

Анализ влияние состава исходного расплава на качественные характеристики чугуна с шаровидным графитом.

Студенты: гр.10405119 Бусел А.А.
гр. 10405220 Горский Г.А. гр.10405321 Гуренок Е.В.
Научные руководители – Слуцкий А.Г. Зык Н.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Отличительной особенностью высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) являются его высокие механические свойства, износостойкость и хорошие коррозионную стойкость, теплостойкость, жаростойкость, хладостойкость, антифрикционные свойства и обрабатываемость, что позволяет его использовать взамен углеродистой стали, серого и ковкого чугунов.

Наиболее важным для механических свойств ВЧШГ является получение графита правильной шаровидной формы, которая зависит от ряда факторов (состав металла, условия модифицирования, шихтовые материалы и прочие условия плавки), но в первую очередь она связана с содержанием остаточного Mg, Се или других сфероидизаторов. Значительное влияние на форму кристаллизующегося графита оказывает также скорость охлаждения отливок: чем больше скорость, тем правильнее шаровидная форма графита. Кроме того, при этом уменьшаются размеры графита (примерно до 50 мкм); при средней скорости охлаждения, размер графита получается около :100 мкм; при малой скорости (в массивных отливках)– достигает 400–500 мкм. [1-2].

Состав металла является одним из основных факторов, определяющих механические свойства ВЧШГ. Углерод в ВЧШГ, в противоположность СЧ, не надо поддерживать на низком уровне для получения высоких механических свойств. Наоборот, он обычно выдерживается для высоких марок в пределах 3,2–3,6%, что облегчает процесс получения металла, повышает литейные свойства чугуна и в то же время не влияет отрицательно на его механические свойства, как это имеет место при пластинчатом графите.

Кремний оказывает значительное влияние как на структуру, так и на механические свойства ВЧШГ, и практически регулирование количества феррита в ВЧШГ в сыром состоянии осуществляют подбором содержания кремния в металле. При содержании 3,0–3,3% кремний способствует получению устойчивой ферритной структуры в сыром состоянии; однако пластичность чугуна при этом все-таки понижается, и при количестве кремния свыше 3,5% он способствует появлению хрупкости, даже при обычном содержании марганца и фосфора. Поэтому с точки зрения пластичности оптимальная его концентрация 2,0-2,4%, а для получения чистого феррита применять термическую обработку. [2].

Марганец оказывает на структуру ВЧШГ влияние, противоположное влиянию кремния, уменьшая количество феррита и увеличивая количество перлита, в связи с чем повышается предел прочности и понижается относительное удлинение. Поэтому для получения высокой пластичности содержание марганца не должно превышать 0,4%, что сокращает, а иногда вообще исключает термическую обработку. Когда же некоторое количество перлита в литой структуре допустимо, как это имеет место в большинстве случаев на практике, количество Mn может находиться в пределах 0,4–0,8%; но для снижения порога хладноломкости следует допускать содержание марганца не выше 0,3%. [2].

Фосфор оказывает весьма существенное влияние на структуру и свойства ВЧШГ, понижая удлинение и ударную вязкость; поэтому его содержание не должно превосходить 0,1% и даже, если возможно, должно быть ниже, особенно в толстостенных отливках, где

широко развивается его ликвация. Если же высокое удлинение в чугунах не обязательно, содержание Р может быть повышено до 0,12–0,15%. [2].

Содержание серы в исходном жидком чугунах до модифицирования должно находиться на низком уровне (не выше 0,02% или даже ниже), так как оно затрудняет процесс модифицирования и получение ШГ и понижает механические свойства ВЧШГ вследствие образования сфероидизаторами сульфидов. [5].

Медь в количестве более 2,0% препятствует образованию ШГ, а при наличии Ti 0,04% даже при 1% Cu образуется ПГ. Кроме того, Cu уже в количестве 1,0–1,6% приводит к образованию перлита, повышая прочность чугуна и понижая его пластичность. [2].

Алюминий, подобно меди, оказывает вредное влияние на ВЧШГ, способствуя образованию ПГ уже при содержании 0,2% и особенно при 0,25–0,6% и медленном охлаждении отливок. Одновременно значительно понижается относительное удлинение, несмотря на увеличение количества Fe. Однако при более совершенных методах модифицирования ШГ образуется в чугунах даже с более высоким содержанием Al. [2].

Никель и марганец в ВЧШГ при совместном легировании (до 2 и 3,5% соответственно) позволяют получать конструкционный чугун с повышенными значениями износостойкости и кавитационной стойкости. При содержании 3% Ni и 0,7% Mn ВЧШГ после нормализации и отпуска при 350–380° С имеет следующие механические свойства: предел прочности при растяжении = 100–135 кгс/мм², предел прочности при изгибе = 150–195 кгс/мм² при HB 325–500 и, кроме того, хорошие износостойкость и эрозионную стойкость. [2].

Таким образом, сравнительно небольшое легирование Mn и Ni (а также Cr, Mo и Cu) дает возможность повысить не только механические свойства конструкционного ВЧШГ, но и некоторые его специальные свойства (сопротивление износу, коррозии, эрозии, ползучести и т. п.).

Магний и церий, применяющиеся как сфероидизаторы, обычно остаются в ВЧШГ в количестве не менее 0,03 и 0,02% соответственно, в противном случае графит кристаллизуется в шаровидной форме только частично, вследствие чего механические свойства чугуна понижаются. Однако излишне высокое остаточное содержание Mg и Ce приводит сначала к образованию цементита в сырой структуре, а затем к «перемодифицированию» (образованию пластинчатого графита). Поэтому остаточное содержание Mg и Ce не должно превосходить 0,08 и 0,05% соответственно [2].

Микропримеси, как уже указывалось, оказывают большое влияние на процесс модифицирования, а следовательно, и на свойства ВЧШГ. В большинстве случаев они препятствуют образованию ШГ и понижают свойства чугуна. Поэтому их содержание должно быть ограничено (%): Pb 0,009; Sn – 0,13; Sb – 0,026; Bi – 0,003; Ti – 0,04; Al – 0,3. [2].

Для стабильного получения высокопрочного чугуна необходимо обеспечить минимальную концентрацию серы и осуществить технологические операции, включающие сфероидизирующее и вторичное графитизирующее модифицирование.

При использовании традиционных шихтовых материалов в жидкий чугун вносится не > 0,04% серы, а остальная часть поступает из кокса при ваграночной плавке.

В практике производства ВЧШГ десульфурация осуществляется как в плавильных агрегатах (за счет наводки основного шлака) так и при внепечной обработке расплава. При этом обязательным условием, обеспечивающим снижение концентрации серы до 0,01 – 0,02% является перегрев чугуна до температуры не ниже 1480–1520°С, в противном случае резко снижается степень удаления серы, коэффициент использования реагентов, а также условия удаления продуктов реакции.

В качестве основных реагентов-десульфураторов применяют карбид кальция (CaC₂), негашеная известь (CaO), соду (Na₂CO₃) и др. На рисунке 1а представлен способ десульфурации, включающий продувку расплава чугуна (4) инертным газом (3) через пористую пробку (1) с одновременной подачей через дозатор (2) реагента. Одним из

вариантом является вращение ковша с жидким чугуном и одновременной подачей реагента (рисунок 1 б), либо использование специальной огнеупорной мешалки (рисунок 1 в). [1].

В мировой практике широко используется десульфурация чугуна продувкой инертным газом через пористую огнеупорную пробку. Этот метод позволяет в течении 1,5 -2,0 минут снизить исходную концентрацию серы на 85-90% при расходе реагента (корбида кальция) равному 10 кратному исходному ее содержанию. Для десульфурации больших масс чугуна (>3 тонн) очень эффективна обработка во встряхивающих ковшах.

В целом десульфурация сопровождается значительными потерями температуры, что вызывает необходимость дополнительного перегрева чугуна перед сфероидизирующей обработкой. Кроме того, требуется некоторое время для удаления продуктов реакции и шлака.

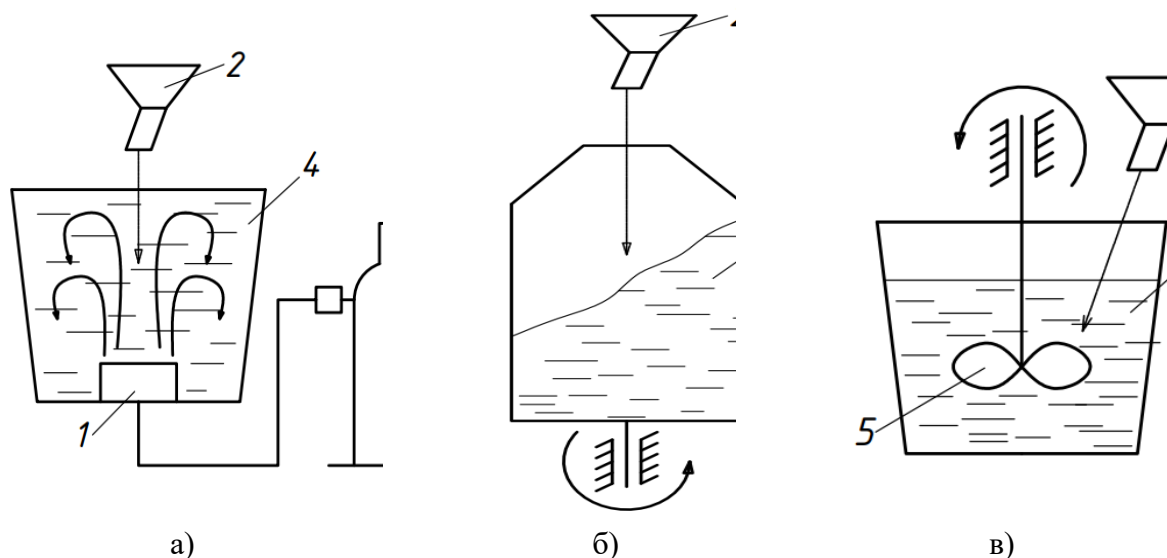
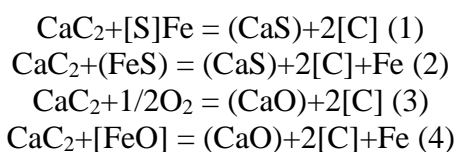


Рисунок 1. Способы десульфурации жидкого чугуна (а) продувка инертным газом, (б) вращением ковша с жидким чугуном, (в) с использованием специальной мешалки.

где: 1 - пористая пробка; 2 – дозатор для подачи реагентов; 3 – баллон с инертными газами; 4 – ковш с жидким чугуном; 5 – мешалка

Например, процесс десульфурации жидкого чугуна карбидом кальция протекает по следующим реакциям.



Степень десульфурации определяют по следующей формуле:

$$\eta = \frac{[\text{S}]_H - [\text{S}]_K}{[\text{S}]_H - 0,004} \cdot 100\%;$$

η - степень обессеривания чугуна, %

$[\text{S}]_H$ и $[\text{S}]_K$ - начальная и конечная концентрация серы в чугуне, %

0,004% не берет анализатор

Для расчета количества карбида кальция используют следующую формулу: [1].

$$q_{\text{CaC}_2} = \frac{\Delta S - 0,83 \cdot [\text{S}]_H + 0,0722}{0,0036};$$

где: q - расход CaC_2 кг/т.
 ΔS - количество удаленной серы;
 $[S]_H$ - начальная концентрация серы

В лабораторных условиях были проведены экспериментальные исследования процесса десульфурации чугуна карбидом кальция. Плавка чугуна осуществлялась в графито-шамотном тигле емкостью один килограмм на высокоскоростной индукционной печи [3-4]. После расплавления шихты и перегрева жидкого чугуна вводили в металлической фольге навеску карбида кальция в количестве 16,4 г/кг сплава с учетом начальной концентрации серы 0,04% и конечной-0,02%. После тщательного перемешивания в течении определенного времени печь отключали, извлекали из зоны индуктора тигель с жидким чугуном и отливали пробу на химический анализ. На оставшемся чугуне провели сфероидизирующую и графитизирующую обработку и отлили клиновую пробу на отбел и цилиндрические образцы на микроструктуру и механические свойства. Величина добавки магнийсодержащей лигатуры на основе ферросилиция (ФСМг7) составляла 2,4% от веса жидкого металла, а графитизирующего гранулированного модификатора на основе алюминия с РЗМ – 0,1%.

Анализ полученных результатов показал, что концентрация серы в чугуне перед сфероидизирующей обработкой составила 0,022-0,024%, что близка к расчетной. Металлографический анализ показал наличие в структуре шаровидного графита по форме ШГф4-5, количество ШГ10, диаметр ШГд 25-45, распределение ШГр1. В изломе клиновой пробы отбел составил 2-3мм, что свидетельствует об эффективном графитизированном модифицировании. По механическим характеристикам полученный высокопрочный чугун соответствовал марке ВЧ 50.

Таким образом выполненный анализ литературных источников и экспериментальных данных подтвердил реальную возможность получения ВЧШГ на шихте, содержащую повышенную концентрацию серы при условии проведения предварительной десульфурации карбидом кальция с последующей сфероидизацией графитной фазы магнийсодержащей лигатурой. Это позволит более широко использовать собственную высокосернистую шихту и снизить себестоимость литья за счет отказа от импорта дорогостоящего доменного рафинированного чугуна.

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. Бестужев Н.И. Разработка технологического процесса внепечной обработки высокопрочного чугуна при внутриформенном модифицировании: автореф. дис. канд. техн. наук: / Н.И.Бестужев; Белорусский политехнический институт. – Минск, 1986. – 20 с.
3. Слуцкий, А.Г. Технологические особенности получения чугуна с шаровидным графитом / А.Г. Слуцкий, В.А. Шейнерт, И.А. Касперович, П.Д. Хорольский // *Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов* в 2 ч. – Минск: БНТУ, 2021. – Вып. 42 с.173-180.
4. 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.