

УДК 669.131.7

**В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Д. Н. Берчук,
Л. А. Зеленая, И. В. Безкорвайная, Т. В. Зеленская**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ МЕДИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА, ПОЛУЧАЕМОГО МОДИФИЦИРОВАНИЕМ В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ

Получены экспериментальные данные об особенностях влияния легирования медью, условий охлаждения отливок и термической обработки на структурообразование и механические свойства высокопрочного чугуна, модифицированного в литейных формах. Определены технологические условия, обеспечивающие формирование в структуре отливок преимущественно перлитной металлической основы, и режимы термической обработки для получения высоких показателей механических свойств.

Ключевые слова: высокопрочный чугун, внутриформенное модифицирование, медь, легирование, толщина отливки, структура, механические свойства.

Отримано експериментальні дані про особливості впливу легування міддю, умов охолодження виливків і термічної обробки на структуроутворення і механічні властивості високоміцного чавуну, який модифікован в ливарних формах. Визначено технологічні умови, які забезпечують формування в структурі виливків переважно перлітної металевої основи, і режими термічної обробки для отримання високих показників механічних властивостей.

Ключові слова: високоміцний чавун, внутрішньоформове модифікування, мідь, легування, товщина виливка, структура, механічні властивості.

Experimental data about features of influence of copper alloying, castings cooling conditions and heat treatment on structure formation and mechanical properties of ductile cast iron modified in casting moulds are received. Technological conditions providing formation in casting structure mainly a pearlitic metal basis and regimes of heat treatment for reception of high parameters of mechanical properties are defined.

Keywords: ductile cast iron, in-mould modifying, copper, alloying, casting thickness, structure, mechanical properties.

Постановка проблемы

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом широко применяется в современном машиностроении. Он открывает большие возможности, чем сталь, для создания прогрессивных монолитных конструкций, уменьшения расхода металла, улучшения обрабатываемости резанием, снижения производственных расходов.

В настоящее время из высокопрочного чугуна изготавливают детали ходовой части тяжелых грузовиков, вагонов, железнодорожной колеи, для которых высокие усталостные свойства, а в ряде случаев также износостойкость материала, являются решающими. Прогресс машиностроения выдвигает требование дальнейшего повышения механических и служебных свойств изделий из высокопрочного чугуна и совершенствования технологий производства.

Высокий уровень свойств отливок из высокопрочного чугуна достигается за счет применения качественных шихтовых материалов, оптимизации процесса плавки в индукционных электропечах, рафинирования расплава, применения высокоэффективных методов модифицирования, оптимизации химического состава сплава, легирования, термической обработки [1].

В настоящее время одним из перспективных направлений развития технологий высокопрочного чугуна является применение внековшовых методов позднего модифицирования, предельно приближенных во времени к кристаллизации расплава. Внутриформенное модифицирование, по сравнению с ковшовым, повышает в 2-3 раза эффективность модифицирования, что проявляется в повышении степени графитизации, диспергировании структурных составляющих, увеличении количества феррита в металлической основе [2, 3].

Чтобы повысить прочностные показатели и придать специальные свойства (износостойкость, ударостойкость, сопротивление усталостному разрушению и другие), высокопрочный чугун легируют. Широко применяется легирование медью и никелем – элементами, упрочняющими твердый раствор, способствующими перлитизации металлической основы и в то же время не образующими карбидов в чугуне. Наиболее распространенным и относительно недорогим легирующим элементом высокопрочного чугуна является медь [4, 5].

На основе изложенного очевидно необходимость определения условий эффективного применения легирования медью с целью перлитизации металлической основы и повышения прочностных свойств высокопрочного чугуна, получаемого внутриформенным модифицированием.

Анализ последних достижений и публикаций

Сравнение результатов легирования модифицированного в ковше высокопрочного чугуна показывает, что медь по перлитизирующей способности, особенно при невысоких скоростях охлаждения, значительно эффективнее никеля [4, 6]. Высокий уровень прочностных показателей при легировании медью достигается непосредственно в литом состоянии, что, например, позволяет получать из высокопрочного чугуна коленчатые валы автомобильных двигателей с требуемым уровнем свойств без термической обработки [5].

Развитие машиностроения ставит задачу снижения массы литых деталей при одновременном повышении их конструкционной прочности. Перспективным направлением решения этой задачи является получение тонкостенных отливок из высокопрочного чугуна [8, 9]. Но с уменьшением толщины отливки ускоряется кристаллизация, что увеличивает риск образования цементитной фазы. В условиях ковшового модифицирования для получения высокопрочного чугуна без отбела предельной является толщина отливки 4-5 мм [8, 10]. Проблема получения отливок без отбела с толщиной стенок 2,5-3,0 мм может быть решена путем повышения степени графитизации структуры в результате применения позднего модифицирования [11]. Сближение процессов модифицирования и кристаллизации во времени в сочетании с повышенной скоростью охлаждения способствует инокуляции – увеличению числа центров кристаллизации. При таком ходе кристаллизации в отливках формируется мелкокристаллическая структура с преимущественно ферритной металлической основой. Сведения об исследовании особенностей влияния легирования медью на структурообразование модифицированного в литейной форме высокопрочного чугуна в специализированных научно-технических изданиях отсутствуют.

Выделение нерешенной части проблемы

Украинские предприятия, производящие высокопрочный чугун по устаревшим технологиям, постоянно сталкиваются с проблемой получения без отбела мелких отливок массой 0,5-10 кг. Задача предотвращения образования цементита при кристаллизации небольших по массе тонкостенных отливок может быть решена на основе применения внутриформенного модифицирования, графитизирующая способность которого значительно выше, чем ковшового. Но внутриформенное модифицирование наряду с предотвращением отбела способствует ферритизации металлической основы и рекомендуется для получения марок высокопрочного чугуна ферритного класса, у которых относительно невысокая прочность ($\sigma_b = 350-450$ МПа) [11]. В связи с этим возникла необходимость поиска путей решения задачи получения без отбела тонкостенных отливок из высокопрочного чугуна перлитного класса, обладающих высокой прочностью ($\sigma_b = 700-900$ МПа) и износостойкостью.

Наряду с модифицированием и скоростью охлаждения к главным факторам, управляющим структурообразованием отливок, относится химический состав высокопрочного чугуна. Основными графитизирующими элементами чугуна являются углерод и кремний. Максимум графитизирующего действия углерода проявляется при его содержании в высокопрочном чугуне 3,6-3,9 %. При таком высоком содержании углерода усиливается графитизирующее влияние кремния. Оптимальное сочетание показателей механических свойств модифицированного в литейной форме высокопрочного чугуна достигается при содержании в нем 1,7-2,7 % Si [12].

К графитизирующим также относятся легирующие элементы – медь и никель, не образующие в чугуне карбидов. Никель значительно дороже меди, а его перлитизирующая способность эффективно проявляется только при кристаллизации тонкостенных отливок [6]. Таким образом, легирование медью представляется наиболее эффективным средством получения преимущественно перлитной металлической основы и высоких показателей прочности высокопрочного чугуна, модифицированного в литейной форме.

Из вышеизложенного очевидна актуальность экспериментального исследования влияния меди в зависимости от условий охлаждения на структуру и механические свойства высокопрочного чугуна, полученного внутриформенным модифицированием.

Цель и методика исследований

Цель работы – исследование особенностей влияния содержания меди, условий охлаждения отливок и термической обработки на структурообразование и механические свойства высокопрочного чугуна, получаемого модифицированием в литейной форме.

На этапе лабораторного исследования плавки проводили в индукционной печи емкостью 10 кг на шихте из передельного чугуна марки ПЛ2 (50 %) и возврата высокопрочного чугуна (50 %). Химический состав высокопрочного чугуна в %мас.: 3,80-3,95 C; 2,45-2,88 Si; 0,18-0,24 Mn; 0,042-0,064 Mg; 0,015-0,019 S; 0,047-0,062 P; 0,1 Cr. Расчетное количество меди вводили в жидкий чугун в конце плавки. Модифицирование магниевой лигатурой ФСМг7 проводили в специальной форме с литниково-модифицирующей системой, состоящей из стояка, проточного реактора и шлакоуловителя, соединенных литниковыми каналами [12]. Модифицированный расплав по вертикальному сливному каналу поступал в нижерасположенную форму для получения ступенчатой пробы. Заливка проводилась при температуре жидкого чугуна 1420-1440 °С. Расход магниевой лигатуры составлял 1,2 % от массы заливаемого расплава.

Влияние содержания меди на структуру высокопрочного чугуна изучали на шлифах, вырезанных из ступеней, толщина которых на модели составляла 1,5; 2,5; 5; 10; 15 мм. Толщина ступеней варьировалась в определенных пределах, обусловленных расталкиванием формы при извлечении модели и некоторыми другими факторами.

Кристаллизация и структурообразование сплавов

Перед проведением металлографического анализа измеряли фактическую толщину сечения в месте, подготовленном для исследования. Функциональные графики, описывающие полученные закономерности, строили по данным металлографического анализа структуры в центре каждой из ступеней.

Влияние меди на механические свойства модифицированного в литейной форме высокопрочного чугуна исследовали в литом и термообработанном состояниях на образцах, вырезанных из стандартных клиновидных проб толщиной у основания 25 мм, массой 7 кг (ДСТУ 3925-99). Из клиновидных проб также вырезали образцы для металлографического анализа.

Для отливки клиновидных проб исходный чугун выплавляли в индукционной печи ИСТ-016 на шихте, состоящей из 85 % передельного чушкового чугуна ПЛ2 и 15 % отходов электротехнической (динамной) стали. В передельном чугуне содержание серы составляло 0,022 %, в динамной стали – 0,012 %. Медь в количестве 1,5 % вводили в ковш при заполнении его расплавом чугуна. Модифицирование проходило в расположенном в литейной форме центробежном проточном реакторе магниевой лигатурой ФСМг7 в количестве 1 % от массы заливаемого в форму чугуна.

Анализ полученных данных, обоснование научных результатов

Для исследования влияния легирования медью в количестве 0,5 и 1,0 % на структуру модифицированного в литейной форме высокопрочного чугуна в лабораторных условиях отливали ступенчатые пробы. В микроструктуре центральной части ступеней во всех проведенных опытах цементит отсутствовал.

В некоторых опытах включения цементита в количестве от 2 до 5 % вблизи боковой поверхности присутствовали ступени толщиной 2 мм, где затвердевание расплава проходит с максимальной скоростью. Эпизодическое образование небольшого количества цементита у боковой поверхности ступени толщиной 2 мм наблюдалось как в пробах из нелегированного, так и легированного медью высокопрочного чугуна. Таким образом, в условиях проведенного опыта при максимально высокой скорости охлаждения не выявили графитизирующего влияния меди на предотвращение образования цементита при эвтектической кристаллизации.

Полученные экспериментальные данные о влиянии меди на микроструктуру модифицированного в литейной форме высокопрочного чугуна (по данным металлографического анализа центральной части ступеней технологических проб) представлены на рис. 1 и 2. Легирование медью уменьшает количество включений шаровидного графита в микроструктуре всех ступеней технологической пробы.

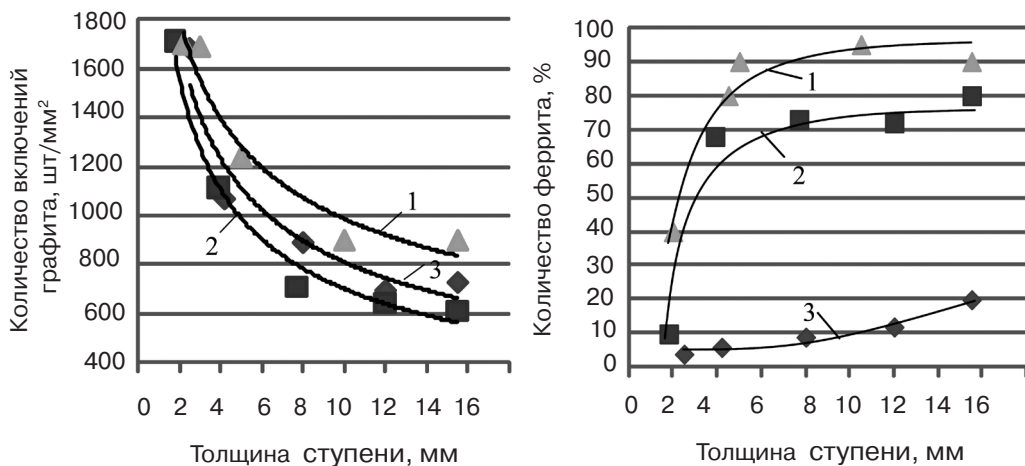


Рис. 1. Влияние содержания меди и толщины ступени технологической пробы на микроструктуру нелегированного высокопрочного чугуна (1) и легированного 0,5 % Cu (2), 1,0 % Cu (3)

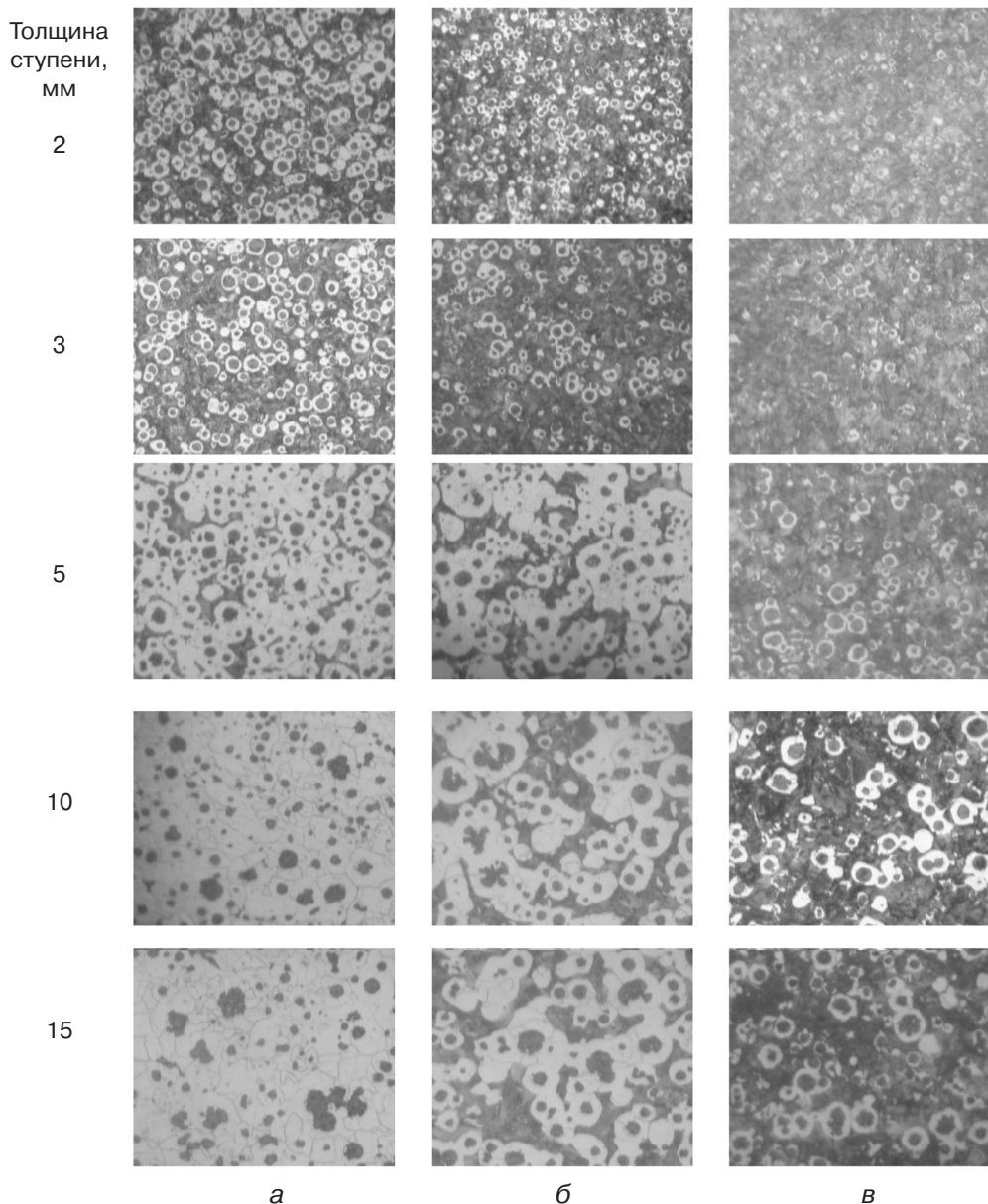


Рис. 2. Влияние меди на микроструктуру высокопрочного чугуна в зависимости от толщины сечения ступени: *а* – нелегированный чугун; *б* – легированный 0,5 % Си; *в* – легированный 1,0 % Си, $\times 100$

В результате легирования высокопрочного чугуна 0,5 % Си количество феррита в микроструктуре металлической основы ступени толщиной 2 мм уменьшается с 40 до 10 %. В ступенях толщиной 5 мм и более перлитизирующее действие 0,5 % Си проявляется в меньшей мере: количество феррита уменьшается с 90-95 до 70-80 %. При увеличении содержания меди от 0,5 до 1,0 % (в 2 раза) наблюдается многократное повышение перлитизирующего эффекта (см. рис. 1). В ступенях толщиной 2-5 мм формируется металлическая основа, состоящая преимущественно из перлита (92-97 %). В сечениях толщиной 10 и 15 мм количество перлита в металлической основе меньше и составляет соответственно 87-92 и 75-85 %. Таким образом, при легировании 1 % Си модифицированного в литейной форме высокопрочного чугуна в тонкостенных сечениях (2-5 мм) обеспечивается получение перлитной металлической основы, а в более толстых

Кристаллизация и структурообразование сплавов

(10-15 мм) формируется перлитно-ферритная металлическая основа, в которой количество феррита изменяется от 10 до 25 %.

Влияние легирования 1,5 % Си на механические свойства модифицированного в литейной форме высокопрочного чугуна исследовали на образцах, изготовленных из стандартных клиновидных проб толщиной у основания 25 мм. Химический состав клиновидных проб из нелегированного высокопрочного чугуна находился в следующих пределах (%мас.): 3,35-3,65 С; 2,65-2,95 Si; 0,25-0,28 Mn; 0,038-0,049 Mg; 0,015-0,018 S; 0,04-0,045 P. Содержание меди в легированном высокопрочном чугуне составляло от 1,38 до 1,55 %.

Микроструктура отливок из нелегированного высокопрочного чугуна состояла из включений шаровидного графита диаметром 40-45 мкм с плотностью распределения в структуре 370 шт/мм² и преимущественно ферритной металлической основы (90-96 % феррита, остальное перлит). В литом состоянии базовый нелегированный высокопрочный чугун имел следующие показатели механических свойств: временное сопротивление разрыву (σ_B) – 520 МПа; условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$) – 360 МПа; твердость (НВ) – 1700 МПа; относительное удлинение (δ) – 14 %; ударная вязкость (КС) – 90 Дж/см².

В результате легирования 1,5 % Си микроструктура клиновидных проб изменилась следующим образом: диаметр включений шаровидного графита уменьшился до 30-35 мкм, плотность распределения шаровидного графита снизилась до 340 шт/мм², количество перлита в металлической основе увеличилось до 45-50 %, а количество феррита уменьшилось с 90-96 до 50-55 %. Таким образом, установили, что влияние 1,5 % Си на перлитизацию металлической основы стандартных клиновидных проб из модифицированного в литейной форме высокопрочного чугуна проявляется в два раза слабее, чем в высокопрочном чугуне, модифицированном в ковше [4]. Вследствие этого легированный 1,5 % Си высокопрочный чугун, полученный модифицированием в литейной форме, характеризуется значительно меньшим временным сопротивлением разрыву ($\sigma_B = 640$ МПа) (рис. 3) по сравнению с модифицированным в ковше

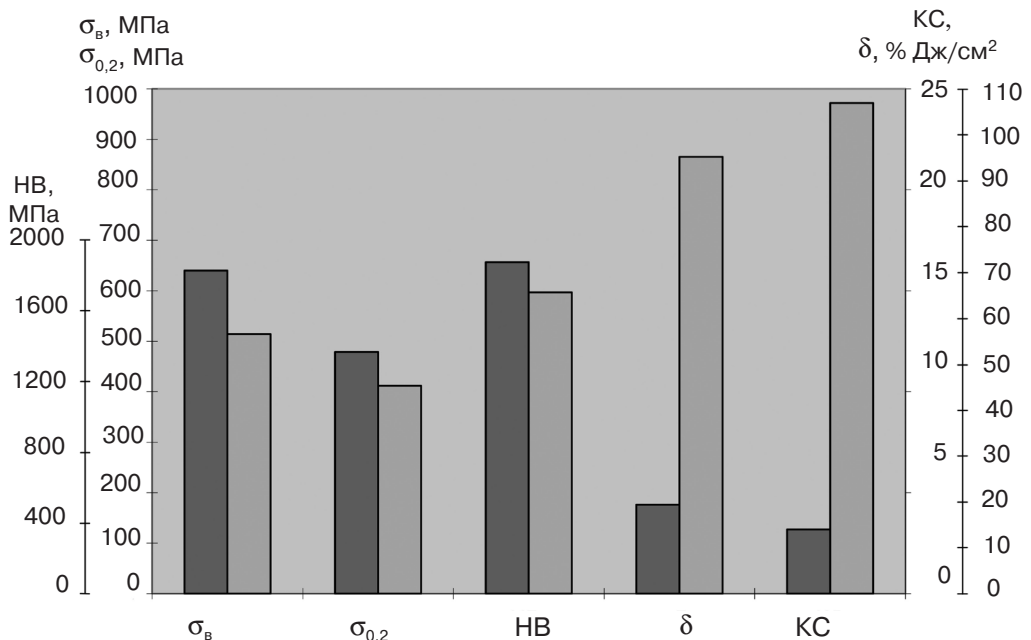


Рис. 3. Механические свойства высокопрочного чугуна, легированного 1,5 % Си, в литом состоянии (■) и после отжига (□)

($\sigma_b = 900$ МПа) при практически одинаковой величине относительного удлинения и ударной вязкости [4].

Изучено влияние термической обработки на механические свойства легированного 1,5 % Si высокопрочного чугуна, модифицированного в литейной форме. Для получения ферритной металлической основы проводили ступенчатый графитизирующий отжиг клиновидной пробы по следующему режиму: нагрев в печи до 880 °С, выдержка 2 ч, охлаждение с печью до 750 °С, выдержка 1 ч, охлаждение с печью до 650 °С, выдержка 1 ч, охлаждение на воздухе.

В результате отжига количество феррита в легированном медью высокопрочном чугуне увеличилось до 95 %, то есть до уровня, характерного для базового нелегированного высокопрочного чугуна в литом состоянии. По сравнению с литым состоянием высокопрочного чугуна, содержащего 1,5 % Si, после графитизирующего отжига наблюдается определенное уменьшение прочностных показателей (на 6-8 пунктов), снижается твердость и многократно повышаются относительное удлинение и ударная вязкость (см. рис. 3). В целом, легированный медью ферритный высокопрочный чугун, полученный модифицированием в литейной форме, отличается от полученного ковшовым модифицированием [4] меньшими показателями прочности и более высокими показателями относительного удлинения и ударной вязкости.

Изучено также влияние упрочняющих видов термической обработки (нормализации и изотермической закалки) на механические свойства легированного 1,5 % Si высокопрочного чугуна, полученного модифицированием в литейной форме. Нормализацию проводили по режиму: нагрев в печи до 880 °С, выдержка 2 ч, охлаждение на воздухе. Условия изотермической закалки были следующими: нагрев в печи до 840 °С, выдержка 2 ч, закалка в селитровой ванне с температурой 370 °С, выдержка 1 ч, охлаждение в воде. Показатели механических свойств легированного 1,5 % Si высокопрочного чугуна в нормализованном состоянии и после изотермической закалки представлены на рис. 4.

В результате нормализации количество перлита в металлической основе повысилось до 96 %, что обеспечило получение высоких прочностных свойств: $\sigma_b > 800$ МПа, $\sigma_{0,2} > 600$ МПа при твердости (НВ) 2690 МПа. В результате нормализации значительно снизились показатели относительного удлинения и

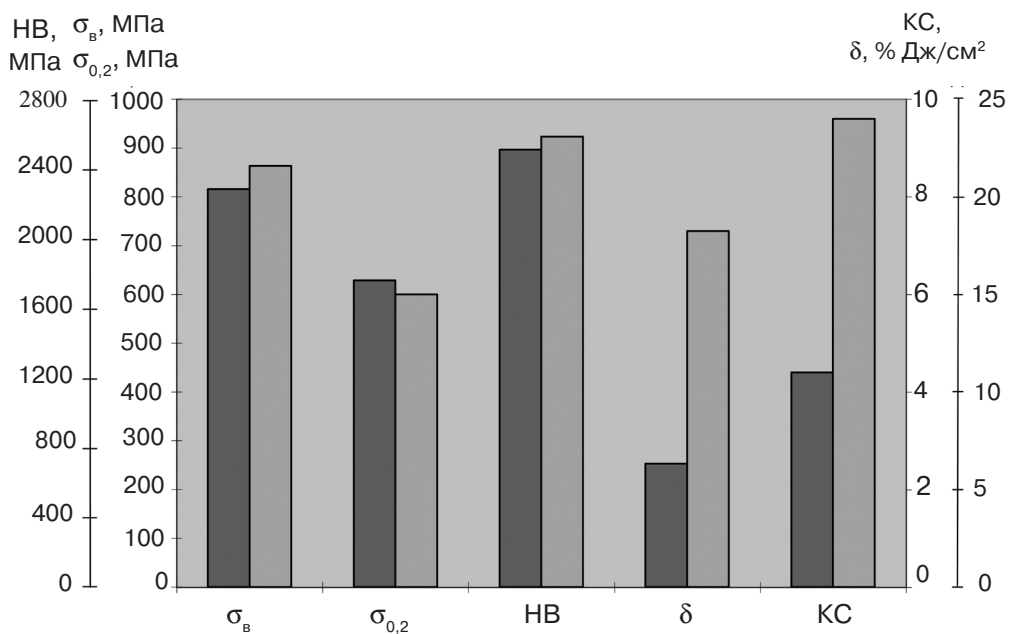


Рис. 4. Механические свойства высокопрочного чугуна, легированного 1,5 % Si, после нормализации (■) и изотермической закалки (▒)

Кристаллизация и структурообразование сплавов

ударной вязкости по сравнению с литым состоянием. После нормализации легированный 1,5 % Си высокопрочный чугун, полученный модифицированием в литейной форме, отличается от модифицированного в ковше [4] меньшим (на 10 МПа) временным сопротивлением разрыву (σ_b), более низкой твердостью и имеет близкие по величине относительное удлинение и ударную вязкость.

В результате изотермической закалки получены бейнито-ферритная металлическая основа с 20 % феррита и, по сравнению с нормализацией, более высокие показатели механических свойств за исключением условного предела текучести ($\sigma_{0,2}$). По сравнению с нормализацией изотермическая закалка по вышеприведенному режиму обеспечивает получение повышенных (более чем в 2 раза) показателей относительного удлинения и ударной вязкости.

С учетом результатов исследования в условиях опытно-промышленного производства было определено влияние легирования 1,5 % Си и термической обработки на структуру и механические свойства втулок наружным диаметром 70, высотой 280, толщиной стенки 10 мм, отлитых из модифицированного в литейной форме высокопрочного чугуна. Чугун выплавляли в индукционной электропечи из шихты, состоящей из 50 % передельного высококачественного чугуна марки ПВКЗ и оборотного высокопрочного чугуна марки ВЧ 50. Медь в количестве 1,5 % вводили в заливочный ковш при его заполнении жидким чугуном. Модифицирование проводили в литейных формах магниевой лигатурой ФСМг7 в количестве 1 % от массы чугуна, заливаемого в форму.

Химический состав втулок из нелегированного высокопрочного чугуна изменялся в следующих пределах (%мас.): 3,5-3,8 С; 2,40-2,75 Si; 0,25-0,45 Mn; 0,036-0,048 Mg; 0,010-0,012 S; 0,049-0,057 P. Микроструктура отливок из нелегированного высокопрочного чугуна состояла из включений шаровидного графита диаметром 20-27 мкм с плотностью распределения 480-550 шт/мм² и феррито-перлитной металлической основы (80 % феррита). Втулки из нелегированного высокопрочного чугуна в литом состоянии имели следующие механические свойства: $\sigma_b = 515$ МПа; $\delta = 12$ %; твердость (НВ) 2170 МПа (рис. 5). Вследствие легирования 1,5 % Си количество перлита в

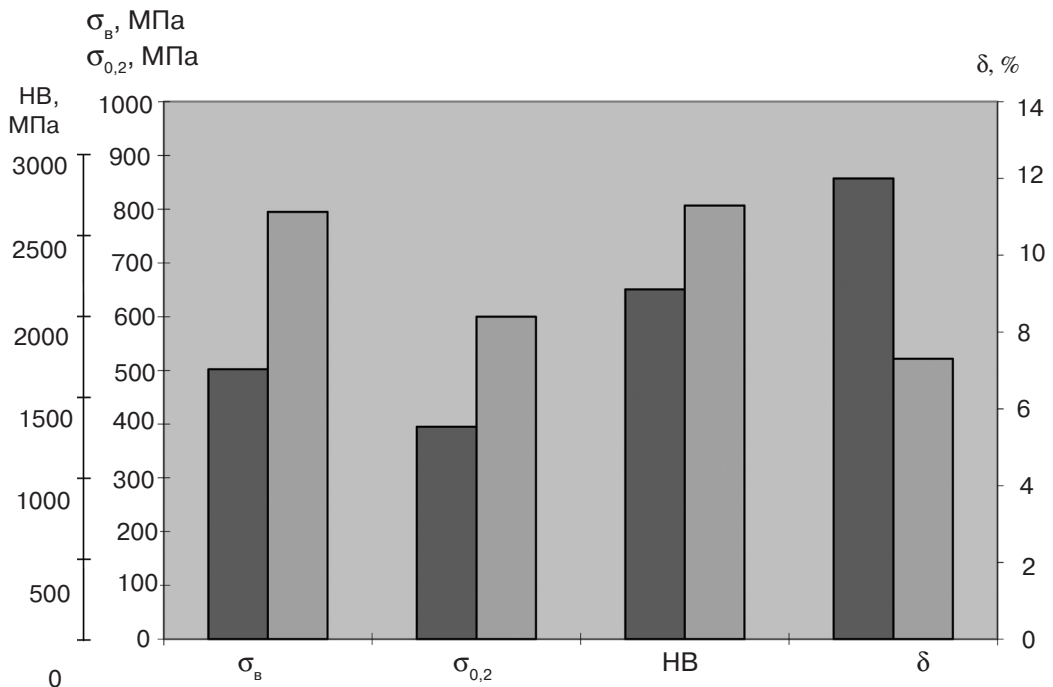


Рис. 5. Механические свойства втулок из нелегированного (■) и легированного 1,5 % Си высокопрочного чугуна (■)

Кристаллизация и структурообразование сплавов

металлической основе увеличилось до 70 % (остальное феррит), что обеспечило получение перлитно-ферритного высокопрочного чугуна типа ВЧ 800 с условным пределом текучести $\sigma_{0,2} > 600$ МПа, относительным удлинением $\delta > 7$ %, твердостью (НВ) 2690 МПа.

Легирование 1,5 % Си и нормализация по вышеприведенному режиму обеспечили получение высокопрочного чугуна перлитного класса (перлита более 92 %) типа ВЧ 900 с условным пределом текучести $\sigma_{0,2} > 700$ МПа, относительным удлинением $\delta > 8$ %, твердостью (НВ) 2690 МПа (рис. 6).

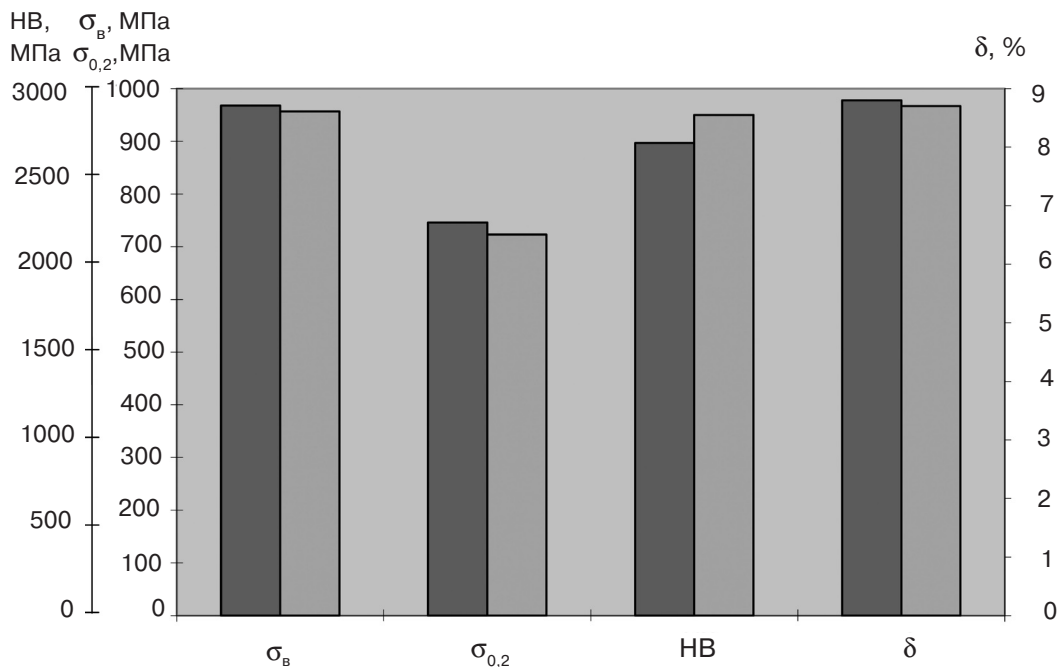


Рис. 6. Механические свойства втулок из легированного 1,5 % Си высокопрочного чугуна после нормализации (■) и изотермической закалки (▒)

С учетом ранее полученных результатов была повышена температура нагрева втулок до 870 °С для изотермической закалки, которую проводили в условиях заводского термического цеха по следующему режиму: нагрев в селитровой ванне до 870 °С, выдержка 20 мин, закалка в селитровой ванне с температурой 380 °С, выдержка 30 мин, охлаждение в воде. Данный режим изотермической закалки обеспечил получение в структуре втулок толщиной 10 мм из легированного 1,5 % Си высокопрочного чугуна полностью бейнитной (по зарубежной терминологии аусферритной) металлической основы с высокими механическими свойствами на уровне полученных после нормализации (см. рис. 6).

Выводы

Установлены технологические параметры получения без отбела тонкостенных отливок с толщиной стенок 2,5-5,0 мм из перлитного высокопрочного чугуна. Показано, что перлитизирующее действие легирования медью в высокопрочном чугуне, полученном внутриформенным модифицированием, проявляется в значительно меньшей степени, чем в полученном ковшовым модифицированием, и прогрессивно снижается с уменьшением скорости охлаждения (увеличением толщины отливки). Поэтому применение легирования высокопрочного чугуна медью в количестве 1,0-1,5 % для перлитизации металлической основы и получения высоких

прочностных показателей в условиях внутриформенного модифицирования может быть рекомендовано только для отливок с определенным ограничением по массе и толщине стенок. Увеличению степени перлитизации металлической основы способствуют такие факторы, как снижение содержания кремния и повышение скорости охлаждения. Показано, что эффективным средством повышения механических свойств легированного медью высокопрочного чугуна являются нормализация или изотермическая закалка. Определены оптимальные технологические условия применения легирования медью для получения высоких механических свойств отливок из высокопрочного чугуна, модифицированного в литейной форме.



Список литературы

1. Бубликов В. Б. Высокопрочному чугуна – 60 // Литейн. пр-во. – 2008. – № 11. – С. 2-8.
2. Бубликов В. Б. Повышение модифицирующего воздействия на структурообразование высокопрочного чугуна // Там же. – 2003. – № 8. – С. 20-22.
3. Косячков В. О. Метод модифікування як фактор структуроутворення високоміцного чавуну з кулястим графітом // Металознавство та обробка металів. – 2008. – № 1. – С. 13-19.
4. Медь в высокопрочном чугуне / В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Л. Н. Сыропоршнев и др. // Процессы литья. – 2010. – № 3. – С. 46-57.
5. Гимадеев Н. Ф., Гуртовой Д. А., Кошелев А. В. Практика производства отливок «Коленчатый вал» из перлитного ВЧШГ без термообработки // Литейщик России. – 2011. – № 1. – С. 8-10.
6. Влияние никеля на структуру и механические свойства отливок из высокопрочного чугуна / В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Л. Н. Сыропоршнев и др. // Процессы литья. – 2011. – № 2. – С. 24-33.
7. Косников Г. А., Морозова Л. М. Высокопрочные чугуны с шаровидным графитом // Литейщик России. – 2011. – № 2. – С. 11-14.
8. Andreas Carlsson. Simulation of thin Walled Ductile Iron // Foundry Trade Journal International. – 2010. – V. 184, № 3678. – P. 248-249.
9. Doru M. Stefanescu. Roxana Ruxanda. Lightweight Iron Castings – Can they Replace Aluminum Castings // Foundryman. – 2003. – V. 96, № 9. – P. 221-224.
10. Влияние содержания кремния и скорости охлаждения на образование отбела в отливках из модифицированного в ковше высокопрочного чугуна / В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Л. Н. Сыропоршнев и др. // Процессы литья. – 2009. – № 4 – С. 17-24.
11. Влияние технологических факторов на формирование структуры тонкостенных отливок из высокопрочного чугуна, получаемого внутриформенным модифицированием / В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Л. Н. Сыропоршнев и др. // Там же. – 2011. – № 3 – С. 34-44.
12. Особенности влияние кремния на структуру и механические свойства отливок из модифицированного в литейной форме высокопрочного чугуна / В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Л. Н. Сыропоршнев и др. // Там же. – 2011. – № 6. – С. 23-39.

Поступила 09.09.2011