

УДК 669.131.7

**В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Л. Н. Сыропоршнев*,
Д. Н. Берчук, И. В. Киришун**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

*Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

ВЛИЯНИЕ НИКЕЛЯ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Изучено влияние легирования никелем (до 2 %) на структуру и механические свойства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом в зависимости от качества шихтовых материалов, метода модифицирования, скорости охлаждения отливок и вида термической обработки. Определены оптимальные условия получения высоких механических свойств легированного никелем высокопрочного чугуна.

Ключевые слова: высокопрочный чугун, никель, скорость охлаждения, легирование.

Вивчено вплив легування нікелем (до 2 %) на структуру та механічні властивості високоміцного чавуну з кулястим графітом залежно від якості шихтових матеріалів, методу модифікування, швидкості охолодження виливків і виду термічної обробки. Визначено оптимальні умови отримання високих механічних властивостей легованого нікелем високоміцного чавуну.

Ключові слова: високоміцний чавун, нікель, швидкість охолодження, легування.

Influence of nickel alloying (up to 2 %) on structure and mechanical properties of spheroidal graphite ductile cast iron depending on quality of charge materials, method of modifying, speed of castings cooling and kind of heat treatment is studied. Optimum conditions of high mechanical properties reception in ductile cast iron alloyed with nickel are defined.

Keywords: ductile cast iron, nickel, speed of cooling, alloying.

Постановка проблемы

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом широко применяется в современном машиностроении. Мировой выпуск отливок из высокопрочного чугуна превысил 20 млн. т в год и составляет около 30 % общего выпуска отливок из всех видов сплавов. В структуре выпуска отливок в Украине высокопрочный чугун составляет всего 4-5 %, что крайне негативно влияет на технико-экономические показатели машиностроительной продукции [1].

Применение отливок из высокопрочного чугуна взамен заготовок из стального литья, проката, поковок, горячих штамповок позволяет на 15-20 % уменьшить массу деталей, в 1,5-5,0 раз повысить коэффициент использования металла, значительно снизить трудоемкость и энергоемкость продукции. Поэтому актуальными являются

исследования, направленные на дальнейшее повышение технологических, механических и эксплуатационных свойств высокопрочного чугуна и в целом качества производимых литых изделий. Высокопрочный чугун легируют никелем для повышения механических свойств, а также специальных: износостойкости, ударостойкости, хладостойкости, жаростойкости, коррозионной стойкости, немагнитности и др. [2].

Содержание никеля в низколегированных чугунах составляет до 3 %, в среднелегированных – 3-10 %, высоколегированных – более 10 % [3]. В высоколегированных чугунах в результате легирования никелем формируется аустенитная металлическая основа. В широко распространенных коррозионностойких аустенитных чугунах «нирезист» содержание никеля варьируется в пределах 12-35 % [4].

Данная работа посвящена изучению влияния никеля в количестве до 1,5-2,0 % на структуру и механические свойства конструкционного высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

Анализ последних достижений и публикаций

Никель-металл плотностью 8350 кг/м³ и температурой плавления 453 °С образует с железом сплавы со структурой неограниченного гомогенного твердого раствора и способствует расширению γ -области на диаграмме состояния Fe-C сплавов. Согласно классификации [5], никель наряду с медью, кобальтом, кремнием и алюминием относится к некарбидообразующим легирующим элементам, он понижает растворимость углерода в жидком и твердом растворах, повышает эвтектическую температуру и понижает эвтектоидную. Легирование никелем расширяет интервал между температурами образования стабильной (аустенитно-графитной) и метастабильной (аустенитно-цементитной) эвтектик, что соответствует его графитизирующему влиянию в процессе кристаллизации [6, 7]. Никель способствует графитизации чугуна в процессе кристаллизации и тормозит ее при $\gamma \rightarrow \alpha$ превращении, повышая степень перлитизации металлической основы [6-8]. В составе высокопрочного чугуна никель способствует увеличению растворимости меди [7].

Несмотря на высокую стоимость никеля, легирование им рекомендуется как для получения некоторых стандартных марок высокопрочного чугуна (предусмотрено ДСТУ 3925-99), так и для повышения специальных свойств: ударостойкости, хладостойкости, износостойкости и др.

Выделение нерешенной части проблемы

Упрочнение твердого раствора путем легирования никелем позволяет повысить прочностные показатели высокопрочных чугунов со всеми типами металлической основы. В легированных никелем перлитных и бейнитных высокопрочных чугунах в результате диспергирования металлической основы обеспечивается благоприятное для служебных свойств изделий сочетание прочности, пластичности и ударной вязкости.

Следует отметить, что значительная часть информации о влиянии никеля на структуру и свойства относится к чугуну с пластинчатым графитом, тогда как по высокопрочному чугуну с шаровидным графитом такая информация ограничена, а по некоторым вопросам противоречива. Это относится к данным о влиянии никеля на соотношение перлит/феррит в металлической основе. Кроме того, ограничены сведения о влиянии никеля на структуру и механические свойства высокопрочного чугуна в зависимости от скорости охлаждения отливок. Недостаточно внимания уделено также термической обработке как фактору, повышающему эффект легирования никелем. С учетом изложенного очевидна актуальность проведения системного исследования и уточнения ряда закономерностей влияния никеля на кристаллизацию, структуру и механические свойства отливок из высокопрочного чугуна.

Цель и методика исследования

Цель работы заключалась в получении экспериментальных данных о влиянии

содержания никеля в зависимости от качества исходного расплава, способа модифицирования, скорости охлаждения отливок, режимов термической обработки и других технологических факторов на структуру и механические свойства высокопрочного чугуна.

В лабораторных плавках шихтой служил передельный чушковый чугун марки ПЛ2 следующего химического состава (%мас.): 4,1 С; 0,75 Si; 0,35 Mn; 0,06 Cr; 0,02 Al; 0,026 Ti; **0,035 S; 0,08 P. Никель марки Н-4 (ГОСТ 849-2008) вводили в шихту. В конце плавки в расплав вводили расчетное количество ферросилиция марки ФС75. Модифицирование проводили в ковше магний-кальциевый лигатурой ЖКМК-4Р в количестве 2,5 % от массы жидкого чугуна. Содержание кремния в металле отливок находилось в следующих пределах (%): 2,60-2,95; магния – 0,043-0,059; серы – 0,018-0,028.**

Для исследования макро- и микроструктуры в сырых песчаных формах в лабораторных опытах отливали комплект пластин высотой 200 мм, шириной 40 мм, толщиной 5, 10, 15, 20 мм, скорость охлаждения которых составляла 4,20; 1,25; 0,60; 0,45 °С/с соответственно. Макроструктуру оценивали по изломам пластин на середине их высоты. Для определения механических свойств и микроструктуры отливали стандартные клиновидные пробы толщиной у основания 25 мм массой 7 кг (ДСТУ 3925-99), скорость охлаждения которых составляла 0,12 °С/с.

С целью изучения влияния скорости охлаждения на механические свойства высокопрочного чугуна, легированного никелем, в условиях опытного производства в сырых песчаных формах отливали комплекты клиновидных проб (кильблоков) с толщиной у основания от 8 до 45 мм, длиной 100 мм и высотой 140 мм. Скорость охлаждения ($V_{\text{охл}}$) клиновидных проб в интервале от начала кристаллизации до окончания эвтектоидного превращения представлена в табл. 1.

Таблица 1. Скорость охлаждения ($V_{\text{охл}}$) отливок клиновидных проб различной толщины

Толщина отливки у основания, мм	8	12	16	20	25	30	45
$V_{\text{охл}}, \text{ }^\circ\text{C/с}$	0,75	0,46	0,32	0,23	0,17	0,12	0,04

Анализ полученных данных, обоснование научных результатов

Из графиков (рис. 1), описывающих термокинетические параметры охлаждения и фазовых превращений образцов массой ~ 70 г, отлитых в алундовые тигли диаметром 20 мм и высотой 30 мм, следует, что легирование высокопрочного чугуна никелем в количестве 1,0 % повышает температуру эвтектического превращения на 3-5 °С и понижает ее на 40-50 °С. Отмеченное повышение температуры эвтектической кристаллизации связано со

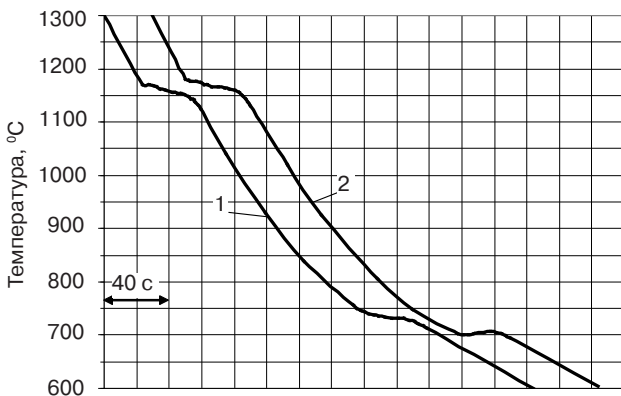


Рис. 1. Кривые охлаждения образцов нелегированного высокопрочного чугуна (1) и легированного 1,0 % Ni (2)

снижением растворимости углерода в жидком чугуне вследствие легирования никелем и свидетельствует об улучшении условий для выделения из расплава при кристаллизации графитной фазы. Значительное снижение температуры эвтектоидного превращения, обусловленное повышением устойчивости аустенита вследствие его легирования никелем, должно способствовать увеличению количества перлита и повышению его дисперсности.

Во всех лабораторных опытах в изломах отливок пластин отбела не было. Легирование 1,0 % Ni оказывает незначительное влияние на параметры, характеризующие графитную фазу. В отливках пластин наблюдается уменьшение диаметра сфероидов d и увеличение их количества N (рис. 2, а, б). Влияние скорости охлаждения на металлическую основу проявляется более контрастно. В результате легирования никелем во всем диапазоне скоростей охлаждения отливок пластин (0,45-4,20 °С/с) в их структуре формируется преимущественно перлитная металлическая основа (рис. 2, в). В структуре металлической основы пластин толщиной 5, 10, 15 мм количество перлита составляет более 92 %, что соответствует высокопрочному чугуну перлитного класса.

Влияние содержания никеля на изменение микроструктуры стандартных клиновидных отливок толщиной u основания 25 мм из высокопрочного чугуна, выплавленного в лабораторных условиях на шихте из передельного чушкового чугуна марки ПЛ2, представлено на рис. 3. При невысокой скорости охлаждения (0,12 °С/с) стандартных клиновидных проб и содержании никеля 0,5 и 1,0 % количество перлита в металлической основе по сравнению с нелегированным высокопрочным чугуном уменьшается с 40 до 25 % и только при содержании 1,5 % Ni увеличивается до 55 % (рис. 3, г). Таким образом, экспериментально показано, что легирование 0,5-1,0 % Ni при эвтектоидном превращении может при определенных условиях даже способствовать графитизации структуры медленно охлаждающихся отливок. Дилатометрический анализ образцов, вырезанных из стандартных клиновидных проб толщиной 25 мм, показал, что легирование 1 % Ni изменяет межкритический интервал при охлаждении в 3 раза меньше по сравнению с данными, полученными при охлаждении цилиндрических образцов диаметром 20 мм (см. рис. 1).

В литой структуре высокопрочного чугуна, легированного 1 % Ni, наряду с пластинчатым перлитом дисперсностью Пд1 наблюдаются также участки зернистого перлита (рис. 4, а). После нормализации (нагрев в термической печи до 870 °С, выдержка 2 ч, охлаждение на воздухе) количество перлита в металлической основе увеличивается до 80-85 %. Дисперсность пластинчатого перлита повышается до Пд0,3-Пд0,5, также увеличивается доля зернистого перлита (рис. 4, б).

В результате увеличения содержания никеля до 2-3 % при распаде аустенита в процессе эвтектоидного превращения в структуре отливок наряду с перлитом образуется также троостит. Вследствие этого относительное удлинение высокопрочного чугуна как в литом, так и нормализованном состоянии снижается до уровня 1,2-3,5 %, что позволяет сделать заключение о нецелесообразности легирования конструкционного высокопрочного чугуна никелем в количестве, превышающем 1,5-1,7 %.

Как было показано ранее, характер влияния никеля на соотношение перлит/феррит в металлической основе высокопрочного чугуна в значительной мере определя-

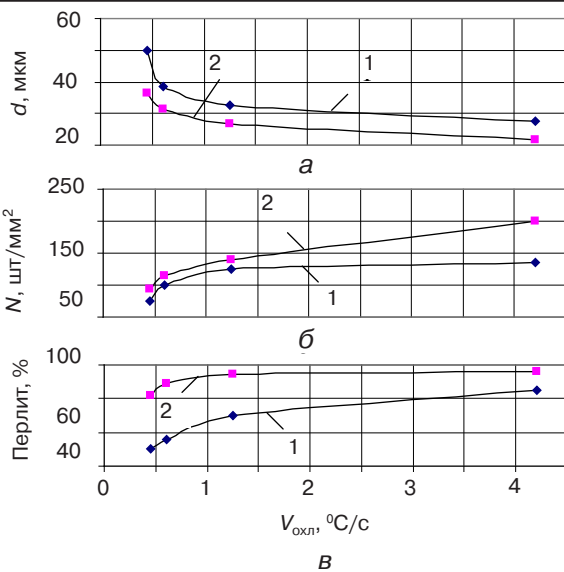


Рис. 2. Влияние скорости охлаждения на диаметр d (а), количество включений шаровидного графита N (б) и количество перлита (в) в структуре отливок из нелегированного высокопрочного чугуна (1) и легированного 1,0 % Ni (2)

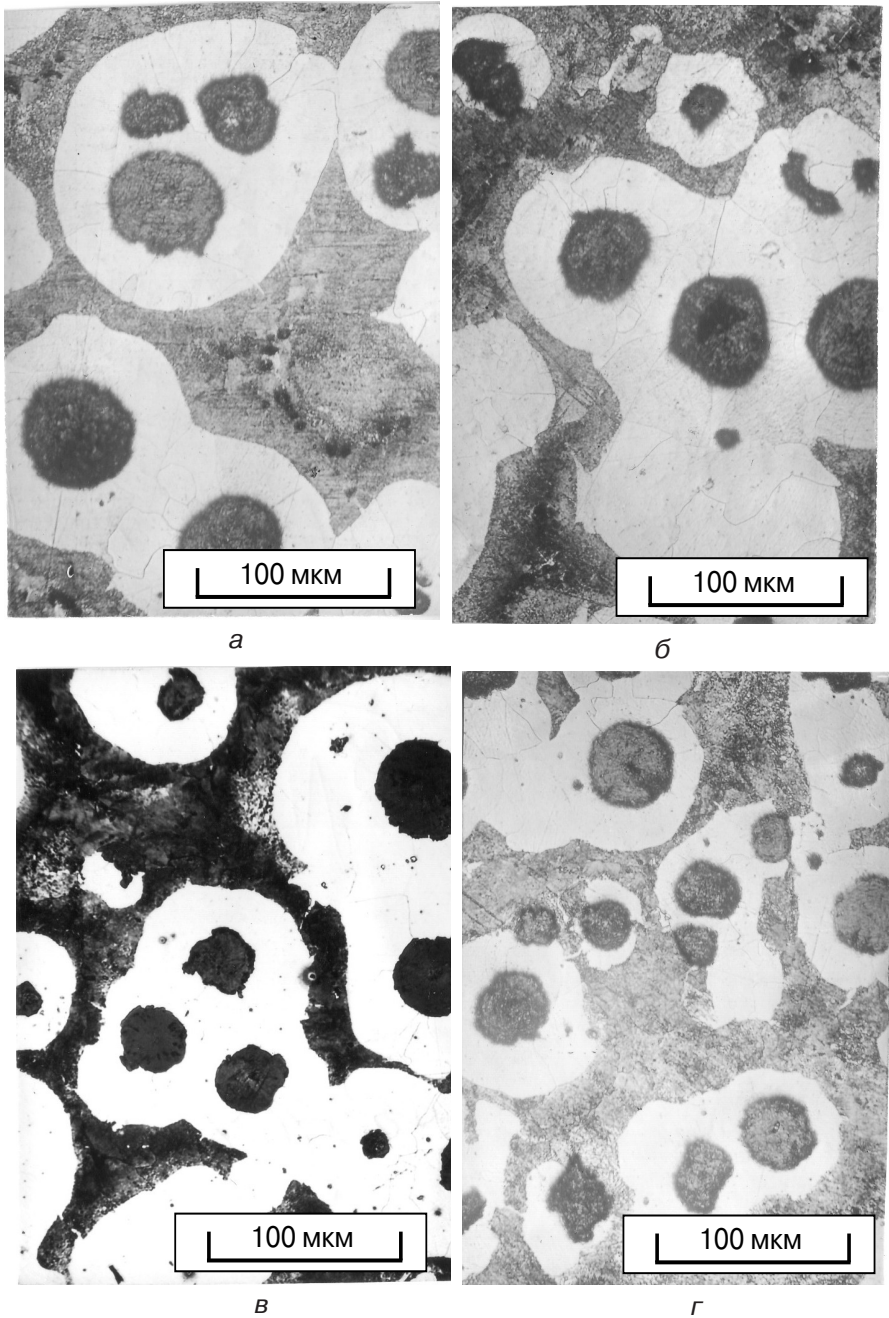


Рис. 3. Микроструктура клиновидных отливок толщиной 25 мм (ДСТУ 3925-99) из нелегированного высокопрочного чугуна (а) и легированного никелем в количестве (%) 0,5 (б); 1,0 (в); 1,5 (г)

ется величиной скорости охлаждения. В стандартных клиновидных пробах толщиной 25 мм, из которых изготавливали образцы для механических испытаний, увеличение количества перлита в металлической основе проб наблюдали только в опытах с содержанием 1,5 % Ni. Как следует из рис. 5, в сравнении с нелегированным высокопрочным чугуном при легировании 0,5 % Ni временное сопротивление разрыву (σ_b) и твердость (НВ) несколько снижаются. При легировании 1 % Ni, несмотря на меньшее количество перлита по сравнению с исходным нелегированным высокопрочным чугуном, показатели σ_b и НВ немного увеличиваются, а относительное

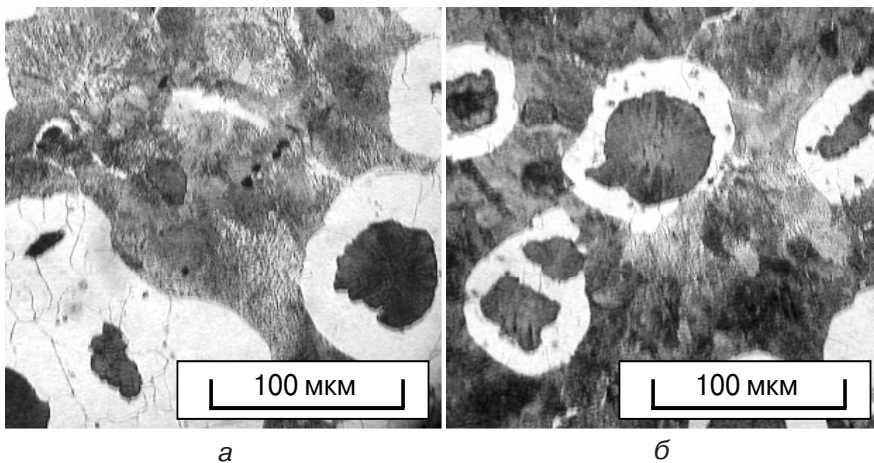


Рис. 4. Микроструктура легированного 1 % Ni высокопрочного чугуна в литом состоянии (а) и после нормализации (б)

удлинение (δ) уменьшается, что является следствием упрочнения твердого раствора легированием. Ударная вязкость (КС), определенная на образцах без надреза, в результате легирования никелем повышается. При содержании 1,5 % Ni, когда количество перлита увеличивается, наблюдается повышение показателей σ_b , НВ и снижение δ и КС. В результате нормализации легированного 1,5 % Ni высокопрочного чугуна достигается благоприятное сочетание высокой прочности ($\sigma_b = 880-910$ МПа) и относительного удлинения ($\delta = 4-6$ %).

К числу факторов, определяющих формирование структуры и свойств высокопрочного чугуна, относится также скорость охлаждения, влияние которой может быть сопоставлено с влиянием химического состава и модифицирования. Для исследования влияния скорости охлаждения на механические свойства нелегированного и легированного никелем высокопрочного чугуна в условиях опытного производства отливали клиновидные пробы (кильблоки) толщиной от 8 до 45 мм, скорости охлаждения которых приведены в табл. 1.

Плавки проводили в электропечи ИСТ-016 на шихте из передельного чушкового чугуна марки ПЛ2 (70 %) и литейного чушкового чугуна марки Л2 (30 %). Расплав чугуна модифицировали в ковше лигатурой ЖКМК-4Р. Химический состав нелегированного высокопрочного чугуна находился в следующих пределах (%мас.): 3,4-3,7 С; 2,5-2,8 Si; 0,37-0,42 Mn; 0,015-0,025 S; 0,09-0,10 P; 0,023-0,037 Ti; 0,04-0,062 Mg.

Степень сфероидизации графита (ССГ) в отливках с толщиной стенки от 8 до 20 мм была более 90 %, а в отливках с толщиной стенки 30 и 45 мм значительно ниже – 86 и 83 % соответственно. При увеличении толщины отливки (снижении скорости охлаждения) уменьшается количество перлита в металлической основе, снижаются временное сопротивление разрыву (σ_b) и условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$), рис. 6. Относительное удлинение (δ) с увеличением количества феррита в металлической основе сначала повышается, достигает максимума в отливках толщиной 20 мм и далее снижается в более медленно охлаждающихся отливках толщиной 30 и 45 мм.

Отмеченный характер изменения относительного удлинения можно объяснить следующим образом. В структуре отливок толщиной до 20 мм при ССГ > 90 % по мере уменьшения скорости охлаждения увеличивается количество феррита и соответственно относительное удлинение. В более медленно охлаждающихся отливках толщиной 30 и 45 мм, несмотря на увеличение количества феррита, величина относительного удлинения уменьшается как по причине снижения показателя ССГ, так и в результате действия масштабного фактора, проявляющегося как следствие большей степени развитости ликвации, пористости и других несовершенств структуры [6].

Кристаллизация и структурообразование сплавов

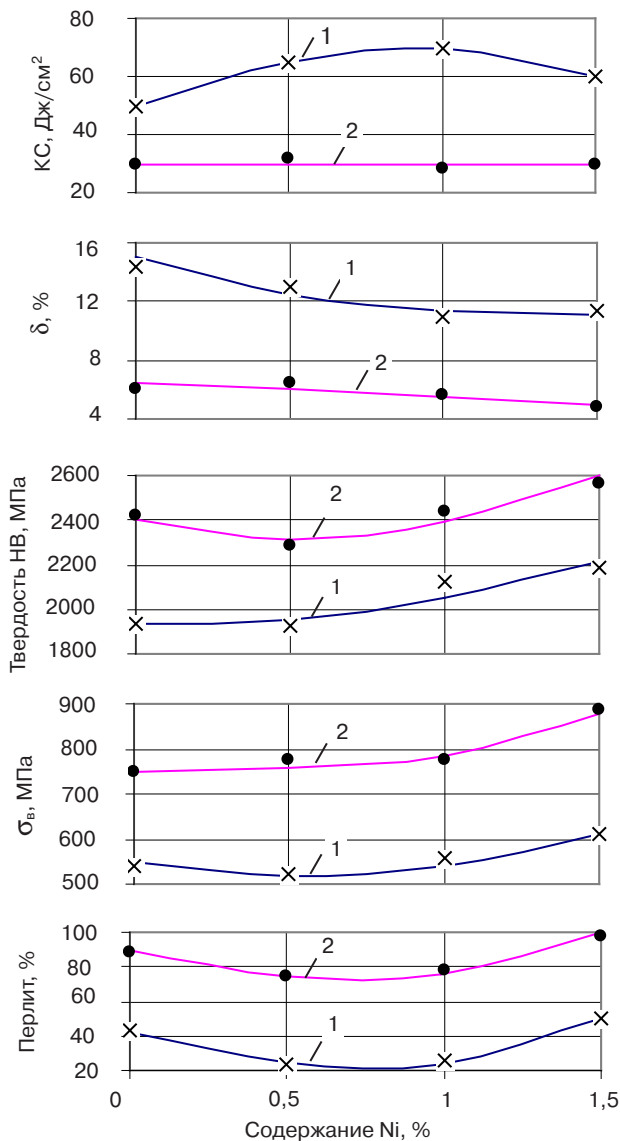


Рис. 5. Влияние содержания никеля на количество перлита и механические свойства высокопрочного чугуна: 1 – в литом состоянии; 2 – после нормализации

Режим 1 – одностадийный отжиг: нагрев в печи до 720 °С, выдержка 3 ч, охлаждение на воздухе.

Режим 2 – двухстадийный отжиг: нагрев в печи до 860 °С, выдержка 3 ч, охлаждение с печью до 720 °С, выдержка 2 ч, охлаждение на воздухе.

Оба режима термической обработки в исследованных составах чугунов обеспечивали получение ферритной металлической основы. В результате ферритизации металлической основы уменьшаются прочностные показатели и твердость, а относительное удлинение увеличивается в 4-5 раз (рис. 7). Полученные данные свидетельствуют, что при увеличении содержания никеля от 1 до 2 % прочностные показатели и твердость повышаются на 15 %, а относительное удлинение изменяется незначительно. Ферритный высокопрочный чугун, легированный никелем, характеризуется высоким удлинением (18-22 %). Двухстадийный отжиг по сравнению с одностадийным мало влияет на изменение механических свойств, незначительно увеличивая относительное удлинение при соответствующем не-

В легированном 1 % Ni высокопрочном чугуне в исследованном диапазоне скоростей охлаждения по сравнению с нелегированным, увеличивается количество перлита в металлической основе, повышаются прочностные показатели (σ_B ; $\sigma_{0,2}$) и снижается относительное удлинение (δ). Характер влияния показателя ССГ и масштабного фактора в легированном 1 % Ni высокопрочном чугуне по сравнению с нелегированным существенно не изменяется, о чем свидетельствует наличие максимума на графике, который описывает изменение относительного удлинения в зависимости от скорости охлаждения. Установленное значительное влияние скорости охлаждения на структуру и механические свойства как нелегированного, так и легированного 1% Ni высокопрочного чугуна следует учитывать при разработке деталей машин и оборудования.

Исследование влияния легирования никелем в количестве 1-2 % на механические свойства ферритного высокопрочного чугуна проводили на металле клиновидных проб толщиной 45 мм, отлитых в серии опытов по исследованию влияния скорости охлаждения на механические свойства. Темплеты, вырезанные из нижней части клиновидных проб, были отожжены на феррит по двум режимам термической обработки.

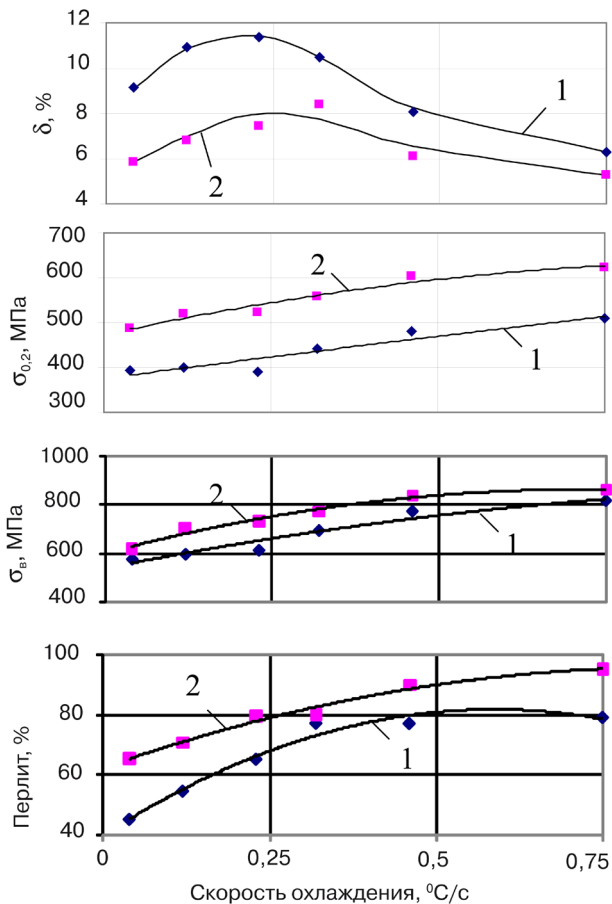


Рис. 6. Влияние скорости охлаждения и содержания никеля на количество перлита и механические свойства нелегированного высокопрочного чугуна (1) и легированного 1,0 % Ni (2)

большом уменьшении прочностных показателей. Это позволяет применять более экономичный одностадийный низкотемпературный отжиг. По сравнению с легированным никелем в ферритном высокопрочном чугуне, легированном медью, получаемом более энергоемким двухстадийным отжигом, достигаются более высокие прочностные свойства, но при меньшем относительном удлинении – 14-16 % [9].

При получении высоких механических свойств легированного никелем высокопрочного чугуна важным фактором является качество расплава, которое определяется шихтовыми материалами, методом плавки, степенью рафинирования от вредных примесей, эффективностью метода модифицирования. В условиях промышленного производства исследовано влияние легирования никелем высокопрочного чугуна на механические свойства отливок корпусов с толщиной стенки 10 мм. Плавки проводили в индукционной электропечи ИЧТ-6 на шихте из передельного высококачественного чушкового чугуна марки ПВКЗ (55 %) с низким содержанием вредных примесей (0,013-0,015 % S; 0,02-0,03 % P) и возврата высокопрочного чугуна (45 %). В шихту также вводили 1,5 % Ni (сверх 100 %). Модифицирование проводили магниевой лигатурой марки ФСМг7 в проточном реакторе, расположенном в литейной форме. Химический состав нелегированного высокопрочного чугуна в отливках находился в следующих пределах (%мас.): 3,41-3,80 C; 2,81-3,12 Si; 0,25-0,27 Mn; 0,15-0,17 Cr; 0,038-0,049 Mg; 0,009-0,011 S; 0,024 P. Механические

Кристаллизация и структурообразование сплавов

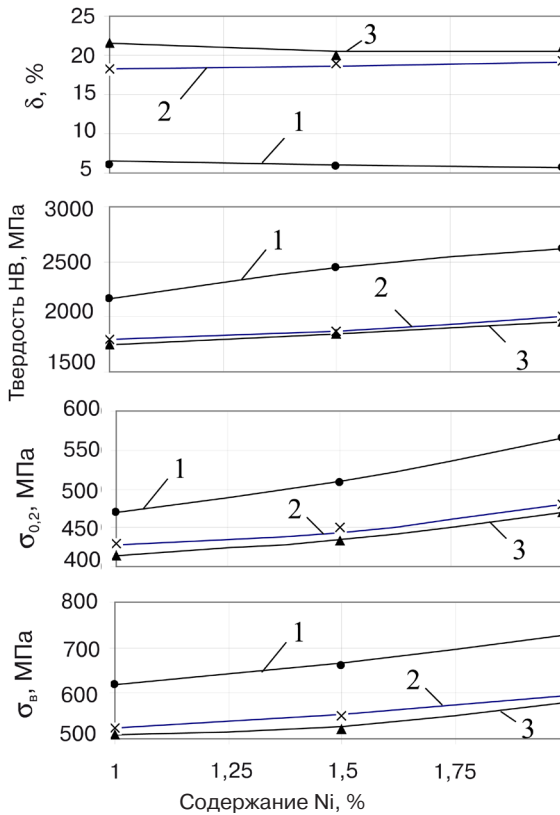


Рис. 7. Влияние никеля на механические свойства высокопрочного чугуна: 1 – в литом состоянии; 2 – после одностадийного отжига; 3 – после двухстадийного отжига

свойства высокопрочного чугуна, легированного 1,5 % Ni, определяли в литом состоянии после нормализации и изотермической закалки на образцах, вырезанных из корпусов.

Данные механических испытаний, представленные в табл. 2, свидетельствуют, что в результате легирования 1,5 % Ni механические свойства высокопрочного чугуна повышаются почти на 30 %. При этом относительное удлинение снижается незначительно (с 14,6 до 13,3 %). Прочностные показатели по сравнению с нелегированным высокопрочным чугуном еще больше возрастают при сочетании легирования 1,5 % Ni с последующей нормализацией отливок. Сопротивление разрыву достигает 886 МПа (увеличение на 77 %), условный предел текучести – 651 МПа (увеличение на 65 %). При этом обеспечивается благоприятное сочетание высокой прочности и высокого относительного удлинения (9,1 %) для перлитного высокопрочного чугуна.

Таблица 2. Влияние легирования 1,5 % Ni и нормализации на структуру и механические свойства отливок из высокопрочного чугуна, полученного внутриформенным модифицированием

Высокопрочный чугун	Механические свойства				Количество феррита в металлической основе, %
	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	НВ, МПа	δ , %	
Исходный нелегированный	502	396	2170	14,6	80
Легированный 1,5 % Ni	650	511	2410	13,3	55
Легированный 1,5 % Ni после нормализации	886	651	2850	9,1	8

Для получения бейнитной (аусферритной по зарубежной терминологии) металлической основы произвели изотермическую закалку отливок корпусов из легированного 1,5% Ni высокопрочного чугуна. Отливки нагревали в расплаве селитры до температур 800, 830, 870 °С и после выдержки 20 мин проводили изотермическую закалку в селитровой ванне с температурой 380 °С (время выдержки составляло 30 мин). Высокие прочностные свойства (σ_B , $\sigma_{0,2}$) получены при закалке отливок, нагретых до 870 °С (рис. 8). Максимальное относительное удлинение достигается при меньшей температуре нагрева – 830 °С. В целом бейнитный высокопрочный чугун, легированный 1,5% Ni, по механическим свойствам значительно пре-

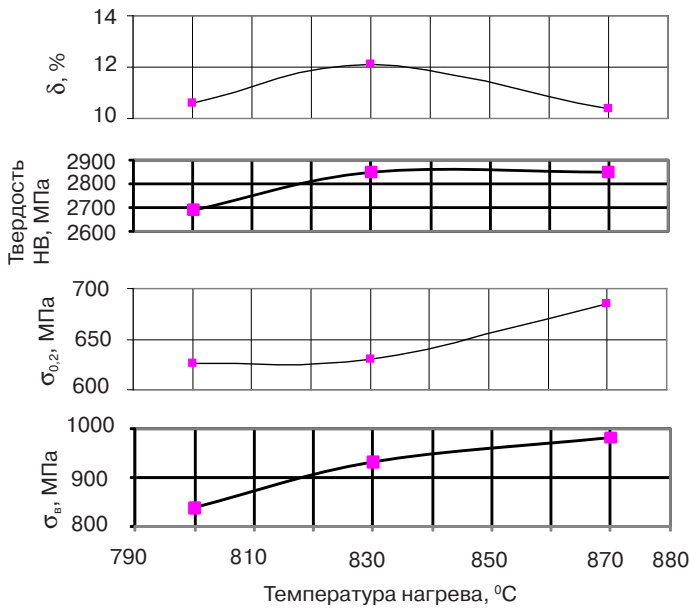


Рис. 8. Влияние температуры нагрева перед изотермической закалкой на механические свойства высокопрочного чугуна, легированного 1,5 % Ni

восходит высокопрочный чугун марки ВЧ 900-2, ДСТУ 3925-99 ($\sigma_b \geq 900$ МПа; $\sigma_{0,2} \geq 600$ МПа; $\delta \geq 2$ %) и бейнитный высокопрочный чугун марки FCAD 900-4 (стандарт Японии JIS G 5503).

Выводы

Получены экспериментальные данные, характеризующие влияние содержания никеля на структуру и механические свойства высокопрочного чугуна, в зависимости от качества шихтовых материалов, метода модифицирования, скорости охлаждения отливок и вида термической обработки. Наиболее эффективно перлитизирующее действие никеля проявляется в диапазоне повышенных скоростей охлаждения ($V_{\text{охл}} = 4,20-0,60$ °C/с). Поэтому легирование никелем рекомендуется, главным образом, для производства ответственных тонкостенных отливок с повышенным уровнем механических и служебных свойств. Для увеличения степени перлитизации металлической основы, в случае более медленных скоростей охлаждения ($V_{\text{охл}} = 0,75-0,12$ °C/с), рекомендуется сочетание повышенного содержания никеля (~1,5 %) с термической обработкой (нормализацией). Определены технологические параметры, обеспечивающие благоприятное сочетание высокой прочности и пластичности ($\sigma_b = 850-950$ МПа; $\delta = 7-10$ %), легированного никелем



Список литературы

конструкционного высокопрочного чугуна.

1. Клименко С. И. Состояние литейного производства в Украине и перспективы его развития // Литейн. пр-во. – 2008. – № 5. – С. 37-38.
2. Бобро Ю. Г. Легированные чугуны. – М.: Металлургия, 1976. – 286 с.
3. Титов Н. Д., Степанов Ю. А. Технология литейного производства. – М.: Машиностроение, 1974. – 472с.
4. Юкалов И. Н. Отливки из химически стойких сплавов. – М.: Машиностроение, 1964. – 231 с.
5. Куцова В. З., Ковзель М. А., Носков О. А. Леговані сталі та сплави з особливими властивостями. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. – 350 с.

6. Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. – М.: Машиностроение, 1966. – 562 с.
7. Ващенко К. И., Шумихин В. С. Плавка и внепечная обработка чугуна для отливок. – Киев: Вища школа, 1992. – 246 с.
8. Чугун: Справочник / Под ред. А. Д. Шермана, А. А. Жукова. – М.: Metallurgy, 1991. – 576 с.
9. Медь в высокопрочном чугуне / В. Б. Бубликов, А. А. Ясинский, Л. Н. Сыропоршнев и др. // Процессы литья. – 2010. – № 3 (81). – С. 46-57.

Поступила 06.09.2010

УДК 621.74.047:594.1:62-412

А. С. Нурадинов, Е. Д. Таранов, А. С. Эльдарханов*

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

*Научный центр «Новейшие материалы и технологии», Москва

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИИ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

На камфене и алюминии изучено влияние вибрации на теплофизические условия формирования непрерывнолитых заготовок. Установлено, что наложение виброимпульса на кристаллизатор и заготовку усиливает теплоотвод от затвердевающего слитка как в зоне кристаллизатора, так и зоне вторичного охлаждения. Показана аналогия между теплофизическими условиями формирования модельных и натуральных заготовок.

Ключевые слова: теплофизические условия, непрерывнолитые заготовки, виброимпульс, кристаллизатор, теплоотвод.

На камфені та алюмінії вивчено вплив вібрації на теплофізичні умови формування безперервнолитих заготовок. Встановлено, що накладання віброімпульса на кристалізатор і заготовку підсилює тепловідвід від тверднучого зливка як в зоні кристалізатора, так і зоні вторинного охолодження. Показана аналогія між теплофізичними умовами формування модельних і натурних заготовок.

Ключові слова: теплофізичні умови, безперервнолітні заготовки, віброімпульс, кристалізатор, тепловідвід.

On kamfene and aluminum studied vibration influence on thermalphysic formation conditions continuously cast preparations. It is established that imposing vibrations impulse on a crystallizer and preparation strengthens a heatconducting path from a hardening ingot both in a crystallizer zone, and in a zone of secondary cooling. The analogy between thermalphysic conditions of formation of modeling and natural preparations is shown.

Keywords: thermalphysic formation, continuously cast preparations, vibration impulse, crystallizer, heat conducting.

Качество непрерывнолитых заготовок (НЛЗ), главным образом, зависит от двух основных параметров: интенсивности теплоотвода и, как следствие, от скорости кристаллизации сплава. Поэтому попытки использования различных внешних воздействий при непрерывном литье связаны, в том числе, с задачей оптимизации теплообменных процессов в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения (ЗВО), то есть теплофизических условий формирования НЛЗ.