



Recommendations on increase of qualitative indicators of castings «Sleeve» are given. It is shown that for modifying of melt it is offered to use just modifier MK95 in quantity of 4–6 kg per 1 ton of liquid metal.

В. А. ЧАЙКИН, филиал МГОУ, А. В. ЧАЙКИН, МГТУ им. Н. Э. Баумана,
А. Н. СУХАНОВ, ОАО «Дизель-Инструмент» (г. Санкт-Петербург)

УДК 621.74

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОТЛИВОК «ГИЛЬЗА»

В ОАО «Дизель-Инструмент» изготавливают отливки «Гильза Д40» и «Гильза Д49» из низколегированного чугуна марки АХНМД, химический состав которого приведен в табл. 1. Предел прочности чугуна при растяжении должен быть не менее 300 МПа. Металлическая матрица должна быть перлитной, присутствие в ней цементита не допускается.

Плавка ведется в индукционной печи ИСТ емкостью 1 т. Температура выпуска металла из печи составляет 1380–1390 °С, а заливки форм – 1340–1350 °С. С одного барабанного ковша емкостью 1 т заливают две отливки (четыре гильзы), которые получают в машинах центробежного литья. Модифицирование расплава производится в ковше ферросилицием ФС75 в количестве 5–7 кг (0,5–0,7% от массы жидкого). Количество подаваемого ФС75 зависит от содержания кремния в расплаве перед выпуском. Если содержание кремния 1,5–

1,6%, то в ковш отдается 7 кг ФС75, если 1,7–1,8%, то – 5 кг. Но, несмотря на достаточно большое количество модификатора, в 3% случаев в отливках появлялся цементит, что недопустимо. В отдельных случаях предел прочности при растяжении был ниже требуемого значения. Поэтому были проведены исследования, направленные на предотвращение появления цементита в отливках при условии сохранения механических свойств.

На первом этапе была произведена статистическая обработка химического состава и механических свойств чугуна для гильзы Д40 за три месяца работы предприятия. Результаты обработки приведены в табл. 2.

О стабильности химического состава и механических свойств судили по величине вариаций. Наиболее наглядно характеризует однородность свойств коэффициент вариации, так как показывает относительную меру колебаний признака. Он рас-

Таблица 1. Химический состав чугуна, мас. %

| C | Si | Mn | S | P | Cr | Ni | Mo | Cu |
|---------|---------|---------|-------|-------|---------|---------|----------|----------|
| 2,6–3,2 | 1,5–1,8 | 0,8–1,3 | ≥0,12 | ≥0,15 | 0,4–0,6 | 0,9–1,5 | 0,4–0,65 | 0,2–0,55 |

Таблица 2. Результаты статистической обработки

| Элемент | Количество плавов | Среднее значение | Минимум | Максимум | Дисперсия S^2 | Среднеквадратичное отклонение S | Коэффициент вариации V , % |
|------------|-------------------|------------------|---------|----------|-----------------|-----------------------------------|------------------------------|
| C | 85 | 3,0071 | 2,7200 | 3,2500 | 0,009 | 0,09695 | 3,23 |
| Si | 85 | 1,7794 | 1,6000 | 2,0800 | 0,010 | 0,09956 | 5,62 |
| Mn | 85 | 0,7963 | 0,6990 | 0,8980 | 0,002 | 0,04129 | 5,03 |
| Cr | 85 | 0,3556 | 0,1920 | 0,5100 | 0,003 | 0,05203 | 14,44 |
| Ni | 85 | 0,8185 | 0,6120 | 1,3700 | 0,010 | 0,09769 | 11,97 |
| Mo | 85 | 0,3421 | 0,2230 | 0,4660 | 0,002 | 0,03967 | 11,61 |
| Cu | 85 | 0,2562 | 0,1480 | 0,4060 | 0,004 | 0,06117 | 23,83 |
| σ_B | 83 | 32,9578 | 26,5000 | 47,0000 | 16,343 | 4,04261 | 12,26 |
| HB | 83 | 231,048 | 217,000 | 271,000 | 90,364 | 9,50597 | 4,114 |

считывается как отношение среднего квадратичного отклонения к среднему арифметическому значению элемента.

Как видно из табл. 2, наиболее однородны содержания в расплаве графитизирующих элементов (C и Si). Они отличаются наиболее низкими коэффициентами вариации ($V = 3,23$ и $5,62\%$ соответственно), а распределение этих элементов стремится к нормальному. Для примера на рис. 1 приведена гистограмма содержания углерода, построенная по полученным данным. Содержание углерода во всех плавках соответствовало требованиям ТУ, а содержание кремния лишь в отдельных плавках выходило за рамки верхних пределов. Превышения были незначительными и находились в пределах погрешности прибора. Таким образом, графитизирующие элементы не могли являться причиной возникновения цементита в отливках и снижения механических свойств.

Никель и медь на стадии кристаллизации являются графитизаторами, а при эвтектоидном превращении способствуют перлитизации металлической матрицы. Как видно из табл. 2, стабильность концентраций этих элементов находится на низком уровне ($V = 11,97$ и $23,83\%$ соответственно). Средние значения содержаний этих элементов ниже требуемого. Поэтому это могло быть причиной появления цементита в отливках и снижения механических свойств.

Большую роль в склонности чугуна к отбелу играют карбидообразующие элементы. Как видно из табл. 2, однородность концентраций карбидообразующих элементов находится на более низком уровне, чем графитообразующих. Из них только содержание Mn относительно стабильное ($V = 5,03\%$). Содержание более сильных карбидообразующих (Cr и Mo) колеблется в широких пределах ($V = 14,44$ и $11,61\%$ соответственно). Кроме того,

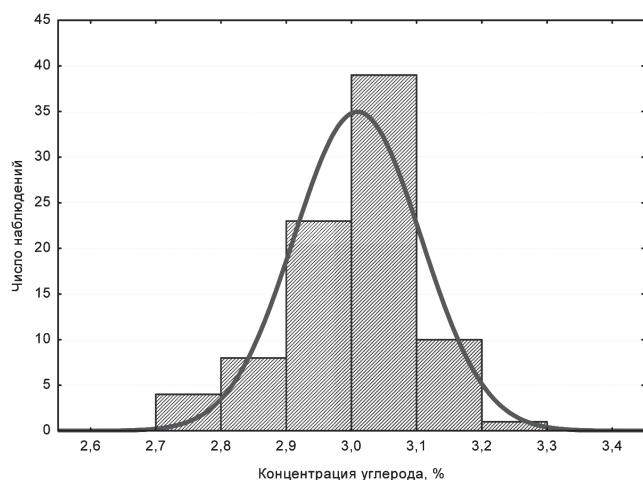


Рис. 1. Гистограмма содержания углерода

средние их содержания также находятся ниже допустимых значений. Это может снижать склонность к отбелу, но одновременно и понижать прочностные характеристики чугуна.

Соответственно предел прочности при растяжении чугуна колеблется в широких пределах ($V = 12,26\%$). Твердость чугуна отличается более высокой стабильностью ($V = 4,114\%$).

Для поиска путей предотвращения появления цементита в отливках и сохранения предела прочности на необходимом уровне целесообразно изучить зависимость механических свойств чугуна от его химического состава. Для этого был произведен регрессионный анализ. Были получены следующие уравнения регрессий:

$$\sigma_B = 13,94 + 5,77C - 3,88Si - 3,56Mn + 14,43Cr + 0,37Ni + 31,40Mo - 18,54Cu,$$

$$HB = 216,70 - 14,94C + 5,22Si + 31,20Mn - 13,08Cr + 16,84Ni + 34,03Mo + 17,07Cu.$$

После проверки значимости коэффициентов путем пошаговой регрессии и проведения анализа остатков были получены следующие адекватные уравнения:

$$\sigma_B = 2,86 + 6,09C + 14,75Cr + 31,13Mo - 15,92Cu;$$

$$HB = 237,55 - 11,73C + 17,00Ni + 43,46Mo.$$

Из уравнений видно, что на твердость чугуна оказывают влияние меньшее количество элементов химического состава, поэтому этот показатель и оказывается стабильнее предела прочности.

Анализ показал, что наиболее значимым элементом, повышающим предел прочности при растяжении чугуна, является молибден, поэтому для обеспечения значений этого показателя выше 300 МПа содержание молибдена необходимо держать в рекомендованных в ТУ рамках, но не приближать к верхнему пределу, поскольку этот элемент повышает твердость, увеличивает склонность к отбелу и удорожает себестоимость отливок. Остальные карбидообразующие элементы, а также медь и никель, в пределах концентраций, встречающихся на заводе, оказывают меньшее влияние на механические свойства.

Из графитообразующих элементов наиболее значимым является углерод. Он повышает предел прочности при растяжении и при этом понижает твердость чугуна и снижает склонность к отбелу. Следует отметить, что кремний не оказывает большого влияния ни на предел прочности, ни на твердость.

Исходя из сказанного выше, для предотвращения появления цементита и сохранения предела прочности при растяжении на необходимом уровне

не целесообразно изменить технологию модифицирования. Для этого предлагается заменить модификатор ферросилиций ФС75 на основе кремния, который в данном случае не оказывает заметного влияния на механические свойства чугуна, на модификатор, в основе которого лежит углерод (графит), наиболее положительно влияющий на предел прочности и твердость чугуна. В качестве такого модификатора рекомендуется смесевой дисперсный модификатор МК95, в составе которого присутствует 95% графита (углерода) и 5% кальций-стронциевого карбоната (КСК).

Модификатор МК95, производимый ООО «Металлург» Смоленского регионального отделения РАЛ (www.metallurg-ral.ru), предназначен для модифицирования серых и высокопрочных чугунов. Применение МК не требует дополнительной подготовки, что улучшает экологические условия труда, так как отпадает необходимость в операциях дозирования. Смесь поступает к заказчику в готовом к употреблению виде. МК95 фасуется в пакеты, масса которых согласуется с заказчиком. Расход модификатора составляет 0,2% от массы жидкого чугуна. Подается он на дно ковша или струю расплава.

Эксперименты с модификатором МК95 проводили на плавках для отливок «Гильза Д40». На первом этапе была проведена частичная замена модификатора ФС75 на модификатор МК95. Количество вводимого МК95 соответствовало количеству сокращенного ФС75. Результаты экспериментов показали, что сокращение ферросилиция ФС75 для модифицирования чугуна вполне оправдано. Заменявший его МК95 позволяет получить необходимую перлитную структуру чугуна без цементита и обеспечить необходимые механические свойства. В дальнейшем планируется полная замена используемого ФС75 модификатором МК95. В этом случае корректировку химического состава по кремнию необходимо осуществлять ферросилицием ФС45 и обеспечивать его содержание перед выпуском в пределах 1,7–1,8%. Для модифицирования расплава предлагается использовать только модификатор МК95 в количестве 4–6 кг на 1 т жидкого металла. Для получения требуемых механических свойств также необходимо выдерживать содержание углерода ближе к нижнему пределу.

Ожидаемый экономический эффект составит 215,5 руб. на 1 т годного.