

Рисунок 8 – Частотная кривая изменения основности печного шлака для стали 80К

Распределение MgO (рисунок 3) имеет отклонение от закона нормального распределения в интервале концентраций 0–1,5 % и 6,0–7,5 %. Содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (рисунок 4) подчиняется закону нормального распределения и около 90 % случаев приходится на концентрацию 1,0–4,0 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Колебания концентраций MnO в печных шлаках (рисунок 5) хорошо описываются законом нормального распределения и около 94 % случаев попадает в диапазон 0–4,0 % MnO. На диапазон концентраций 16,0–48,0 % FeO (рисунок 6) приходится около 90 % составов, что хорошо согласуется с законом нормального распределения и только примерно 10 % шлаков отличаются низким содержанием FeO (< 8,0 %).

Распределение суммарного содержания в шлаках (FeO + MnO) (рисунок 7) практически повторяет аналогичную зависимость для FeO.

Основность печного шлака для 90 % случаев описывается законом нормального распределения (рисунок 8) и данный показатель изменяется в диапазоне 1,0–4,0.

Проведенный анализ составов печных шлаков при выплавке стали 80К показывает, что в подавляющем большинстве случаев их составы обладают высокой основностью и окисленностью, что обеспечивает удаление фосфора из расплава стали в шлак.

УДК 621.745.669.13

### Совершенствование технологии получения чугуна с шаровидным графитом повышенной прочности

Магистрант Кулинич И. Л.

Студенты: гр. 10405115 Шевчук В.

гр. 10402114 Фролов А. И.

Научный руководитель – Слуцкий А. Г., Белый А. Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В практике литейного производства широко используются различные способы получения ЧШГ. Основными технологическими операциями, обеспечивающими стабильное получение высокопрочного чугуна, являются:

1. Процесс десульфурации исходного расплава чугуна специальными реагентами, позволяющими снизить концентрацию серы.

2. Сфероидизирующая обработка – за счет введения в жидкий чугун магнийсодержащих лигатур для формирования в структуре шаровидного графита.

3. Вторичное графитизирующее модифицирование для получения отливок без отбела.

Применение прогрессивных процессов плавки, а также рафинированных шихтовых материалов позволяет обеспечить в исходном чугуне достаточно низкую концентрацию серы, что исключает дорогостоящий процесс десульфурации. Ранее выполненные исследования показали перспективность использования в составе металлошихты конверсионного лома в виде стальных корпусов артиллерийских снарядов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Стальной корпус артиллерийского снаряда

Данный материал содержит в своем составе 0,50–0,65 % углерода, 0,15–0,19 % кремния, 0,50–0,7 % марганца, а также невысокую концентрацию хрома (0,06 %), фосфора (0,01 %) и особенно серы, которая находится в пределах 0,014–0,018 %.

Основной технологической операцией при получении ЧШГ является сфероидизация и обработка жидкого расплава магнийсодержащими лигатурами.

В зависимости от марки ЧШГ, требуемой структуры и механических свойств, широко используются как «легкие» на основе ферросилиция, так и «тяжелые» на основе меди магнийсодержащие лигатуры.

Известно, что в чугунах с шаровидной и пластинчатой формой графита механизмы роста графито-аустенитной эвтектики существенно различаются. Если при кристаллизации серого чугуна пластинчатый графит является ведущей фазой и находится в постоянном контакте с расплавом, то при сферолитной кристаллизации включения графита окружены аустенитной оболочкой, что существенно тормозит их рост. Поэтому чугун с шаровидным графитом гораздо сильнее склонен к переохлаждению, приводящему к образованию цементита.

Ранее выполненные исследования показали, что при использовании графитизирующих модификаторов в виде чипсов (толщиной менее 3 мм) за счет более быстрого его растворения в объеме жидкого чугуна и создания большого количества центров кристаллизации формируется мелкокристаллическая структура.

С целью повышения эффективности процесса сфероидизирующей обработки ЧШГ был предложен способ получения «чипс»-лигатуры с использованием метода механотроники. Для этого был использован вариант высокоскоростной ударной деформации брикетов, содержащих порошки меди и магния.

Скоростная деформация осуществлялась путем осадки брикетов на вертикальном копре, конструктивная схема которого показана на рисунке 2.

Представленная на рисунке схема вертикального копра, состоит из ударного бойка 1, которым осуществляется ударное воздействие на наковальню 2, закрепленную на нижней плите 3. Подъем бойка 1 на высоту Н осуществляется подъемным механизмом 4 по направляющим 5 посредством привода 6.

Рабочее положение вертикального копра заключается в поднятии ударного бойка 1 на высоту  $H$ . При срабатывании спускового механизма ударный боек 1 разгоняется с ускорением свободного падения. При свободном падении ударного бойка 1 с высоты  $H$  полученная кинетическая энергия передается брикету, расположенному на наковальне 2, который деформируется методом осадки.

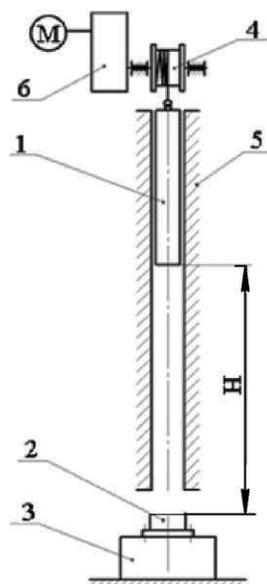


Рисунок 2 – Схема вертикального копра

Экспериментальные исследования проводились бойком массой  $m = 35$  кг с поднятием его на высоту  $H = 5$  м. Учитывая, что падение бойка происходит с ускорением свободного падения  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>, скорость бойка составляла:

$$v_6 = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 5} = 9,9 \text{ м/с.}$$

Кинетическая энергия, переданная деформируемому брикету, равнялась:

$$E_k = \frac{mv_6^2}{2} = \frac{35 \cdot 9,9^2}{2} = 1715 \text{ Дж.}$$

При скоростном ударном воздействии на брикет достигается повышение пластичности металла и создание благоприятных термомеханических параметров деформирования, а именно:

1) значительное повышение температуры брикета за счет теплоты, выделяемой вследствие внутреннего трения металлов при деформировании за ничтожно малый промежуток времени;

2) уменьшение контактного трения, что исключает дефекты от неравномерной скорости течения металлов в процессе деформации;

3) глубина проникновения пластической деформации значительно больше, чем при обычной осадке, что гарантирует хорошую проработку структуры металла.

Лабораторные испытания пластин «чипс» лигатуры показали положительные результаты по эффективности сфероидизирующей обработке чугуна с шаровидным графитом. Вместе с тем было установлено, что в процессе деформации исходных брикетов имели место технологические безвозвратные потери, составляющие порядка 8–12 %.

В этой связи, был предложен способ получения «чипс»-лигатуры методом прокатки на горизонтальных валках.

В качестве исходного материала использовали порошки меди и магния, в соотношении 1:1. После тщательного перемешивания на лабораторной установке смесь засыпалась в медную трубку диаметром 19 мм и прокатывалась в пластины толщиной от 2 до 1 мм в зависимости от количества проходов через валки.

Установлено, что потери лигатуры при таком способе получения минимальные по сравнению с высокоскоростной ударной деформацией.

На рисунке 3 представлены фотографии опытных образцов «чипс»-лигатуры, полученных различными способами.



Рисунок 3 – Общий вид опытных образцов «чипс»-лигатуры: а – метод высокоскоростной деформации; б – метод прокатки

На следующем этапе работы были проведены лабораторные испытания технологии получения ЧШГ повышенной прочности.

Плавка чугуна осуществлялась в индукционной тигельной печи ИСТ-006. В качестве основных шихтовых материалов использовали конверсионный стальной лом в виде корпусов снарядов, что обеспечило получение в исходном расплаве минимальной концентрации серы. Для сфероидизирующей обработки чугуна применяли два варианта «чипс» лигатуры на основе меди и магния в виде пластин толщиной 0,8 мм и 2 мм, которая вводилась в ковш в количестве 1 % в весу жидкого чугуна. После завершения обработки высокопрочный чугун разливали по литейным формам. Из полученных заготовок изготавливались образцы для изучения химического состава, механических свойств и микроструктуры. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты химического анализа и механических свойств ВЧ

Вариант модифицирования	Химический состав, %						Твердость, НВ	Предел прочности, $\sigma_B$ , МПа
	C	Si	P	S	Cu	Mg		
«Чипс-лигатура» (Cu-Mg) 0,8мм	3,57	2,23	0,028	0,011	0,79	0,011	241	635
«Чипс-лигатура» (Cu-Mg) 2 мм	3,63	2,14	0,038	0,012	0,76	0,019	266	615

Добавки лигатуры на основе меди и магния в виде пластин оказали заметное влияние на структуру и свойства высокопрочного чугуна. За счет более эффективного растворения присадки в чугуне повысилась концентрация меди и остаточного магния. При этом практически весь графит приобрел исключительно шаровидную форму, что подтвердили результаты металлографического анализа (рисунок 4).

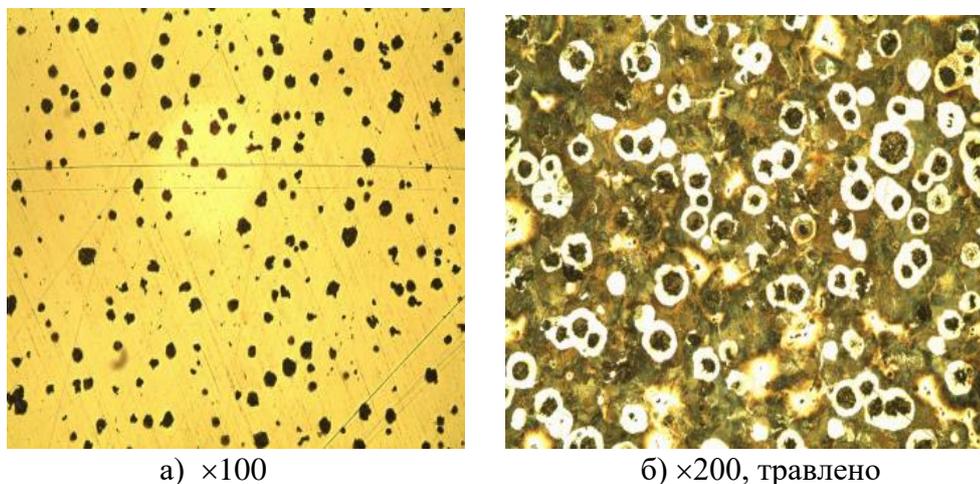


Рисунок 4 – Структура графита (а) и металлической основы (б), полученного ЧШГ

Таким образом сфероидизирующее модифицирование высокопрочного чугуна «чипс»-лигатурой на основе меди и магния в виде пластин позволяет получать высокие марки сплава.

УДК 669.131.7

#### **Экзотермические смеси для обогрева питающих прибылей чугунных и стальных отливок**

Студент гр. 10405113 Пиго А. С.  
Научные руководители – Довнар Г. В., Храмченков И. А.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью исследования являлась разработка составов композиционных материалов для экзотермических систем питания стальных и чугунных отливок. Экзотермические композиционные смеси, используемые для обогрева питающих прибылей должны отвечать следующим основным требованиям:

- иметь низкую (500 – 900 °С) температуру воспламенения;
- стабильное с небольшой скоростью горение;
- не вступать в химическое взаимодействие с формовочной смесью и жидким металлом;
- отсутствие обильного газовыделения при горении смеси;
- достаточная прочность и формуемость в сыром состоянии;
- применение недефицитных и относительно недорогих материалов.

Для оценки оптимальности составов, применяемых и предлагаемых экзотермических смесей для обогрева прибылей стальных и чугунных отливок и определения их тепловых характеристик проведен термохимический анализ выбранного ряда экзотермических смесей (таблица 1).