

Технологические особенности получения чугуна с шаровидным графитом с использованием быстроохлажденной медь-магниевого лигатуры

Студенты гр. 10404115 Иванов А.И., гр. 10405116 Капуста Д.О.
Научные руководители – Слуцкий А. Г., Кулинич И.Л.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

В практике производства чугуна с шаровидным графитом особенно высоких марок используются «тяжелые» магнийсодержащие лигатуры на основе меди. Авторами данной работы ранее были выполнены экспериментальные исследования технологических особенностей процесса литья такой лигатуры [1–2]. В качестве основных материалов использовали металлический магниевый сплав МЛ5 и кусковую медь, лигатуру МЦ60 и гранулированный алюминий. Была изготовлена опытная партия быстроохлажденной медь-магниевого лигатуры для проведения испытаний технологии получения ЧШГ на ОАО «Лидский литейно-механический завод».

Установлено, что ковшевая добавка такой лигатуры в количестве 1,0% к весу жидкого чугуна позволяет гарантированно получать структуру шаровидного графита типа (ШГр1, ШГф5, ШГгд25) с остаточным магнием 0,034 % [4].

Однако за счёт повышенной концентрации в исходном сплаве хрома (0,32 %), недостаточно высоким углеродным эквивалентом и значительным переохлаждением ЧШГ в структуре образовалось значительное количество цементитной фазы. При этом его твёрдость по сравнению с исходным серым чугуном по заключению завода возросла почти в 2 раза и составила 415 НВ, несмотря на проведённое вторичное модифицирование.

Известно, что для получения заданных механических свойств высокопрочного чугуна его подвергают высокотемпературной термической обработке, обеспечивающей распад первичного цементита и формирование перлитной структуры, что в сочетании с шаровидной формой графита обеспечивает высокий уровень механических свойств ЧШГ.

Заводом была передана опытная отливка вместе с литниковой системой для проведения дальнейших исследований. Из шлакоуловителя литниковой системы были вырезаны образцы, которые подвергались термической обработке по различным режимам.

1. Нормализация, при которой образец высокопрочного чугуна нагревали в муфельной печи в защитной атмосфере до 950 °С, и после часовой выдержки охлаждали на воздухе.

2. Отжиг по режиму, как и нормализация, но образец охлаждали с печью до комнатной температуры.

3. Отжиг по аналогичному режиму нагрева, но выдержка образца в печи увеличена до 2 часов.

4. Двойной отжиг при котором образец нагревали до температуры 950 °С, выдерживали 2 часа и охлаждали с печью до температуры 760 °С и после 3 часовой выдержки охлаждение осуществлялось вместе с печью.

На рисунке 1, приведен график по влиянию режима ТО на твердость ЧШГ.

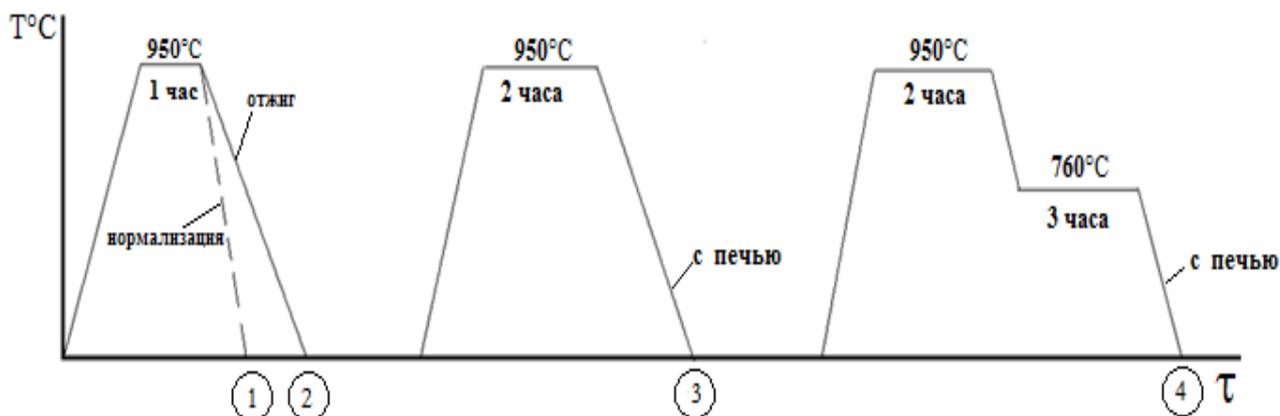
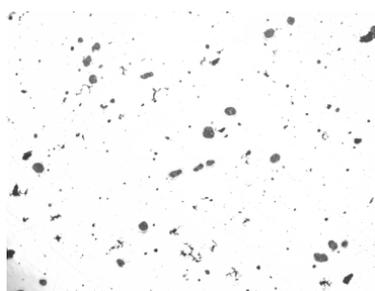


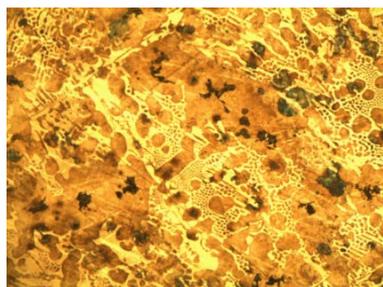
Рисунок 1 – График по влиянию режима ТО на твердость ЧШГ

Анализ полученных результатов показал, что при нормализации ЧШГ его твердость снизилась от 388НВ в литом состоянии до 341НВ. Еще большее снижение твердости имело место при отжиге 277 НВ. Более длительная выдержка ЧШГ в процессе отжига позволила получить твердость в 248НВ. Двойной отжиг чугуна не оказал существенного влияния на твердость, которая составила 241НВ.

На следующем этапе работы провели металлографические исследования структуры ЧШГ в зависимости от режима ТО, результаты которых приведены на (рисунке 2).

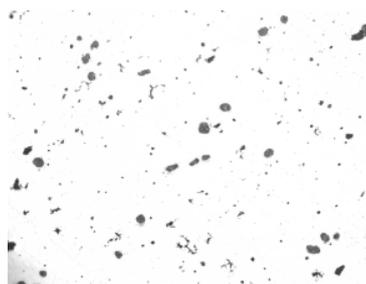


x100

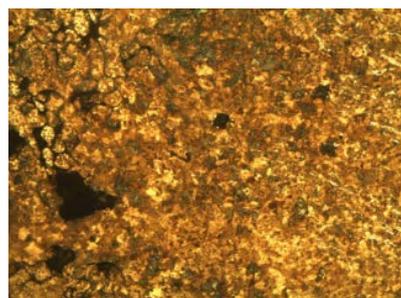


x200 травл

а) в литом состоянии

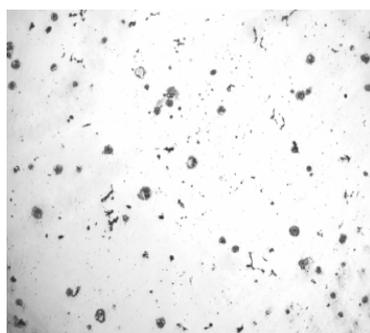


x100

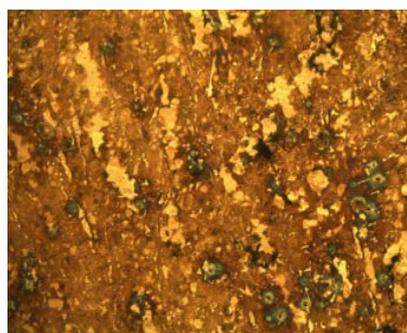


x200травл.

б) после нормализации

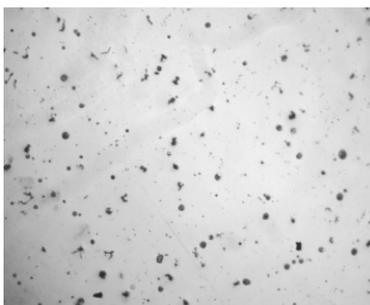


x100

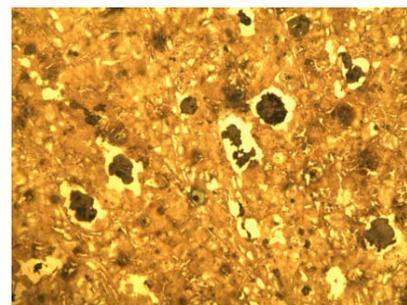


x200 травл.

в) после отжига



x100

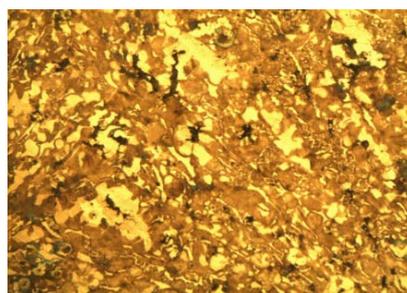


x200 травл.

з) после более продолжительного отжига



x100



x200 травл.

д) после двойного отжига

Рисунок 2 – Влияние режима ТО на микроструктуру ЧШГ

Анализ результатов исследований показал, что в литом состоянии (рисунок 2 (а)) структура металлической основы ЧШГ состоит из перлита и ледебурита (типичная для доэвтектического чугуна). Но на не травленном шлифе наглядно просматривается шаровидный графит (ШГр1, ШГф4-5, ШГ4, ШГд25-45.)

После нормализации (рисунок 2 (б)) в структуре образовалось большое количество перлита и немного остаточного первичного цементита, а также небольшое количество феррита вокруг шаровидного графита. Что касается графитной фазы то его количество, форма и распределение практически не изменилась при этом несколько увеличился размер включений (ШГ45).

После непродолжительного отжига ЧШГ (рисунок 2 (в)) в структуре обнаружено до 40% феррита в основном вокруг шаровидного графита, а также незначительное количество цементита. При этом заметно увеличилось общее количество графитной фазы (ШГ6-ШГ10).

После отжига чугуна в течении 2 часов (рисунок 2 (г)) получена структура, состоящая из 80–85% перлита, остальное феррит, а также до 3% цементита, при этом графит приобрел более

шаровидную форму (ШГф4-5), увеличилось общее его количество (до ШГ10) и размеры включений (50% ШГд90) При этом, как отмечалось ранее твердость снизилась до 248НВ.

Двойной отжиг ЧШГ (рисунок 2 (д)) привел к сохранению структуры перлита при этом количество феррита увеличилось до 55–60%. Возросло заметно количество графита (ШГ10-12) и его размеры (70% ШГд90 остальное ШГд45 и ШГд25). Следует отметить, что твердость чугуна по сравнению с одностадийным отжигом снизилась незначительной составила 241НВ. Для получения ферритной структуры необходимо вторую стадию отжига проводить более продолжительно по времени.

Таким образом проведенные заводские испытания «тяжелой» медь-магниевого лигатуры показали реальную возможность получения ЧШГ. При этом следует обратить особое внимание на химический состав исходного серого чугуна, обеспечив в нем более высокое содержание углерода и кремния, минимальную концентрацию карбидообразующих элементов таких как хром и естественно минимальное содержание серы. Все, это в сочетании с дополнительным легированием медью за счет сфероидизирующей лигатуры, позволит стабильно получать ЧШГ повышенной прочности.

Список использованных источников

1. Применение сфероидизирующей лигатуры на основе меди при получении высокопрочного чугуна / А.Г. Слуцкий [и др.] // *Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов* – Минск: БНТУ, 2019. – Вып. 40. – С. 62–68.

2. Технологические особенности получения чугуна с шаровидным графитом с использованием быстроохлажденной медь-магниевого лигатуры / А. Г. Слуцкий [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2020. – № 2. – С. 15–21.