



There is shown the comparison of qualitative figures of ChShG, received by modification in the mode, but melted in different units.

В. В. ИШУТИН, В. А. ЧАЙКИН, филиал МГОУ, г. Сафоново

УДК 621.74

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЧУГУНОВ, ВЫПЛАВЛЕННЫХ В РАЗЛИЧНЫХ ПЛАВИЛЬНЫХ АГРЕГАТАХ

Прогресс литейного производства неразрывно связан с производством заготовок из конструкционных материалов, обеспечивающих значительный рост надежности и долговечности продукции машиностроения. Таким перспективным материалом является высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ЧШГ), имеющий целый ряд преимуществ перед другими, традиционно применяемыми сплавами. Поэтому расширению производства ЧШГ всегда уделялось и уделяется большое внимание.

Одним из наиболее экономичных путей решения данной проблемы является организация параллельных потоков производства серого и высокопрочного чугунов в работающих цехах, производящих отливки из серого чугуна (СЧ). Это требует наименьших затрат и сроков по сравнению со строительством новых цехов ЧШГ. Главный фактор, сдерживающий широкое внедрение в производство прогрессивного конструкционного материала, — высокие требования к качеству исходного перед модифицированием расплава, удовлетворить которые достаточно сложно, особенно при оснащении плавильных отделений коксовыми вагранками.

Из многих широко распространенных в практике литейного производства способов получения ЧШГ особого внимания заслуживает процесс внутриформенного модифицирования, который внедрен на Ярцевском заводе «Двигатель» и Павлодарском тракторном заводе. Этот способ легко вписался в действующие технологии производства отливок из серого чугуна. При этом не потребовалось установки дополнительного оборудования, не снизились производительности плавильных участков и не ухудшилась экологическая обстановка в действующих цехах. Вместе с тем этот способ производства ЧШГ требует низкого содержания серы. На ЯЗ «Двигатель», где плавка чугуна производится в электропечи, проблем с выплавкой низкосернистого чугуна не возникло. На ПТЗ чугун плавится в вагранке, где выплавить металл с низким содержанием серы невозможно, и необходима десульфурация расплава.

Известные способы десульфурации чугуна требуют установки специальных устройств, которые обычно громоздки и дорогостоящие. Довольно просто удалось решить эту проблему на ПТЗ. Для десульфурации СЧ использовали предусмотренные технологией переливы расплава, при которых в ковш вводили добавки, позволяющие снизить содержание серы в чугуне, подготовив его, таким образом, к модифицированию в форме.

Анализ показал, что технологические процессы получения ЧШГ, внедренные на ЯЗ «Двигатель» и ПТЗ, идентичны. ЧШГ производится в действующих цехах серого чугуна модифицированием магнийсодержащей лигатурой ФСМГ-7 фракцией 1–5 мм в количестве 1,4–1,6 %, которая помещается в специальную реакционную камеру внутри литейной формы. При заливке формы чугуном расплав растворяет лигатуру и насыщается магнием. Плавка чугуна производится дуплекс-процессом с использованием в качестве вторичных агрегатов для выдержки и перегрева расплава до температур 1480–1500°C индукционных миксеров. Однако имеется одно существенное различие в технологиях выплавки чугуна. Это используемый первичный агрегат. На ЯЗ «Двигатель» использовали индукционную тигельную печь промышленной частоты емкостью 60 т, а на ПТЗ — коксовую вагранку холодного дутья производительностью 20 т/ч. Первый случай — идеальный вариант для производства ЧШГ, второй — наиболее неблагоприятный.

Поэтому представилась уникальная возможность сравнить стабильность основных, качественных показателей ЧШГ, полученного модифицированием в форме, но выплавленного в различных плавильных агрегатах. В данном случае имелась возможность получения обширного экспериментального материала, в связи с этим для анализа использовали методы математической статистики и регрессионного анализа. Вычисления проводили на ПЭВМ по программе STATISTIK & ANALISIS.

ЧШГ производят на двух заводах в действующих цехах серого чугуна. Последние используют

в качестве исходного перед сфероидизирующим модифицированием расплава. Поэтому на первом этапе изучали химический состав и механические свойства СЧ для прогнозирования качества получаемых из них высокопрочных чугунов.

На ПТЗ изготавливали отливки из чугуна марок СЧ18 и СЧ20, а на ЯЗ «Двигатель» — из чугуна марок СЧ21 и СЧ24. Сравнивали близкие марки чугуна — СЧ20 и СЧ21. На ЯЗ «Двигатель» в чугунах определяли концентрации шести элементов, на ПТЗ — трех. Механические свойства анализировали одновременно с химическим составом и микроструктурой, на ПТЗ этого не делали. Это позволило провести дополнительно регрессионный анализ зависимости механических свойств электропечных чугунов от их состава.

Установлено, что химические составы близких марок СЧ мало отличались друг от друга и были достаточно однородны. Показатели стабильности химического состава трех основных компонентов ваграночного чугуна несколько превосходили эти показатели у электропечного металла. Механические свойства СЧ также достаточно стабильны, однако здесь их однородность выше уже у чугуна индукционной плавки, в чем проявляется ее преимущество. Это связано с меньшей чувствительностью электропечного чугуна к наслед-

ственности, и, по-видимому, менее значительными колебаниями содержания серы, фосфора и хрома в расплаве, которые на ПТЗ не определяли. Отсутствие анализа металла на содержание в нем этих элементов является существенным недостатком технологического процесса. Регрессионный анализ зависимости механических свойств чугунов ЯЗ «Двигатель» от химического состава подтвердил это. Значительное влияние на механические свойства СЧ оказывает содержание хрома. Чем выше марка чугуна, тем заметнее сказывается влияние фосфора. Марганец и сера в электропечном чугуне при содержании от 0,017 до 0,032 % не оказывают существенного влияния на свойства серого чугуна. Содержание серы в ваграночном чугуне значительно выше, поэтому пренебрегать ее влиянием на свойства СЧ, по-видимому, нельзя. А если учесть, что при производстве ЧШГ именно этот элемент во многом определяет успех модифицирования, то, естественно, что определение его содержания просто необходимо.

В ЧШГ исследовали стабильность предела прочности, относительного удлинения и твердости. Основные статистические характеристики этих показателей приведены в табл. 1–3 и изображены на гистограммах (рис. 1–3).

Таблица 1. Статистические исследования предела прочности высокопрочных чугунов

Место производства чугуна	Среднее значение, МПа	Размах колебаний, МПа	Среднеквадратичное отклонение S^1	Несмещенная дисперсия S^2	Коэффициент вариации, %
ЯЗ «Двигатель»	484,7	240	46,54	2166	9,6
ПТЗ	510,9	593,2	148,07	21924,3	28,9

Таблица 2. Статистические исследования относительного удлинения

Место производства чугуна	Среднее значение, %	Размах колебаний, %	Среднеквадратичное отклонение S^1	Несмещенная дисперсия S^2	Коэффициент вариации, %
ЯЗ «Двигатель»	14,09	16,5	3,14	9,85	22,2
ПТЗ	5,39	18	4,1	16,82	76,0

Таблица 3. Статистические исследования твердости

Место производства чугуна	Среднее значение, НВ	Размах колебаний, НВ	Среднеквадратичное отклонение S^1	Несмещенная дисперсия S^2	Коэффициент вариации, %
ЯЗ «Двигатель»	163,13	64	12,3	151,27	7,5
ПТЗ	201,74	208	33,1	1096	16,4

Изучение гистограмм и основных статистических исследований показывает, что чугуны, выплавленные в индукционной печи и подвергнутые сфероидизирующему модифицированию в литейной форме, имеют высокие показатели стабильности всех механических свойств. Ваграночный же металл после глобуляризирующей обработки еще менее стабилен, чем СЧ, и дает возможность

получить ЧШГ с удовлетворительной однородностью только предела прочности при растяжении и твердости. Важная характеристика механических свойств — относительное удлинение высокопрочных чугунов, выплавленных в вагранке, имеет крайне низкую стабильность (коэффициент вариации больше 33 %), что недопустимо в производственных условиях. Высокая однород-

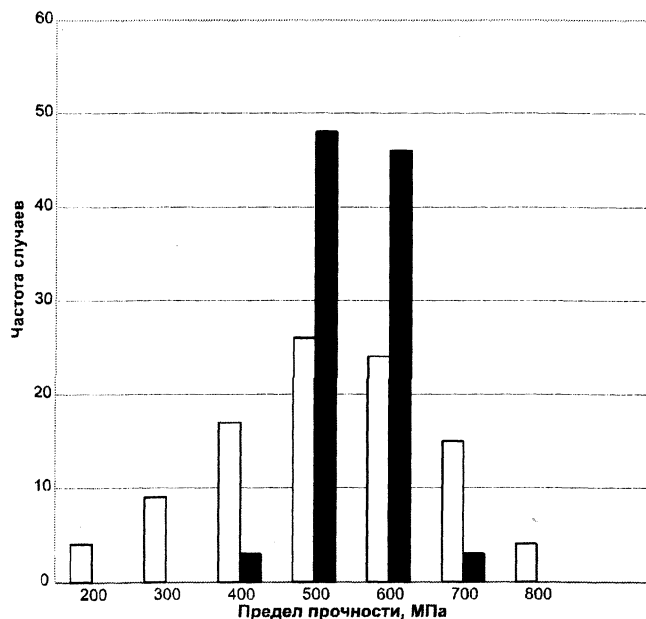


Рис. 1. Гистограмма предела прочности ПТЗ и ЯЗ «Двигатель»

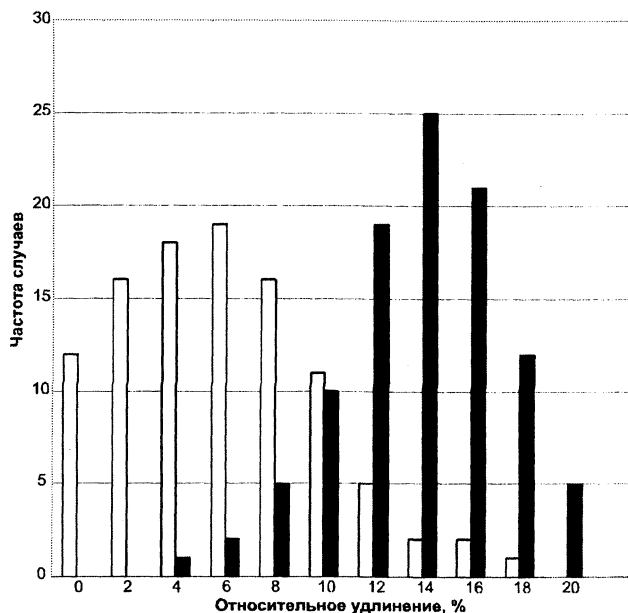


Рис. 2. Гистограмма относительного удлинения ПТЗ и ЯЗ «Двигатель»

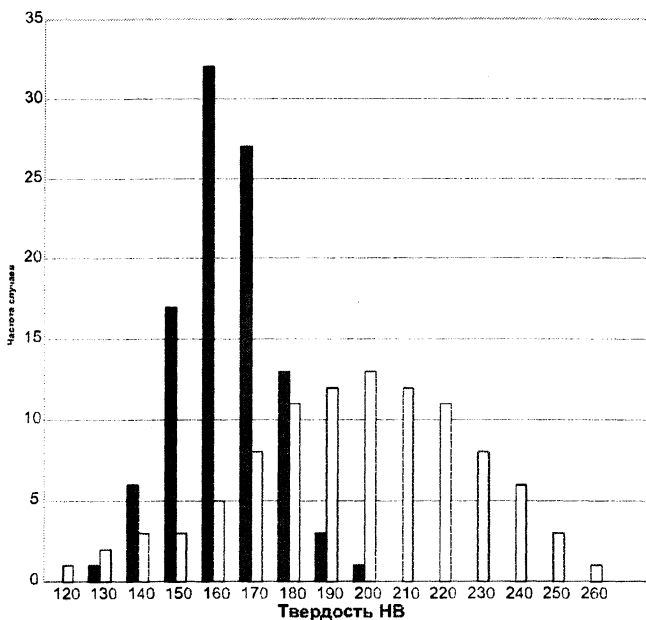


Рис. 3. Гистограмма твердости ПТЗ и ЯЗ «Двигатель»

ность свойств чугунов индукционной плавки подтверждает преимущества такого метода производства.

Механические свойства чугунов существенно зависят от химического состава, поэтому на следующем этапе определяли взаимосвязь этих показателей с помощью метода множественной регрессии.

$$\begin{aligned} \sigma_b &= 442 - 39C + 4,7Si + 256,2Mn + \\ &+ 328,16Cr + 339,8P - 474,03S + 405,92Mg, \\ \delta &= 7,75 + 2,21C + 1,43Si - 8,63Mn - 22,46Cr + \\ &+ 16,86P - 62,23S + 12,04Mg, \\ HB &= 131,01 - 5,12C + 0,43Si + 82,26Mn + \\ &+ 120,21Cr + 30,69P + 161,2S + 7,84Mg. \end{aligned}$$

Анализ остатков показал, что модели адекватны. Из полученных уравнений следует, что обязательным условием повышения стабильности свойств ЧШГ, выплавленных в вагранке, является освоение методик анализа хрома, серы, фосфора и магния и налаживание системы контроля механических свойств и химического состава и управления ими с обратной связью в реальном масштабе времени. Есть и другой способ стабилизации механических свойств. Он более дорогостоящий, но значительно надежнее и состоит в замене плавильного агрегата на ПТЗ.

Подставляя в уравнения регрессии для высокопрочного чугуна средние значения химического состава серых чугунов и делая поправку на угар углерода и пригар кремния, можно прогнозировать марку получаемого ЧШГ. Модифицируя в форме обычный серый чугун, легче всего получить высокопрочный чугун марки ВЧ50. Высокопрочный чугун марки ВЧ40 из рядового серого чугуна получить невозможно. В нем необходимо существенно поднять содержание углерода. Для этого нужно проводить специальные плавки и выделять отдельный миксер для производства отливок из ЧШГ. Практика подтвердила правильность этих выводов. На ЯЗ «Двигатель» стабильно получали высокопрочный чугун марки ВЧ40 без термообработки. В условиях ваграночной плавки предпочтительней производить чугун марки ВЧ50, так как обеспечить требуемый предел прочности для чугуна этой марки значительно легче, чем относительное удлинение для чугуна марки ВЧ40. Именно по этому пути пошли на ПТЗ и добились определенных результатов.