–18, сельхозмашиностроения – 15–20, двигателе- и станкостроения – 70–80%. От качества отливок, их точности и экономичности в итоге зависит и качество конечной продукции – двигателей, станков, автомобилей. Как показывает мировой опыт, совершенствование изделий машиностроения невозможно без существенного повышения сложности, качества, эксплуатационных свойств, точности и уменьшения толщины стенок литых заготовок. За последние 30 лет в зарубежном машиностроении допуски и припуски на отливки были снижены в 1,5–2,0 раза, металлоемкость продукции уменьшена на 10–20%.

В общем случае производство отливок можно представить как ряд последовательных технологических процессов (рис. 1):

- изготовление модельной и стержневой оснастки;
- приготовление формовочных и стержневых смесей;
- изготовление литейных форм и стержней, их сборка;
- приготовление расплава;
- заливка форм расплавом;
- выбивка и зачистка отливок;
- термическая обработка.

На современном этапе развития машиностроения перед литейным производством стоит ряд первоочередных задач, которые можно сформулировать следующим образом.

1. Комплексное технологическое переоснащение стержневого производства с переходом на энергосберегающие процессы отверждения стержней.

2. Переоснащение формовочных отделений литейных цехов с переходом на высокопроизводительное и энергосберегающее формовочное оборудование.

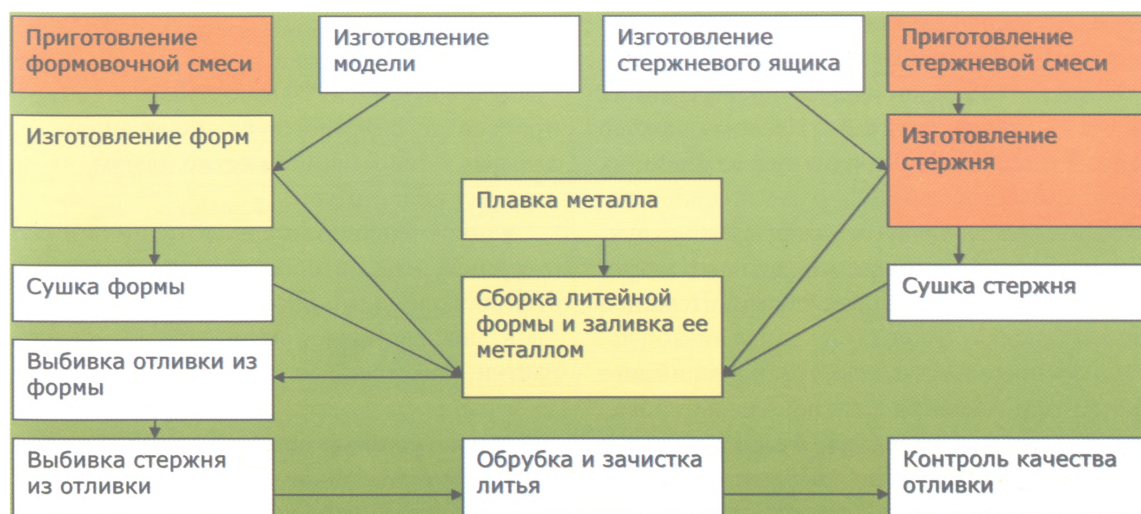


Рис. 1. Схема технологии получения отливки

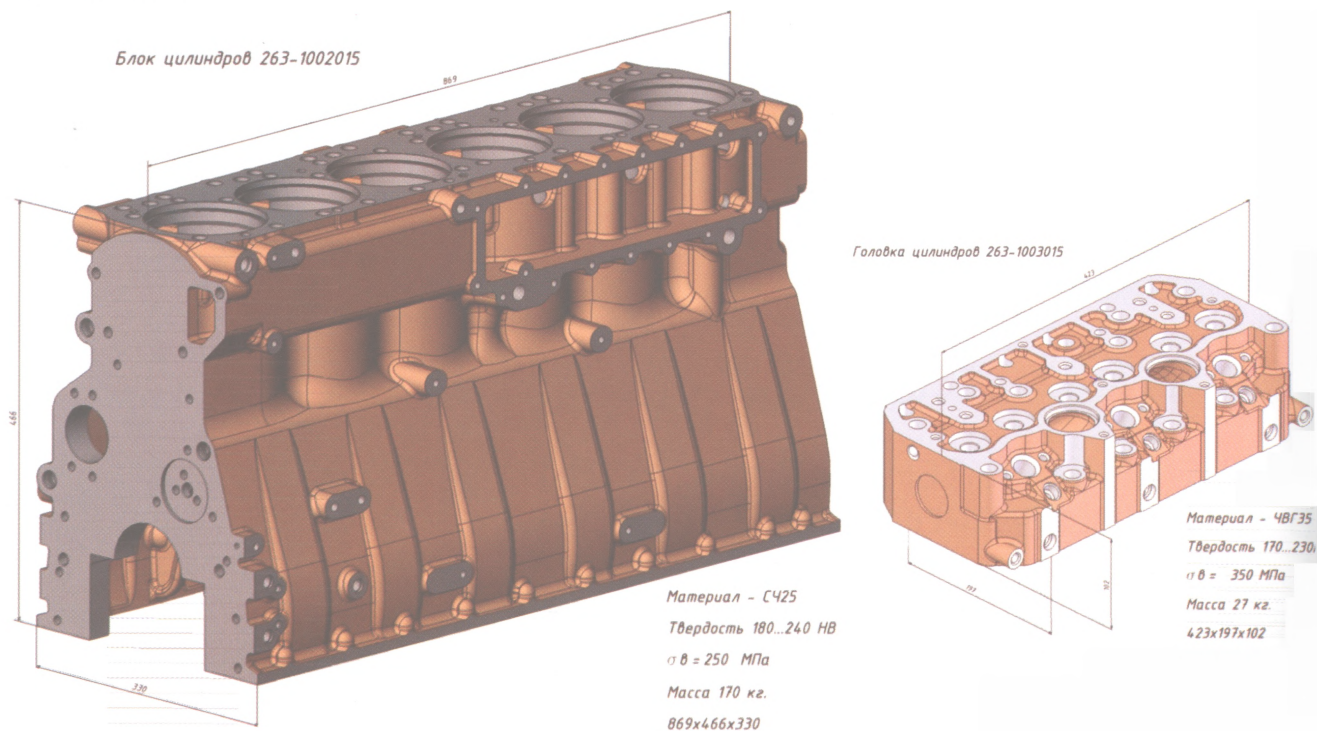


Рис. 2. Пример современных отливок моторной группы

3. Использование автоматизации процесса смешивания при приготовлении формовочных и стержневых смесей.

4. Приготовление качественных сплавов в процессе шихтовки, плавки, выпечной обработки и заливки в формы.

5. Использование современных технологий специальных методов литья при производстве высококачественных отливок.

6. Применение цифровых процессов при разработке отливки, моделировании процессов литья, создании литейного оборудования и оснастки.

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТЕРЖНЕЙ

На долю стержней приходится более 30% трудоемкости изготовления отливок. Стержни определяют точность геометрии и качество внутренних поверхностей литых деталей. Поэтому выбор оптимальной технологии – одна из важнейших проблем.

В связи с возрастающей сложностью конструкции отливок (рис. 2) постоянно повышаются требования к технологическим свойствам стержней (табл. 1).

Во многих литейных цехах крупносерийного и серийного производства отливок доминировал процесс изготовления стержней с отверждением их в нагреваемой оснастке, который освоили начиная с 50-х годов, и который практически полностью заменил изготовление стержней с тепловой

Таблица 1. Сравнительная характеристика основных технологических параметров смесей горячего и холодного отверждения¹

| Процесс | Живучесть смеси, ч | Прочность на изгиб, МПа | | Газотворная способность, см ³ /г |
|------------------------|----------------------------------|-------------------------|------|---|
| | | 30 с | 24 ч | |
| Hot-box | > 4 | 1,8 | 5,4 | 7,0 |
| Croning | практически не ограничена | 2,0 | 6,0 | 12,0 |
| Cold-box-amin | 3–4 | 3,2 | 5,8 | 3,4 |
| Эпокси-SO ₂ | > 24 | 2,8 | 5,2 | 6,0 |
| Betaset | 3–4, отдельные материалы – до 24 | 1,6 | 2,5 | 3,0 |
| Carbophen | 3–6 | 0,6 | 1,8 | 8,2 |

¹ Приведены средние значения параметров стержней, предназначенных для изготовления чугунных отливок.

сушкой в сушилах. Однако в настоящее время этот процесс не соответствует требованиям, предъявляемым к современным технологиям, из-за присутствия ему недостатков:

- пониженная размерная точность получаемых стержней, что не обеспечивает точности, тонкостенности и сложности отливок;
- значительные энергозатраты на нагрев оснастки;
- выбросы в окружающую среду токсичных газов, ухудшающих санитарно-гигиеническую и экологическую обстановку.

В последние годы в литейном производстве за рубежом произошли значительные изменения

в технологии изготовления стержней в серийном и массовом производстве отливок. Сегодня известно несколько таких методов. Их общий признак – отверждение уплотненной в «холодной» оснастке смеси продувкой газовым отвердителем (ГО). Наиболее распространенными методами являются Cold-box-amin-процесс, MF-процесс (Betaset), Эпокси-SO₂-процесс (табл. 2).

Таблица 2. Динамика изменения использования процессов Hot-box, Croning и Cold-box для изготовления стержней в литейных цехах США и Германии

| Процесс | США, % | | Германия, % | |
|-----------------|---------|---------|-------------|---------|
| | 1980 г. | 2000 г. | 1980 г. | 2000 г. |
| Croning | 30 | 15 | 20 | 10 |
| Hot-box | 20 | 10 | 30 | 10 |
| Cold-box | 15 | 65 | 15 | 70 |
| Другие процессы | 35 | 10 | 35 | 10 |

Принципиальными преимуществами новых «холодных» процессов отверждения стержней по сравнению с тепловым отверждением являются повышение размерной и массовой точности стержней и отливок; короткий цикл производства; высокая текучесть стержневых смесей, обеспечивающая возможность качественного уплотнения стержней в оснастке; применение более дешевой стержневой оснастки из дерева, пластмасс и других материалов; значительное снижение затрат энергоресурсов; снижение брака стержней, так как стержень при продувке отверждается по всему объему и приобретает высокую прочность.

В США и Европе в «горячей» оснастке изготавливают всего около 10–15% стержней, а в «холодной» – 85–90%, в том числе примерно 60% Cold-box-amin-процессом (Амин-процессом), вследствие его существенных технико-экономических преимуществ (табл. 3).

Таблица 3. Сравнительная оценка влияния технологии Cold-box-amin на качество получаемых отливок

| Показатель качества отливки | Технология получения песчаного стержня* | | |
|---------------------------------|---|------------------------|---------|
| | Cold-box-amin | Эпокси-SO ₂ | Betaset |
| Эрозия | 2 | 1 | 1 |
| Просечки | 3 | 3 | 2 |
| Чистота поверхности | 2 | 3 | 3 |
| Газовые дефекты | 1 | 1 | 1 |
| Пенетрация металла | 2 | 2 | 4 |
| Образование блестящего углерода | 3 | 1 | 1 |
| Выбиваемость | 3 | 1 | 4 |

* Сравнение процессов проведено по пятибалльной системе: 1 – отлично; 5 – плохо.

Для производства конкурентоспособных отливок переход литейных цехов отраслей машиностроения на современные процессы изготовления стержней в «холодной» оснастке продувкой газообразным катализатором (отвердителем) просто необходим. Наиболее перспективны Cold-box-amin и для простых стержней MF (Betaset).

Проведенный анализ технологических процессов и оборудования известных мировых производителей стержневого оборудования (Laempe (Германия), Loramendi (Испания), IMF (Италия), NANIVA (Япония) и др.), теоретические и экспериментальные исследования, проведенные в УП «Институт БелНИИлит», позволили приступить к разработке различных вариантов современных продувочных технологий и специализированного оборудования для этих технологий. Первые крупные промышленные испытания новых технологий были начаты и проведены на РУП «МТЗ».

Для перевода производства крупных стержней на новый процесс изготовления их из ХТС с продувкой газообразными отвердителями на РУП «МТЗ» разработали концепцию и программу по созданию технологического комплекса для производства крупных стержней номенклатуры литейного цеха № 2 по продувочным технологиям.

Принципы и технологические решения концепции технического перевооружения стержневого производства РУП «МТЗ».

1. Оптимизировать технологию производства и конструкцию стержней, объединив их в моноблоки с максимальным внутренним опустошением.

2. Создать специальное стержневое оборудование для изготовления стержней по продувочным технологиям.

3. Разработать типаж необходимых стержневых машин.

4. Разработать современные технологию и оборудование смешивания.

5. Провести испытания связующих материалов и отвердителей различных фирм.

6. Провести сравнительный анализ современных технологий нейтрализации аминных соединений.

7. Разработать и применить современные способы окраски и подсушки стержней.

8. При проектировании технологического оборудования предусмотреть использование систем управления, обеспечивающих надежность эксплуатации в литейном производстве.

Была разработана специальная стержневая машина с подвижным пескодувным резервуаром и механизмом подпрессовки-продувки, перемещающимися с позиции загрузки смеси на позицию

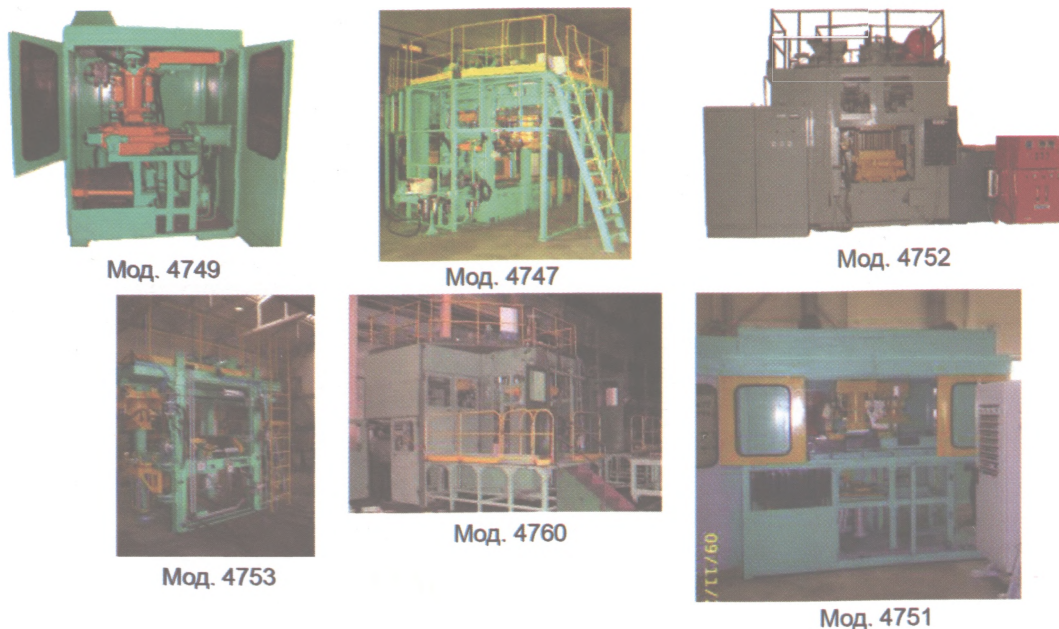


Рис. 3. Пескодувные машины УП «Институт БелНИИлит» для изготовления песчаных стержней по технологии Cold-box-amin

Таблица 4. Основные технические характеристики базовых моделей стержневых машин для Cold-box-amin-процесса

| Модель машины | 4749Б1К2 | 4751Б1К2 | 4752Б2К1 | 4747У2Б2К1 | 4760УБ2К1 |
|---|---|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Способ заполнения стержневого ящика смесью | Пескодувный с отверждением в ящике продувкой газообразным катализатором | | | | |
| Максимальная масса стержня, кг | 10 | 15 | 25 | 90 | 150 |
| Цикловая производительность (в зависимости от конфигурации стержня), сьем/ч | 60–80 | 60–80 | 40–50 | 30–35 | 20–30 |
| Разъем стержневого ящика | вертикальный | вертикальный | горизонтальный | горизонтальный | горизонтальный |
| Размеры стержневого ящика (стандартные, могут быть увеличены), мм | 400х 320 х200 | 400х 320 х200 | 580х 580 х210 | 1120х 850 х365 | 1600х 1180 х570 |
| Тип привода | пневматический | | | | |
| Расход воздуха, м ³ /ч* | 15 | 15 | 22 | 35 | 45 |
| Установленная мощность, кВт** | 5 | 5 | 11 | 19 | 19 |
| Масса машины, кг | 3200 | 4000 | 9000 | 17500 | 22000 |
| Габариты машины, мм | 1850х 1590 х2660 | 2000х 1700 х2700 | 5800х 4500 х3200 | 6810х 5630 х3750 | 8180х 7500 х5230 |

* Учитывая расход воздуха на продувку стержня.

** В том числе мощность газогенератора.

надува, и передвижным стержневым ящиком, перемещающимися с позиции надува на позицию сборки-разборки. Общий вид машин показан на рис. 3, а основные технические характеристики приведены в табл. 4.

В результате проведенных комплексных исследований, а также выполнения программы перевооружения литейного производства РУП «МТЗ» была создана гамма стержневых машин, которые позволяют производить стержни массой от нескольких граммов до 150 кг.

Приведем несколько примеров эффективности от внедрения разработок технологии изготовления стержней по холодным процессам на предприятиях Беларуси, России и Украины (рис. 4).

Здесь переход на новую технологию (Cold-box-amin-процесс) особенно значимо проявил себя в производстве стержней для базовых отливок моторной группы и тракторостроения (рис. 5, 6).

Кроме того, получен значительный экономический эффект от внедрения новой технологии.



Рис. 4. Картерные отливки РУП «МТЗ»



Рис. 5. Стержни отливки «Блок цилиндров», изготовленные по технологии Cold-box-amin

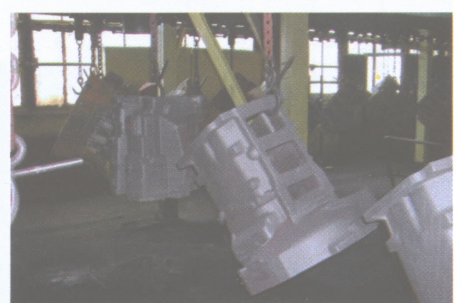
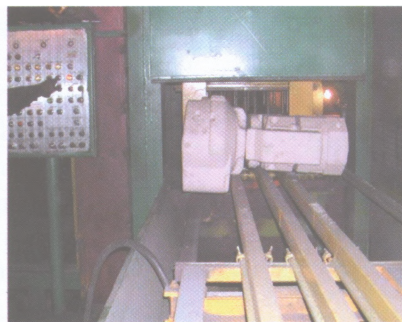
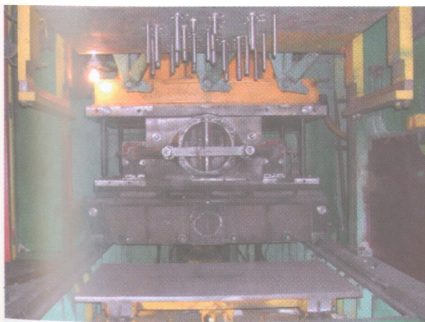


Рис. 6. Стержни отливки «Муфта сцепления», изготовленные по технологии Cold-box-amin

Экономический эффект от освоения комплекса технологического оборудования по производству стержней в литейном цехе № 2 РУП «МТЗ»

| | |
|--|--------------------|
| Объем выпуска литья за 2007 г. | 63000 т |
| Количество наименований отливок | 13 |
| Количество наименований стержней | 20 |
| Капитальные затраты на создание комплекса | 3 402 097 000 руб. |
| Экономия природного газа, м ³ : | |
| за 2001 и 2002 гг. | 2258000 |
| за 2003 г. | 2024100 |
| за 2007 г. | 3500000 |
| Экономия электроэнергии, кВт·ч: | |
| за 2002 г. | 125300 |
| за 2003 г. | 1201300 |
| за 2007 г. | 2100000 |
| Экономия песка | 25 000 т/год |
| Брак отливок снижен | в 1,5–2,0 раза |
| Брак стержней снижен | в 3–4 раза |
| Сокращение численности работающих | 40 человек |
| Масса отливок снижена в среднем | на 0,8% |

Не менее значимые результаты от внедрения стержневого оборудования получены в производстве моторного литья на ОАО «Автодизель» («ЯМЗ») (рис. 7).

**ОАО «АВТОДИЗЕЛЬ» («ЯМЗ»)
2000–2007 г.**

**ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ
СТЕРЖНЕЙ В ЛИТЕЙНОМ ЦЕХЕ № 4**

- Наименование отливок – блоки цилиндров двигателей ЯМЗ 236/238
- Количество наименований отливок – 2 шт.
- Количество наименований стержней (после внедрения) – 6 шт.
- Количество наименований стержней (до внедрения) – 18–20 шт.
- Задействовано в производство стержневых машин мод. 4747УЗБ2К1 – 3 шт.
- Экономия природного газа, за 2007 г. – 1800000 м³.

- Брак отливок снижен на 2%.
- Брак стержней снижен на 5%.
- Масса отливок снижена в среднем на 0,3%.
- Сокращение численности работающих – 5 человек

Работы, проводимые на ОАО «Азовмаш» (г. Мариуполь, Украина), позволили впервые в странах СНГ применить технологию Cold-box-amin для изготовления особо ответственного литья железнодорожной группы, балка наддресорная и рама боковая (рис. 8, 9), а трехмерное компьютерное проектирование дало возможность оптимизировать количество стержней и соединить их в целые блоки.

Кроме того, были проведены теоретические и экспериментальные исследования на возможность применения опустошения стержней, т. е. изготавливать оболочковые моноблоки по Cold-box-amin-технологии. Внедрение данных разработок в производство позволило получить значительную экономию стержневой смеси (до 35% массы); исключить или в десятки раз снизить вероятность образования горячих трещин в стальном литье за счет увеличения податливости стержня; значительно улучшить газовый режим формы за счет снижения газовыделений на 30–50% и улучшения отвода газов из стержня; повысить производительность оборудования за счет сокращения времени отверждения стержней.

На рис. 10 показаны формы в сборе стальных отливок грузовых железнодорожных вагонов «Рама боковая» (а) и «Балка наддресорная» (б).

Применение разработанных технологий и стержневых машин в литейном производстве в настоящее время позволяет производить практически любую номенклатуру литья из чугуна, стали, отливок из цветных сплавов.

Отметим, что в странах СНГ УП «Институт БелНИИлит» является единственной организацией, владеющей данной технологией и способной производить конкурентоспособное стержневое оборудование.



Рис. 7. Блок цилиндров ОАО «Автодизель» («ЯМЗ»)

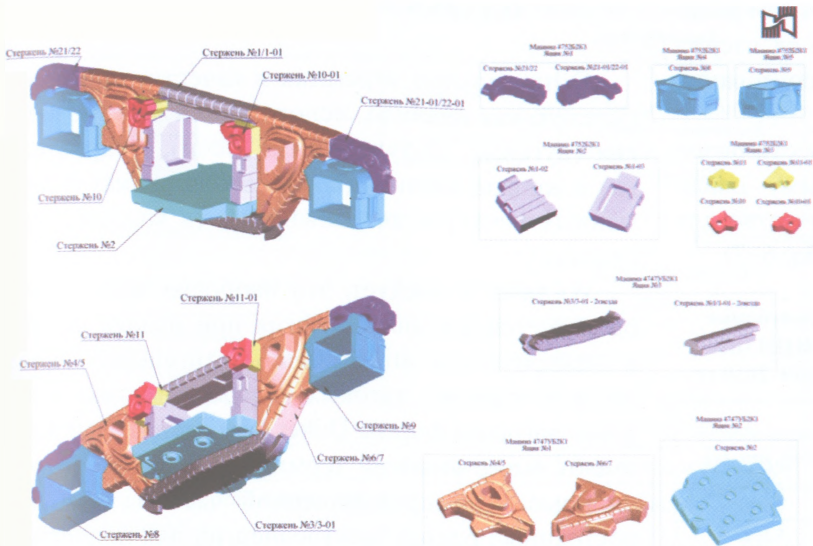


Рис. 8. Оптимизация изготовления стержней отливки «Рама боковая» по технологии Cold-box-amin на оборудовании УП «Институт БелНИИлит»

Рис. 9. «АЗОВМАШ». Изготовление стержней по Cold-box-amin-технологии для отливки «Балка наддрессорная»

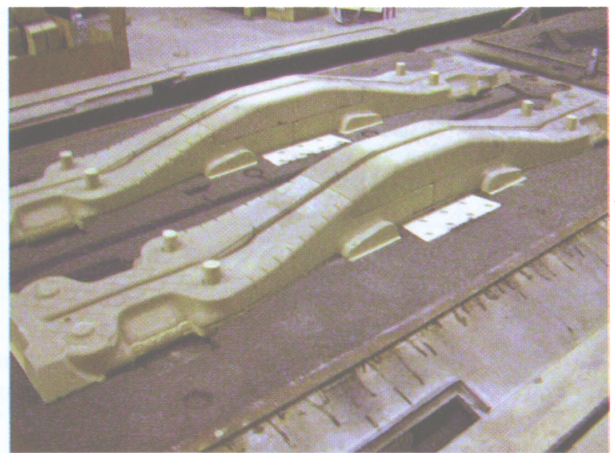
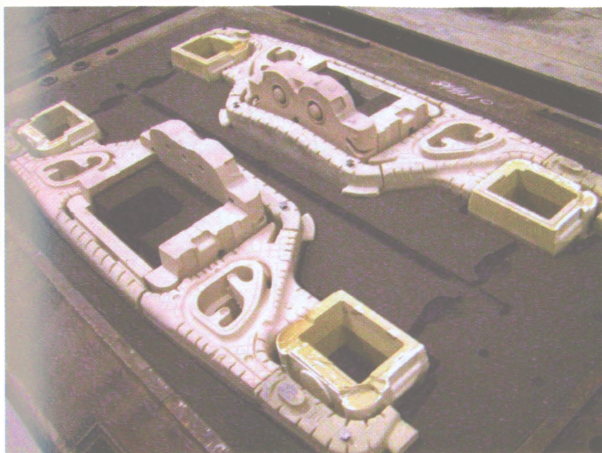


Рис. 10. «АЗОВМАШ». Сборка форм для отливок «Рама боковая» (а) и «Балка наддрессорная» (б)

Таблица 5. Сводная таблица технологического оборудования, поставленного предприятиям-заказчикам для производства стержней по Cold-box-amin-процессу в 2000–2008 гг.

| Наименование оборудования | Предприятия-заказчики | | | | | |
|---|-------------------------------------|--------------------------|---|--------------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| | ОАО «Автодизель», г. Мариуполь, ед. | РУП «МТЗ», г. Минск, ед. | ЗАО «Азовэлектросталь», г. Мариуполь, ед. | ОАО «Тутаевский моторный завод», ед. | РУП «МАЗ», г. Минск, ед. | ОАО «КМПО», г. Казань, ед. |
| Стержневая машина мод. 4747Б2К1 | 5 | 6 | 3 | 2 | 1 | – |
| Стержневая машина мод. 4752К1 | – | – | 1 | – | – | 1 |
| Стержневая машина мод. 4760Б2К1 | – | 2 | – | – | – | – |
| Стержневая машина мод. 4709Б2 | – | 1 | – | – | – | – |
| Установка смесеприготовления П1863 | – | 1 | 2 | – | – | – |
| Установка смесеприготовления П1739/С1С-150 | 1 | – | – | – | – | – |
| Стержневая машина мод. 4751Б1К2 | – | – | – | – | 1 | – |
| Установка смесеприготовления мод. П1739/800 | – | – | – | – | – | 1 |
| Всего | 6 | 10 | 6 | 2 | 2 | 2 |

В период с 2000 по 2008 г. предприятиям Беларуси и стран СНГ институт поставил 28 ед. стержневого и смесеприготовительного оборудования (табл. 5).

В 2009–2010 гг. планируется произвести около 40 ед. данного оборудования на сумму около 40 млрд. руб. примерно в равном количестве для предприятий Беларуси и на экспорт (табл. 6, 7).

Таблица 6. Потребность предприятий Республики Беларусь в разработках УП «Институт БелНИИлит» и предполагаемые объемы производства в 2009–2010 гг.

| Предприятие | Оборудование, ед. | | Объемы оборудования, млн. руб. |
|-------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|
| | стержневое | смесеприготовительное | |
| РУП «МТЗ» | 9 | 4 | 7600 |
| РУП «МАЗ» | 5 | 5 | 5400 |
| УП «МоАЗ» | 2 | – | 1160 |
| РУП «ГЗЛиН» | 3 | 1 | 2160 |
| РУП «ММЗ» | 3 | – | 1600 |
| ОАО «ОЗАА» | 4 | – | 20000 |

Таблица 7. Прогноз экспортных поставок разработок УП «Институт БелНИИлит» на 2009–2010 гг.

| Страна | Оборудование, ед. | | Объемы изготовления, млн. руб. |
|---------|-------------------|-----------------------|--------------------------------|
| | стержневое | смесеприготовительное | |
| Россия | 12–15 | 2 | 13600 |
| Украина | 8–10 | – | 500 |
| ВСЕГО | 20–25 | 2 | 20700 |

ПЛАВКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

В плавильных агрегатах в качестве энергоносителей, как правило, используются электроэнергия (дуговые, индукционные печи), природный газ и жидкое топливо (в газовых вагранках и пламенных печах) и литейный кокс (в коксовых вагранках).

Из табл. 8 следует, что наиболее эффективно расходуется тепловая энергия при плавке чугуна в электрических индукционных тигельных печах средней частоты, дуговых постоянного тока и газовой вагранке фирмы Duker (Германия). Эти печи имеют более высокий термический КПД. Индукционные печи промышленной частоты требуют постоянный расход электроэнергии для поддержания «болота» металла в расплавленном состоянии между завалками и в периоды горячих простоев печи.

Был изучен мировой опыт плавки чугуна в плавильных агрегатах «Вагранка». Следует отметить, что данный вид плавильного оборудования еще широко использовался в мировой практике несмотря на увеличение в последнее время применения в качестве плавильных агрегатов индукционных печей средней частоты.

В табл. 9 приведена оценка эффективности различных типов вагранок.

Таблица 8. Эффективность использования топлива, энергии на выплавку 1 т чугуна в различных плавильных агрегатах

| Вид сплава | Теоретическая потребность энергии на нагрев, плавление и перегрев до 1450 °С 1 т чугуна, ккал/т | Практический расход энергоносителей на плавку | | | |
|------------|---|---|---|--|--|
| | | плавильный агрегат | энергоноситель | удельный расход на 1 т жидкого расплава | эффективность использования энергии, % |
| Чугун | 342 500 (398,2 кВт·ч/т) | Вагранка газовая фирмы Duker | Природный газ + электроэнергия + карборизатор | 54,47 м ³ /т (538,4 кВт·ч/т) 59 кВт·ч/т 8,8 кг/т (74,4 кВт·ч/т) | 59,2 |
| | | Вагранка газовая с электродным боем | Природный газ + бой электродов | 65 м ³ /т (645,4 кВт·ч/т) 25 кг (227 кВт·ч/т) | 45,6 |
| | | Вагранка коксовая | Кокс | 150 кг/т (1170 кВт·ч/т) | 34,0 |
| | | Вагранки с подогревом дутья 450°С | Кокс лит. + природный газ | 106,0 кг/т (832 кВт·ч/т) + 20 м ³ /т (194 кВт·ч/т) | 39,0 |
| | | Дуплекс-процесс вагранка с х.д. + индукцион. миксер | Кокс доменный + Электроэнергия | 121 кг/т + (928 кВт·ч/т) 123 кВт·ч/т | 37,9 |
| | | ИЧТ-6 | Электроэнергия | 1 100 кВт·ч/т | 36,2 |
| | | IFM-5 ср. част. | Электроэнергия | 550 кВт·ч/т | 72,4 |
| | | ДЧМ-5 | Электроэнергия | 680 кВт·ч/т | 58,5 |
| ДШТ-6 | Электроэнергия | 600 кВт·ч/т | 66,4 | | |

Таблица 9. Показатели оценки эффективности плавильных агрегатов и установок для плавки чугуна (вагранки)

| Показатель оценки | Вагранка с х.д., водоохлаждаемая, с дожиганием СО и мокрой пылеочисткой газов | Вагранка закрытая с рекуператором для подогрева дутья до 500°C типа GHW | Вагранка газовая с холостой колошей из боя гр. электродов, с подогревом дутья до 250°C, водоохлаждаемая | Вагранка газовая типа DUKER с водоохлаждаемой решеткой, огнеупорными шарами-наполнителями, с индукционным канальным копильником |
|---|---|---|---|---|
| | Непрерывный процесс плавки | | | |
| Энергоноситель для плавки | Кокс литейный | Кокс литейный + природный газ | Природный газ + электродный бой | Природный газ + электроэнергия |
| Температура перегрева расплава, °С | 1400 | 1520 | 1410 (до 1530) | 1420 (до 1520) |
| Шихтовые материалы: чущковый чугун % от м/з стальн. лом | 40–45 12–15 | до 20 32–58 | до 10 40–60 | до 18 20–40 |
| Качество металлошихты | Качественная | Рядовая для вагранки | Рядовая для вагранки | Рядовая для вагранки |
| Металлургический угар чугуна, % Угар (+), пригар (-) C Si Mn S | 2,0–2,5 (+) 10–50 (-) 10–25 (-) 10–30 (+) 40–100 | Около 2,0 (+) 20–30 (-) 10–20 (-) 10–20 (+) 10–50 | До 2,5 (-) 9–12 (-) 10–12 (-) 15–20 0 | |
| Минимальный % S в чугуне | 0,12 | 0,10 | 0,05 | 0,05 |
| Металлургический процесс ведения плавки | Возможен ограниченно | Возможен ограниченно | Возможен ограниченно | Возможен ограниченно |
| Загрязнение среды: твердые отходы (шлак и др.) газовыбросы, мг/м ³ : CO SO ₂ NO _x пыль | 80–100 до 20 до 16 более 1,0 ~35 | 60–70 0,05 до 8 более 0,5 0,08 | до 50 2,0 до 8 около 0,5 до 25 | 40–50 2,0 до 8 менее 0,5 до 25 |
| Высота пролета, м | 11–13 | | | |
| Требуется производственная площадь, м ² | ~ 432 | | | |

ДУГОВЫЕ ПЕЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Для плавки черных металлов на предприятиях чаще всего используются дуговые печи (ДП) переменного тока, технические возможности которых позволяют выплавлять широкую гамму сплавов с высокими показателями качества при использовании низкосортной шихты, что выгодно отличает их от индукционных печей.

Однако дуговые плавильные печи переменного тока наносят большой вред окружающей среде. Строительство мощных устройств пыле- и газоочистки для защиты воздушного бассейна требует почти таких же средств, как на приобретение и установку этих печей.

К недостаткам ДП переменного тока следует также отнести сравнительно высокий уровень удельного расхода электроэнергии, графитированных электродов (до 5,5 кг/т и более), угар шихтовых материалов и ферросплавов (3,5–6,0%), а также высокий уровень шума (до 103–105 дБ).

ЭЛЕКТРОДУГОВЫЕ ПЕЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В отличие от дуговых печей переменного тока ДППТ имеют один графитированный электрод, расположенный вдоль вертикальной оси печи, и один или несколько электродов, установленных в подине печи.

В печах с емкостью ванны 6 т и более устанавливается несколько подовых электродов, каждый из которых подключен к полюсу автономного источника электропитания, минусы которых объединены на токоподводе графитированного электрода, проходящего через свод печи.

Процесс плавки в ДППТ практически имеет те же технологические приемы (продувка металла кислородом, инертным газом, обработка шлаком, легирование), что и в ДСП.

Управляемое перемешивание расплава улучшает и ускоряет металлургические процессы. Сочетание заданного направления и скорости движения металла с тепловым потоком от дуги позволи-

ло удерживать локальный нагрев расплава на уровне температуры, не превышающей 5–7% от средней температуры расплава во все периоды плавления. Это обеспечило значительное снижение угара элементов сплава при плавке.

ИНДУКЦИОННЫЕ ПЛАВИЛЬНЫЕ ПЕЧИ И МИКСЕРЫ

Основными типами индукционных печей, применяемых в чугунолитейном производстве, являются: тигельные – для плавки и миксерования; канальные – только для миксерования; специальные печи – для особых случаев.

Для плавки твердой шихты применяются индукционные тигельные печи повышенной частоты (более 1000 Гц), средней частоты (150–500 Гц) и промышленной частоты (50–60 Гц). В чугунолитейном производстве индукционные печи повышенной частоты применяются в специализированных производствах.

Процесс плавки в индукционной печи промышленной частоты состоит из нескольких этапов. В начальный период плавки, при отсутствии жидкого металла, производится наплавление его из твердой шихты. Этот процесс малопродуктивен; для его ускорения предварительно заготавливают специальный пусковой болван массой в 1/2–2/3 вместимости печи, что позволяет наплавить тигель жидкого металла в течение 8–10 ч.

Переход от плавки чугуна в одном агрегате к дуплекс-процессу индукционная печь – индукционный миксер (или дуговая печь – индукционный миксер) позволяет также повысить на 10–15% производительность плавильной установки за счет передачи функции перегрева чугуна к миксеру-копильнику. При организации плавки чугуна дуплекс-процессом значительно стабилизируются температура и химический состав металла.

При плавке металла в индукционной печи санитарно-гигиенические условия труда значительно лучше, чем при плавке в вагранке.

Эффективным мероприятием для снижения расхода технологической электроэнергии при плавке чугуна в индукционных электропечах является переход на печи средней частоты, работающей без «болота».

ИНДУКЦИОННЫЕ ПЕЧИ СРЕДНЕЙ ЧАСТОТЫ

С 1975 г. во всевозрастающем масштабе в мировой литейной практике используются индукционные тигельные печи средней частоты. Преимущество, достигаемые при их использовании: примерно в 3 раза более высокая мощность и соответ-

ственно производительность печей средней частоты по сравнению с печами промышленной частоты при равной емкости, что ведет к снижению эксплуатационных расходов и удельных капитальных затрат; садочный режим плавки, т. е. плавка без использования, как это делается при плавке в печах промышленной частоты, переходящего от плавки к плавке остатка жидкого металла, так называемого «болота», позволяет:

1) исключить обязательную при использовании печей промышленной частоты предварительную сушку шихты и связанные с нею затраты; останавливать печь с полным сливом расплава на время перерывов в работе литейного отделения (выходные дни, 2-я и 3-я смены, остановки производства из-за сокращения объемов заказов и др.), тем самым исключить непроизводительные затраты труда, энергии и материалов;

2) осуществлять замену марок выплавляемого металла;

3) сократить удельный расход электроэнергии на 1 т выплавляемого металла благодаря высокому тепловому и электрическому к.п.д. печей средней частоты (тепловой к.п.д. возрастает благодаря сокращению времени плавки, электрический – благодаря более высокому электросопротивлению твердой шихты);

4) сократить расходы на футеровку, так как долговечность футеровки при садочном режиме плавки возрастает (средний срок службы футеровки печей промышленной частоты средней емкости составляет 350–400 плавок, т. е. для печи емкостью 6 т это соответствует производству до 2400 т чугуна);

5) оптимизировать процесс образования центров кристаллизации благодаря короткому времени плавки и однообразному нагреву металла;

6) средний расход электроэнергии на плавку составляет 550 кВт·ч/т.

Основными поставщиками индукционных тигельных печей средней частоты на мировом рынке являются зарубежные фирмы: Induktotherm (США), АВР (Германия) и Junker GMBH (Германия). В России изготовлением подобных печей занимается ОАО «РЭЛТЕК» (г. Екатеринбург).

В табл. 10 приведена оценка эффективности плавки чугуна в электропечах.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ

Этап приготовления стержневой смеси является важным звеном всей технологической цепочки процесса изготовления литейных песчаных стержней.

Т а б л и ц а 10. Показатели оценки эффективности плавильных агрегатов и установок для плавки чугуна (электронечи)

| Показатель оценки | Электродуговые печи переменного тока типа ДЧМ | Электродуговые печи постоянного тока типа ДППТ | Индукционные, тигельные электронечи промышленной частоты типа ИЧТ | Индукционные, тигельные электронечи средней частоты типа IFM фирмы АВР |
|---|---|--|---|--|
| Нормальный режим работы | Поплавочный | | Поплавочный с «болотом» | Поплавочный |
| Энергоноситель для плавки | Электроэнергия | | | |
| Удельный расход энергоносителя на 1 т выплавляемого чугуна: кВт·ч теплотенергия, Мкал | 650–750 559–645 | 550–650 473–559 | ≥ 1 100 ≥ 946 | 550 473 |
| Температура перегрева расплава чугуна, °С | до 1500 | до 1500 | до 1450 | до 1450 |
| Шихтовые материалы: чушковой чугун, % от м/з стальной лом | 5–8 25–35 | 5–8 до 60 | 8–12 30–40 | 8–12 до 60 |
| Качество шихты для плавки | Возможно применение низкосортного стального и чугунного лома | | Очищенный от пригара, сухой | Очищенный от пригара |
| Металлургический угар чугуна, % угар (-), пригар (+) С Si Mn S | (-) 3,5–5,0 (+) 5–10 (-) 5–15 (основная печь) (-) 15–30 (-) 20–30 (основная печь) | (-) ~3,0 (-) < 5,0 0 (-) 10–20 0 | (-) ~ 3,0 (-) 5–15 (-) 5–20 (основная печь) (-) 10–15 0 | (-) ~2,0 (-) 15–20 (0–15) (5–15) 0 |
| Минимальный % S в расплаве | Содержание в шихте. Возможен процесс десульфурации | | Содержание в шихте | |
| Металлургическая обработка расплава | Возможна | | Не возможна | |
| Загрязнение среды: а) твердые отходы (шлак), кг/т расплава б) газовые выбросы, мг/м ³ : CO SO ₂ NO ₂ в) пылевые, кг/т расплава | 60–80 0,88–0,94 – 0,18–0,20 5,6–6,0 | 40–70 до 0,8 – до 0,2 менее 5,0 | 20–30 0,5–0,007 – 0,37 0,55–0,8 | 20–30 0,5–0,07 – 0,37 0,55–0,8 |
| Высота пролета до подкрановых путей, м | 13 – для печей 6 т 18 – для печей 12 т | | 9,65 – для тигля емкостью 6 т 11,5 – для тигля емкостью 10 т | |
| Производственная площадь для установки из двух печей, м ² | 324 – для печей 6 т 860 – для печей 12 т | | 96 – для тигля емкостью 6 т 144 – для тигля емкостью 10 т | |

Скорость и равномерность распределения компонентов смеси по ее объему определяются совокупностью воздействия на ингредиенты смеси нормальных и сдвиговых напряжений. В качестве основных силовых факторов, обеспечивающих процесс перемешивания, выделяют внешние нагрузки, центробежные силы, гравитационные силы и вибрационные нагрузки. Уровень нормальных и сдвиговых напряжений, действующих в смеси и обеспечивающих ее формирование, определяется различными факторами. Но в основном зависит от вязкости и адгезионно-когезионных свойств связующего.

В результате проведенных комплексных научных исследований процессов взаимодействия ком-

понентов смесей при перемешивании, кинетики отверждения смесей при взаимодействии с газообразным или жидким отвердителем, взаимодействия готовых стержней с расплавленным металлом выявлены основные закономерности смесеприготовления и принципы его реализации на практике.

В УП «Институт БелНИИлит» разработаны лопастные смесители. В зависимости от модели смесителя максимальная масса замеса может составлять от 50 до 1200 кг (рис. 11, табл. 11).

Все лопастные смесители периодического действия могут эксплуатироваться совместно с установками подачи и дозирования сухого песка и жидких связующих.

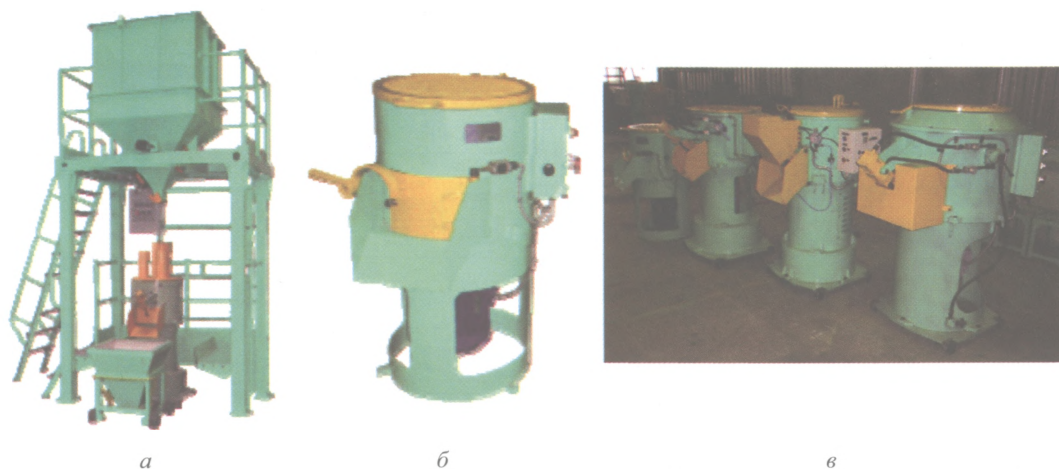


Рис. 11. Смесители и смесеприготовительные установки периодического действия для приготовления стержневых песчано-смоляных смесей: а – смеситель мод. С1С-50-01; б – смесеприготовительная установка мод. 1739; в – смесители С1С

Таблица 11. Смесители периодического действия для изготовления песчано-смоляных смесей

| Наименование параметра | Базовая модель смесителя | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|
| | С1С-050-01 | С1СМ-050 | С1С-150-02 | | С1С-200 | С1С-300 |
| | | | 1 | 2 | | |
| Масса замеса (макс.), кг | 50 | 80 | 150 | 150 | 200 | 300 |
| Диаметр чаши, мм | 525 | 630 | 800 | 800 | 884 | 992 |
| Высота чаши, мм | 435 | 425 | 500 | 500 | 650 | 465 |
| Скорость, мин ⁻¹ | 67,1 | 67,1 | 41,1 | 58 | 58 | 58,2 |
| Мощность, кВт | 4 | 4 | 7,4 | 11 | 11 | 15 |
| Габаритные размеры, мм | 895×700×1020 | 710×1015×1270 | 970×1055×1415 | 970×1055×1415 | 1060×1765×1265 | 992×1000×1900 |
| Масса, кг | 300 | 450 | 560 | 570 | 1000 | 1170 |

Принцип работы смесителей С1С основан на перемешивании компонентов смеси специальным смешивающим элементом, включающим S-образную лопасть, рыхлитель и скребок, получающим вращательное движение от привода мотор-редуктора. Смесители этого типа позволяют перемешивать все типы песчано-смоляных стержневых смесей. Высокая эффективность перемешивания смеси (скорость распределения связующих материалов по поверхности наполнителя) достигается за счет сочетания достаточно высокой скорости вращения и специальной конструкцией смешивающего элемента. Смесители модельного ряда С1С имеют однотипную конструктивную схему, основными узлами смесителя являются чаша, основание, мотор-редуктор и смешивающий элемент.

Для приготовления маложивучих холоднотвердеющих смесей, используемых в технологии No-bake, используются шнековые смесители непрерывного действия. Разработаны двушнековый смеситель с вихревой головкой мод. С2Ш-1 и высокоскоростные одношнековые смесители мод. С1Ш-3 и С1Ш-6 (рис. 12, табл. 12).

В базовой комплектации смесители имеют два контура дозирования связующих компонентов, что

Таблица 12. Шнековые смесители непрерывного действия для изготовления песчано-смоляных смесей

| Характеристика | Модель смесителя | | |
|---|--|--|---------|
| | С2Ш-1 | С1Ш-3 | С1Ш-6 |
| Тип поворотного смесителя непрерывного действия | одноплечий двушнековый с вихревой головкой | одноплечий одношнековый высокоскоростной | |
| Угол поворота, град, не менее | 90 | 180 | |
| Радиус действия, мм | 1200 | 720 | 1030 |
| Производительность, т/ч | 1,0–2,0 | 1,0–3,0 | 3,0–6,0 |
| Число оборотов шнеков, об ⁻¹ | 109 | 690 | 483 |
| Количество насосов-дозаторов, шт. | 2 | | |
| Установленная мощность, кВт | 5 | 4 | 5 |
| Давление воздуха, МПа | 0,5–0,7 | | |
| Масса смесителя, кг | 1100 | 450 | 560 |

обеспечивает возможность их применения для приготовления большинства используемых в современной литейной промышленности типов песчано-смоляных смесей на основе двухкомпонентных вяжущих систем «смола + отвердитель».

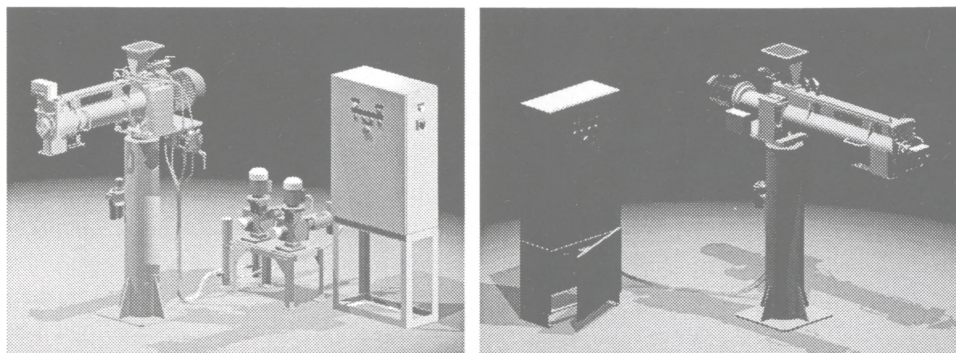


Рис. 12. Смесители С1Ш-3 и С1Ш-6. Основные достоинства: высокие скорость и качество перемешивания смеси; малые габариты при высокой производительности; отсутствие остатков смеси в смесителе после завершения смесеприготовления

По своей конструкции высокоскоростные од-ношнековые смесители мод. С1Ш-3 и С1Ш-6 (производительность соответственно 1–3 и 3–6 т/ч) представляют собой поворотный смешивающий агрегат, установленный на опорную колонну. Отличительной чертой этих малогабаритных смесителей является конструктивная простота и надежность. Перемешивание компонентов стержневой смеси происходит в шнековой камере смешивающего агрегата сменными лопатками, закрепленными на быстровращающемся валу. Совокупность небольшой длины шнековой камеры и высокой скорости вращения шнека обеспечивает быстрое и качественное смесеприготовление, а также полную очистку камеры перемешивания от остатков смеси в конце каждого рабочего цикла.

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ

В настоящее время в мировой практике нашли применение ряд основных технологий изготовления форм, которые по способу формообразования можно классифицировать на три группы:

- V-процесс (вакуум-пленочная формовка);
- ПГС (песчано-глинистые смеси) с различными методами уплотнения;

- ХТС (холоднотвердеющие смеси).

На рис. 13 приведена технологическая схема вакуумно-пленочной формовки (V-процесс).

Основные преимущества данного процесса:

- низкая себестоимость отливок, на 25-30% дешевле отливок по ПГС и значительно дешевле аналогичных отливок по ХТС (фуран или альфа-сет);
- сравнительно низкая температура заливки металла за счет низкой теплоемкости формы;
- не требуется системы смесеприготовления и регенерации сухого песка;
- нет системы, экологичность;
- высокая геометрическая точность и качество поверхности производимых отливок.

За последние годы фирмой HWS (Германия) данное оборудование было поставлено на ряд предприятий стран СНГ (Промтрактор ПРОМЛИТ (Чебоксары); Центролит (Саранск); Центролит (Сумы, Украина) и др.).

Пример отливки, полученной по V-процессу, приведен на рис. 14.

При изготовлении форм из ПГС (песчано-глинистых смесей) формообразование возможно осуществлять тремя основными путями:

- способ уплотнения – воздушный поток + гидравлическое прессование (Сейатцу-процесс) (рис. 15);

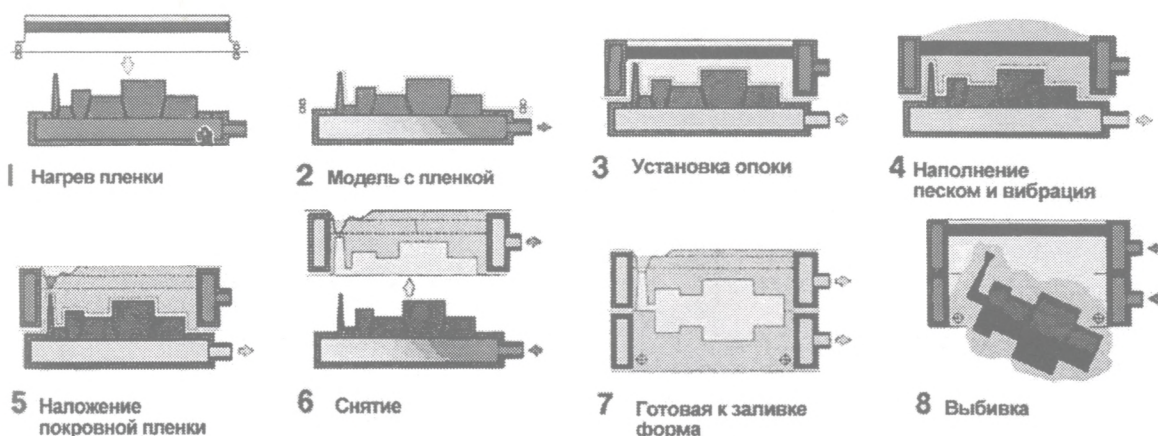


Рис. 13. V-процесс (вакуум-пленочная формовка)



Рис. 14. Отливки по V-процессу, изготовленные на заводе в Китае

- встряхивание + гидравлическое прессование;
- гидравлическое прессование.

В последние годы все большее распространение приобретают процессы формообразования с применением технологий с воздействием на формовочную смесь сжатым воздухом.

Известными производителями оборудования в мире являются HWS (Германия), KunkelWagner (Германия) и др.

В УП «Институт БелНИИлит» продолжаются научно-исследовательские работы по изучению закономерностей процесса формообразования по рассматриваемой технологии.

Процесс исследован и опробован в лабораторных условиях и воплощен в формовочной машине мод. 4841, которая поставлена на Бобруйский машиностроительный завод.

Гидропрессование при производстве форм нашло применение в производстве стопочных форм. Проведены комплексные исследования, направленные на совершенствование технологии и создание конкурентоспособного формовочного оборудования. Особо широкое развитие метод стопочной формовки нашел при производстве заготовок поршневых колец.

На основании анализа существующих структурных и кинематических схем формовочных машин и автоматических линий сделан вывод в пользу однопозиционных машин и линий циклического действия. Характерной особенностью машин для стопочной формовки является карусельный принцип подачи опок, при котором достигается наибольшая цикловая производительность ввиду возможности максимального совмещения во времени технологических и транспортных операций, а также за счет исключения холостых ходов механизмов. Кроме того, карусельный тип машины позволяет добиться большей компактности и ремонтпригодности конструкции.

Разработка получила и международное признание. Только на китайский рынок поставлено 17 ед. формовочного оборудования данного типа. Для примера годовой выпуск поршневых колец в КНР составляет 500 млн. шт. На оборудовании,

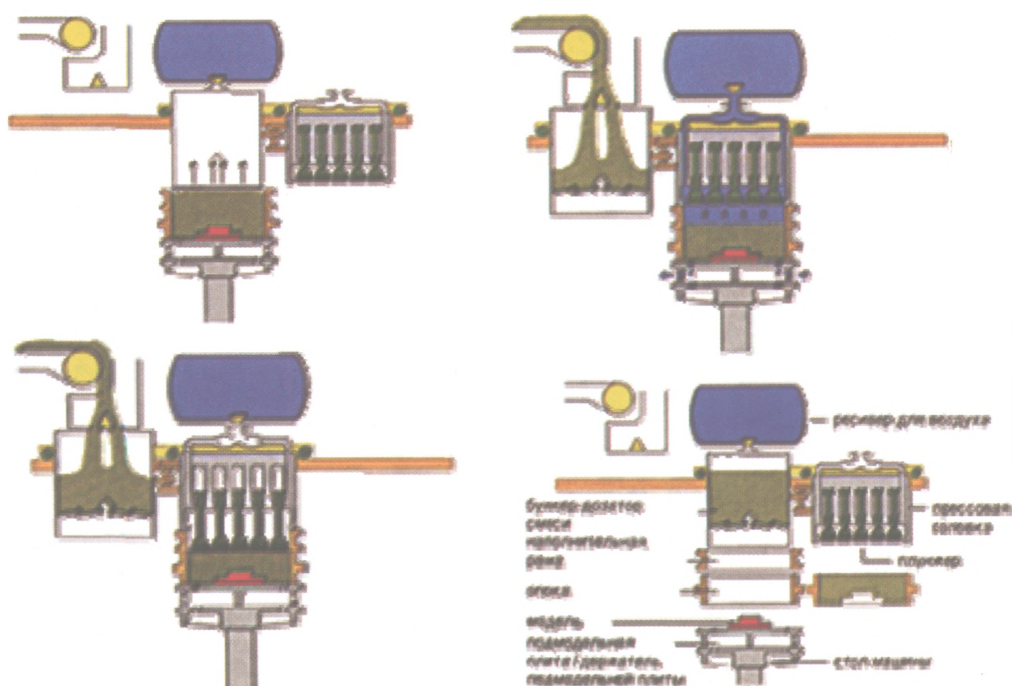


Рис. 15. Сейтцу-процесс. Способ уплотнения - воздушный поток + гидравлическое прессование. Наиболее прогрессивный метод формовки ПГС

поставленном институте, в настоящее время производится 170 млн. шт. поршневых колец. В плане производства 2008–2009 гг. находятся 8 ед. машин для стопочной формовки по контрактам с фирмами КНР.

No-bake процесс

В последние годы продолжается рост тенденции распространения процессов, разработанных в последнее время. В европейских странах для многономенклатурных производств отливок широко применяются процессы с использованием холоднотвердеющих смол (фуран-процесс, α -set-процесс и др.), так называемые No-bake-процессы.

No-bake-процесс – производство отливок с использованием холоднотвердеющих смол.

Виды процесса

1. Фурановый процесс (Фурановые смолы + катализатор).

2. α -set-процесс (Alphaset, Альфасет) (система Alphaset состоит из двух компонентов – водорастворимого щелочного фенолформальдегидного олигомера и отвердителя – композиции на основе сложного эфира).

3. Pep-set (Пепсет)-процесс (связующая композиция состоит из трех компонентов: раствора модифицированной фенолформальдегидной смолы, раствора полиизоцианата и амина).

4. Resol- CO_2 (Carbophen) (процесс отверждения проходит по следующей схеме: модифициро-

ванная фенольная смола (водный раствор) + CO_2 = отвержденная смола + гидроксид калия + карбонат калия).

Наряду с имеющимися недостатками процесса, связанными с высокой стоимостью материалов, можно привести и некоторые его преимущества:

- универсальные возможности при изготовлении любых отливок;
- простые методы регулирования технологических свойств;
- относительно низкие цены на смолы и катализаторы;
- возможности использования несложного технологического оборудования в составе механизированных участков и линий;
- хорошая выбиваемость из отливок;
- хорошие антипригарные свойства, возможность производства особо сложных крупных и уникальных стальных и чугунных отливок при использовании самовысыхающих красок и специальных наполнителей (циркон, хромит);
- высокий (до 80–90%) выход качественного регенерата при сухой механической регенерации.

На рис. 16 приведены образцы типового оборудования, используемого при реализации No-bake-процесса.

Существенную роль в современном литейном производстве в настоящее время играют компьютерные технологии. Причем они нашли широкое применение на всех стадиях технологического



Рис. 16. Оборудование для No-bake процесса

процесса получения отливки – от проектирования детали и отливки до моделирования процессов литья и анализа качества, в том числе оценки соответствия геометрии, полученных отливок.

Среди программных продуктов, максимально ориентированных на литейное производство можно отметить следующие.

ProCAST (компания ESI Group) – программа моделирования литейных процессов на основе использования реалистичной физики, позволяющая получить модели течения потока расплава в форме, распределение температуры, напряжений и микроструктуры, в том числе распределение микро- и газовой пористости.

SolidCast (разработка Finite Solutions Inc.) – программа моделирования литейных технологий,

основным критерием для оптимизации которых выступает качество отливки.

Программа OPTICast работает с программой SolidCast в качестве модуля автоматической оптимизации конструктивных и технологических параметров по заданным критериям качества отливки.

Конечно-элементная программа WinCast (разработка RWP GmbH) позволяет производить гидродинамический и тепловой анализ процессов заполнения расплавленным металлом формы и последующего затвердевания, прогнозировать дефекты в отливках, рассчитывать временные и остаточные напряжения, коробление отливки, микроструктуру и распределение фаз и соответственно распределение механических свойств.