

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

METALLURGY AND MATERIALS TECHNOLOGY

Ковалевич Е. В.
E. V. Kovalevitch

05.16.02

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TECHNOLOGY OF PRODUCING SPHERICAL GRAPHITE IRON

Ковалевич Евгений Владимирович — доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией ЦНИИТМАШ (г. Москва)
ev_kov@mail.ru

Evgeniy V. Kovalevitch — Doctor in Engineering, Professor, Head of a Laboratory at the Central Research Institute for Heavy Engineering Industry

Аннотация: В статье рассматривается технологический процесс модифицирования чугуна диспергирующей смесью.

Summary: The paper discusses the process of iron inoculation by dispersant mixture.

Ключевые слова: высокопрочный чугун, шаровидный графит, модификатор.

Keywords: high duty cast iron, spherical graphite, inoculants.

Обработка чугуна чистым магнием или модификаторами, содержащими магний, как правило, сопровождается сильным пироэффектом и сопутствующим ему

дымовыделением.

Одной из основных причин возникновения пироэффекта и значительного дымовыделения в процессе модифицирования чугуна комплексными лигатурами является быстрое всплывание этих лигатур в среде расплава, так как их плотность значительно меньше плотности чугуна. При этом магний, содержащийся в лигатуре, не успевает прореагировать с компонентами жидкого чугуна.

Как показала практика, полезное использование магния в большинстве случаев составляет от 25 до 60% в зависимости от способа его ввода, остальной магний вылетает из чугуна и сгорает на его поверхности с ослепительным пироэффектом и большим количеством дыма, состоящего из мелкодисперсных оксидов магния.

Можно легко подсчитать, что при остаточном содержании магния 0,05% и усвоении 60% бесполезно сгорает в атмосфере над поверхностью ковша до 0,1% магния. Это, в свою очередь, даёт 1,6 кг тонкодисперсных оксидов магния на каждую тонну жидкого чугуна. Такое количество оксидов магния загрязняет 158000 м³ воздуха до уровня ПДК по окиси магния. При данных условиях применение таких технологий возможно только при наличии хорошей вытяжной вентиляции. Однако такая вентиляция без очистных сооружений не изменяет опасную экологическую обстановку.

В НПО ЦНИИТМАШ разработан и освоен на ряде российских и зарубежных предприятий технологический процесс получения чугуна с шаровидным графитом при производстве отливок с применением модифицирующей диспергированной смеси (МДС-процесс).

Сущность МДС-процесса заключается в обработке жидкого чугуна измельчённым до определённой фракции модификатором, главной составляющей которого является магний. В настоящее время это наиболее перспективная технология, которая может быть использована в любом производстве без дополнительных капиталовложений и при соблюдении санитарных норм.

Технология подготовки ковшей при МДС-процессе аналогична сэндвич-процессу. Принципиальное отличие заключается в подготовке модификатора. Модификатор МДС-процесса имеет фракционный состав, который обеспечивает удерживание модификатора на дне ковша при заполнении его чугуном силами поверхностного натяжения чугуна до полного завершения процесса.

При укладке вещества между его частицами всегда остаются пустоты — поры, размер которых зависит от величины и конфигурации частиц. Если жидкость проникает в поры между частицами, то на них действует подъемная сила и при массе частицы меньшей массы жидкости она всплывает. В противоположном случае, когда за счет сил поверхностного натяжения жидкость не проникает в поры, подъемная сила не возникает и частица не всплывает. При условии не смачивания пористого материала жидким чугуном металл будет проникать в поры между частицами, если их радиус удовлетворяет условию:

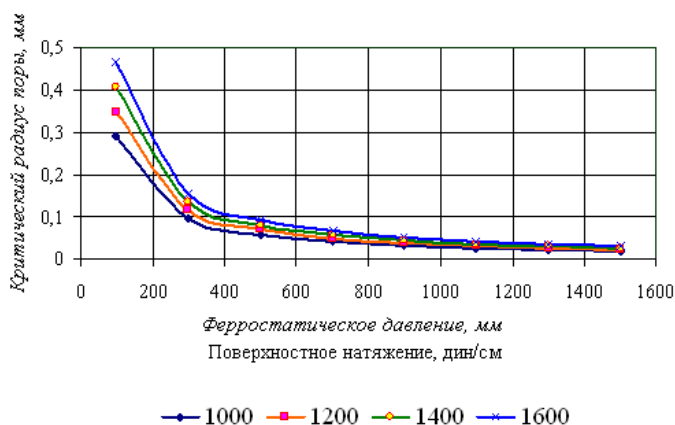


Рис 1. Влияние поверхностного натяжения и высоты столба чугуна на критический радиус поры при краевом угле смачивания 180

Поступила в редакцию 12.02.2010

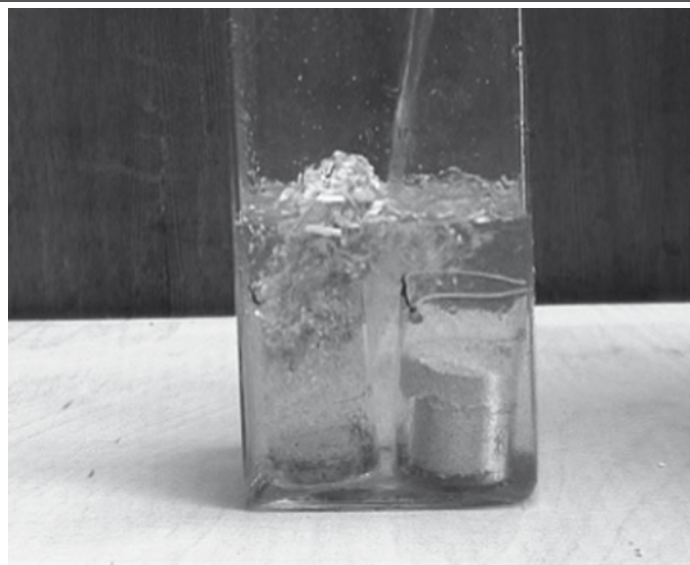
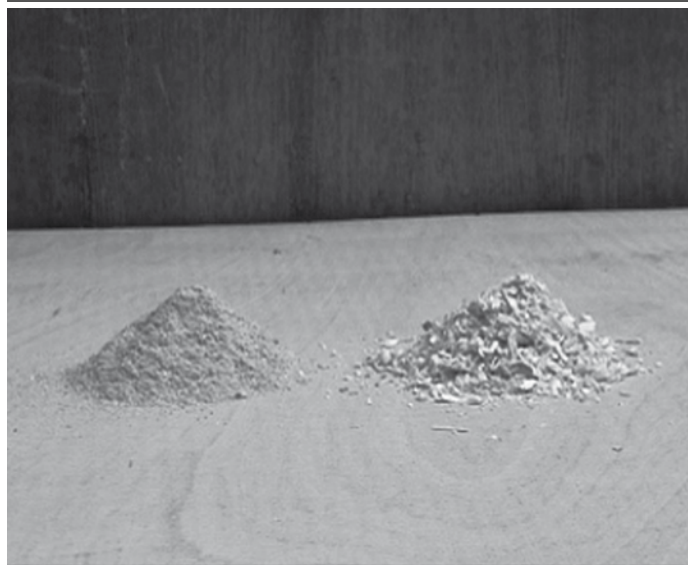


Рис 2. Моделирование поведения модификатора разной дисперсности в жидком чугуне

$$R_{\text{пор}} = 2 \sigma \cos Q / P,$$

где σ — поверхностное натяжение
 P — внешнее давление
 Q — краевой угол смачивания

Таким образом, радиус поры, равный $2 \cos \sigma / P$, будет критическим. При меньшем радиусе металл не будет проникать в поры между частицами.

Расчеты показали, что в зависимости от поверхностного натяжения, глубины погружения в жидкий чугун и степени смачиваемости величина критического радиуса может меняться от 0.01 до 0.45 мм (рис. 1). Следовательно, существуют реальные условия, при которых модификатор, помещенный на дно ковша, не будет всплывать в жидком чугуне и будет удерживаться там силами поверхностного натяжения чугуна. Это наглядно подтверждается при моделировании процесса при использовании воды и опилок. Опилки разной крупности свободно засыпали в два одинаковых ста-

канчика и поместили их в стеклянную ёмкость. При заливке ёмкости водой крупные опилки сразу всплыли на поверхность, как только вода залилась в стаканчик. Мелкие же опилки остались в своём стаканчике (рис. 2). Приведенный опыт убедительно доказывает возможность удерживания модификатора определённого фракционного состава на дне ковша при заполнении его жидким чугуном.

Влияние технологических факторов, температуры чугуна, химического и фракционного состава модификатора и массы обрабатываемого чугуна на проте-

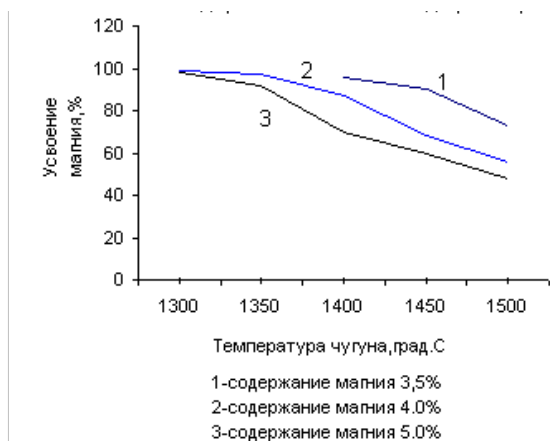


Рис 3 Усвоение магния в зависимости от температуры чугуна и содержания магния в модификаторе

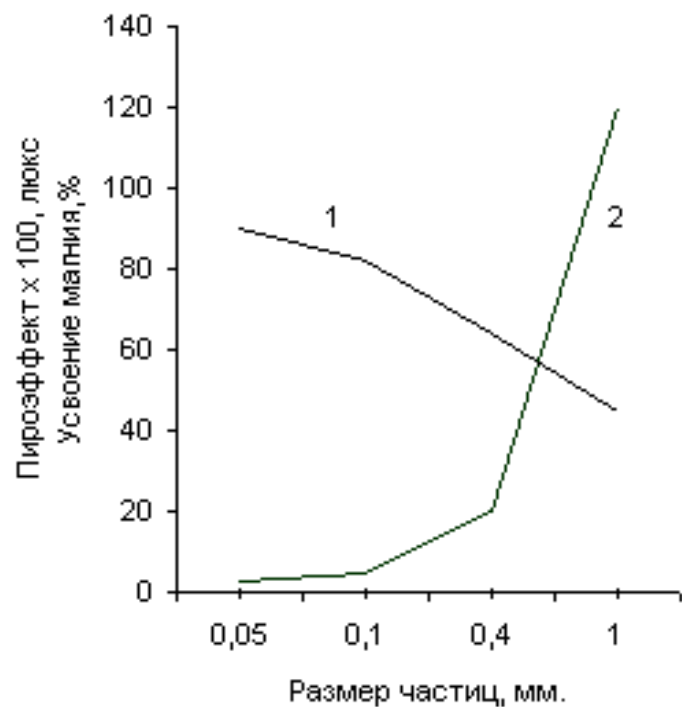


Рис 4 Влияние размеров частиц модификатора на величину пирозэффекта и усвоения магния при 1400°C
 1 — усвоение магния; 2 — пирозэффект

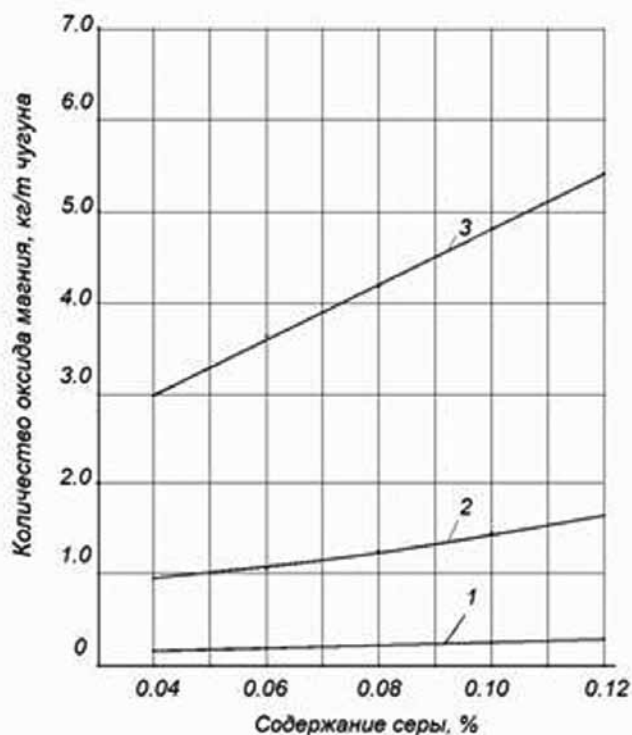


Рис. 5. Влияние содержания серы и усвоения магния на выделение оксида магния при модифицировании чугуна:

- 1 — коэффициент усвоения — 0,9
 2 — коэффициент усвоения — 0,6
 3 — коэффициент усвоения — 0,3

вание процесса модифицирования достаточно хорошо изучено. Это позволяет управлять процессом с целью минимизации пироэффекта и дымовыделений и получения заданной структуры и свойств чугуна.

Для МДС-процесса пригодны все существующие в настоящее время магнийсодержащие лигатуры, которые возможно размельчить до определённого фракционного состава, и даже дисперсный порошок чистого магния в смеси с ферросилицием или другими добавками. Подготовленный таким образом модификатор обеспечивает протекание процесса модифицирования без пироэффекта с высоким усвоением магния. Более того, применение модификатора, в котором магний находится в связанном состоянии, позволяет использовать более крупную его фракцию в сравнении с порошком чистого магния, так как в этом случае упругость паров магния значительно снижается.

Для полного усвоения магния в чугуне при модифицировании его мелкодисперсным модификатором необходимо, чтобы пузырьки паробразного магния, образующиеся из его твердых частиц при контакте с жидким чугуном, успевали полностью аннигилировать за время своего образования и всплывания в чугуне. При этом необходимо также, чтобы модификатор до окончания процесса находился на дне ковша, не всплывал бы в жидком чугуне и послойно, по мере растворения, контактировал с жидким чугуном. Указанные требования могут быть выполнены при соответствующем подборе

фракционного и химического состава модификатора

Правильно подобранный химический и фракционный состав модификатора позволяет получать чугун с шаровидным графитом в обычных разливочных ковшах с коэффициентом усвоения 90-95% практически без пироэффекта и выделений оксида магния в рабочей зоне ковша, не превышающей предельно допустимую концентрацию. Отсутствие пироэффекта позволяет достигать высокой степени усвоения магния, что снижает расход магния при модифицировании и делает технологию МДС-процесса на сегодняшний день самой экономичной.

Для спокойного модифицирования без пироэффекта с повышением температуры чугуна необходимо снижать концентрацию магния в модификаторе (рис. 3). Снижение содержания магния в модификаторе легко достигается подмешиванием в него измельченного ферросилиция, что дополнительно даёт сильный графитизирующий эффект и позволяет получать даже в тонких сечениях отливки структуру без включений свободного цемента.

Модифицирование чугуна методом МДС отличается высокой стабильностью и гибкостью процесса. Возможность составлять различные комбинации модифицирующих смесей с добавками РЗМ, кальция, бария и других элементов, в том числе легирующих, позволяет получать чугун с шаровидным графитом с высокими прочностными и пластическими свойствами в литом состоянии как при выплавке чугуна в электропечах, так и при выплавке в вагранках.

Необходимое количество модифицирующей смеси определяется, в основном, в зависимости от содержания серы в исходном чугуне и, как правило, составляет до 0,1% магния от массы обрабатываемого чугуна. Дозируется смесь с помощью мерной емкости или по массе. Модифицирующая смесь засыпается в разогретый до 600-800 °С ковш не ранее 5 мин до выпуска металла. При повторении цикла модифицирования в ковше не должно быть остатков жидкого чугуна. В случае, если после слива металла в ковше все же есть остатки жидкого металла, последний перед загрузкой модификатора необходимо засыпать чугунной стружкой.

Выплавка чугуна для модифицирования может производиться в любых плавильных агрегатах (вагранка, дуговая или индукционная электропечь). Химический состав исходного чугуна должен соответствовать составу требуемой марки высокопрочного чугуна с шаровидным графитом с учетом повышения содержания кремния при модифицировании на 0,6-1,0% в зависимости от состава применяемой модифицирующей смеси. Температура чугуна перед модифицированием должна быть в пределах 1360-1500 °С. Модифицирование чугуна проводится в обычных разливочных ковшах чайникового типа. На дне ковша устраивается перегородка для размещения необходимого количества модификатора. Сливать чугун в ковш следует с максимально возможной скоростью, направляя струю металла в свободный от модификатора отсек. При случайном попадании струи металла в карман с модификатором происходит вспышка магния в результате перемешивания струей

модифицирующей смеси, которая всплывает в чугуна и за несколько секунд сгорает на поверхности чугуна. В этом случае модифицирование следует считать неудачным, металл должен быть слит в печь для последующего повторного модифицирования или разлит как серый чугун.

Нормально процесс модифицирования сопровождается кипением металла, интенсивным его перемешиванием без выплесков и пироэффекта. По окончании процесса кипение прекращается. Продолжительность модифицирования в ковшах емкостью от 0,5 до 5 т составляет от 1 до 3 минут.

Сравнительные замеры величины свечения над поверхностью ковша при модифицировании чугуна одного химического состава при температуре 1450 °С никель-магниевого лигатурой и МДС-процессом показали, что свечение в первом случае достигает 10 тыс люкс, тогда как во втором лишь 1 тыс люкс при уровне фона 500 люкс. Взаимосвязь между величиной частиц модификатора, величиной пироэффекта и усвоением магния приведена на рис. 4.

Выброс MgO в атмосферу зависит от величины коэффициента полезного использования магния, который определяется способом модифицирования. С понижением коэффициента полезного использования магния количество пылевидного оксида резко возрастает (рис. 5).

Расчеты показывают, что выбросы окислов магния при МДС-процессе в 10-20 раз меньше, чем при модифицировании лигатурами обычной крупности сэндвич-процессом.

Для реальной оценки выбросов при модифицировании чугуна по технологии МДС проводили исследования воздушной среды при производстве чугуна с шаровидным графитом в промышленных условиях. Исследования проводили параллельно: НИИ гигиены труда и профессиональных заболеваний АМН и санитарно-промышленная лаборатория завода. Отбор проб воздушной среды проводили в трех рабочих зонах в разные дни и при различных условиях модифицирования. Плавки проводили в печах ИЧТ-10. Чугун модифицировали МДС-процессом в ковшах емкостью 3 т. Температура чугуна перед модифицированием 1450-1460 °С.

Отбор проб воздуха проводили:

— в зоне дыхания плавильщика, находящегося у пульта опрокидывания печи с момента начала выпуска чугуна из печи в ковш до окончания выпуска и прекращения реакции модифицирования;

— в зоне дыхания заливщика при очистке шлака из ковша после модифицирования и при разливке металла в формы.

Результаты исследований приведены в таблице 1.

Исследования показали, что концентрация оксида магния в зоне дыхания рабочих при получении чугуна по технологии МДС в два раза ниже предельно допустимой концентрации по санитарно-гигиеническим требованиям к воздуху рабочей зоны. Причем выделение оксида непосредственно при модифицировании, то есть когда происходит обработка чугуна магнием, даже несколько меньше, чем при очистке шлака и при разлив-

ке чугуна в формы, что позволяет рекомендовать этот способ к использованию при существующей в цехе обменной вентиляции.

Таблица 1

Содержание окислов магния в воздушной среде при модифицировании чугуна по технологии МДС

Время отбора проб	Место отбора проб	Содержание окислов магния, мг/м			
		1 ковш	2 ковш	3 ковш	среднее
1 февраля	ИЧТ-10	1,73	4,33	-	3,03
	Счистка шлака	0,43	2,62	-	1,52
	Заливка форм	0,43	0,86	-	0,64
3 февраля	ИЧТ-10	0,43	0,88	-	0,65
	Счистка шлака	-0,43	0,88	-	0,88
	Заливка форм	-	0,88	-	0,65
23 марта	ИЧТ-10	3,26	5,80	5,0	4,68
	Счистка шлака	5,20	4,81	-	5,00
	Заливка форм	3,40	4,27	-	3,83
3 апреля	ИЧТ-10	4,02	5,43	-	4,72
	Счистка шлака	4,22	3,62	-	3,92
	Заливка форм	4,21	-	-	4,21
8 апреля	ИЧТ-10	4,12	4,77	-	4,44
	Счистка шлака	3,70	3,10	-2,94	3,40
	Заливка форм	-	4,75	-	3,84
12 апреля	ИЧТ-10	4,65	3,66	4,33	4,21
	Счистка шлака	2,91	5,81	3,43	4,05
	Заливка форм	2,94	-	-	2,94
13 апреля	ИЧТ-10	3,67	4,49	2,42	3,52
	Заливка форм	3,16	4,62	2,28	3,35

Предлагаемый процесс имеет преимущества в сравнении с существующими методами модифицирования, в том числе:

— обеспечивает стабильное получение чугуна с шаровидным графитом в обычных разливочных ковшах любой емкости;

— может быть использован в любом литейном цехе, поскольку не требует специального оборудования и дополнительной вентиляции;

— обеспечивает спокойное протекание процесса без пироэффекта;

— позволяет проводить модифицирование чугуна в широком интервале температур 1360-1500 °С, что дает возможность использовать для модифицирования металл, полученный из любых плавильных агрегатов (вагранка, дуговые и индукционные электропечи);

— выделение в атмосферу окислов магния при модифицировании составляет 0,002... 0,006 мг/л;

— позволяет получать чугун с заданной структурой и высокими параметрами механических свойств в литом состоянии. Чугун марок ВЧ-40 и до ВЧ-60 включительно может быть получен без дополнительного легирования с относительным удлинением в литом состоянии 22-3 % соответственно;

— характеризуется экономичностью, низким расходом магния (0,05...0,1% от массы модифицируемого чугуна в зависимости от содержания серы) и высокой степенью десульфурации.