

2. Гарбер М. Е. Отливки из белых износостойких чугунов. – М.: Машиностроение, 1972. – 111 с.
3. Maratray F. // Memoires Scientifiques de la Revue de Metallurgie. – 1971. – V. 68, № 2. – P. 67-74.
4. Цыпин И. И. Белые износостойкие чугуны. – М.: Metallurgia, 1983. – 176 с.
5. Куцова В. З., Швець О. В., Куцов А. Ю. Закономірності структуроутворення та кінетики фазових перетворень в чавуні ИЧХ16НМФТ // Металознавство та обробка металів. – 2002. – № 1-2. – С. 10-17.
6. Лев И. Е. Карбидный анализ чугуна. – М.: Metallurgizdat, 1962. – 180 с.
7. Пілюшенко В. Л., Шаповалов Ю. С. Формування структури і властивостей зносостійких чавунів із зміною ступеня їх легування // Металознавство та обробка металів – 2004. – № 2. – С. 41-44.
8. Афтандиянц Е. Г., Романенко Ю. Н., Пеликан О. А. Влияние химического состава на кинетику выделения теплоты кристаллизации легированных износостойких чугунов // Процессы литья. – 2008. – № 5 – С. 36-43.
9. Флеминг М. Процессы затвердевания. – М.: Мир, 1977. – 423 с.
10. Бобро Ю. Г. Легированные чугуны. – М.: Metallurgia, 1976. – 191 с.
11. Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. – М.; Л.: Машиностроение, 1966. – 562 с.
12. ГОСТ 27772-88. Прокат для строительных стальных конструкций.
13. Попова Л. Е., Попов А. А. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана: Справочник. – М.: Metallurgia, 1991. – 503 с.
14. Каменецкая Д. С., Пилецкая И. Б., Ширяев В. Л. Железо высокой степени чистоты. – М.: Metallurgia, 1978. – 248 с.
15. Справочник по чугунному литью / Под ред. Н. Г. Гиршовича. – Л.: Машиностроение, 1978. – 761 с.
16. Банних О. А., Будбург П. Б., Алисова С. П. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа. – М.: Metallurgia, 1986. – 440 с.

Поступила 01.06.2011

УДК 669.018.25:621.78.062

В. П. Доценко, А. А. Михайлова

Одесский национальный политехнический университет, Одесса

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЛИТЫХ ЦЕПЕЙ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Существующие цепи, сваренные из хромоникелевых сталей, недостаточно противостоят абразивному износу и термоциклическим нагрузкам, утоняются и обрываются по сварке. Использование дорогостоящих чугунов из никеля, молибдена и ванадия не устраняет указанных недостатков. Предложена замена этих элементов менее дорогими хромом и алюминием. В результате выполненных исследований получен сплав (2,08 % С; 20,6 % Cr; 5 % Al, остальное – Fe), который по износостойкости не уступает стали X18H10T.

Ключевые слова: углерод, хром, алюминий, чугун, литые цепи.

Існуючі ланцюги, які зварені з хромонікелевих сталей, недостатньо протистоять абразивному зносу та термоциклическим навантаженням, тоншуються та обриваються по зварюванню. Використання чавунів, які дорого коштують із-за Ni, Mo та V, не усуває указаних вад. Запропонована заміна цих елементів менш дорогими хромом та алюмінієм. В результаті виконаних досліджень отримано сплав (2,08 % С; 20,6 % Cr; 5 % Al, інше – Fe), який по стійкості проти спрацювання не поступається сталі X18H10T.

Ключові слова: вуглець, хром, алюміній, чавун, литі ланцюги.

The existing chains, made of nickel-chromium steels, do not hold out against abrasive damage and thermal cyclic loading, they become thinner and break in welds. Using of expensive cast iron (because of nickel, molybdenum and vanadium) doesn't preclude the named weak points. It is proposed to change these elements with less expensive chromium and aluminum. As the result of conducted research an alloy (2,08 % C, 20,6 % Cr, 5 % Al, the rest is Fe) have been obtained, it's durability is no less than durability of steel X18H10T.

Keywords: carbon, chromium, aluminum, cast iron, cast chains.

Цепи и смычки являются важными элементами цементных печей. Они должны совмещать высокие износостойкость, жаростойкость и жаропрочность в специфических условиях термоциклических и механических нагрузок и высоких температур [1].

До настоящего времени звенья навесных цепей для цементных печей изготавливали сварными из проката высоколегированных сталей X18H10T, X18H9T и др. Однако эти материалы недостаточно противостоят действию абразивного износа и термоциклических нагрузок, утончаются, удлиняются в процессе их эксплуатации при повышенной температуре под действием растягивающих сил. Сварка звеньев при этом не всегда обеспечивает качество стыка, и в процессе эксплуатации смычки цепи зачастую выходят из строя из-за обрыва звеньев по месту сварки.

Одним из путей решения этой задачи является замена стали в материале цепей на легированные чугуны. Но известные чугуны с необходимым комплексом свойств имеют высокое содержание дефицитных и дорогих легирующих элементов (особенно никеля, а также молибдена, ванадия и других), процесс получения из них отливок нетехнологичен, что значительно усложняет производство. К тому же они не сочетают одновременно высокие износостойкость, жаростойкость и жаропрочность, особенно в условиях термоциклических нагрузок при высоких температурах (до 1100 °C). В научно-технической литературе отсутствуют необходимые данные для создания технологии и составов чугунов с заданным комплексом свойств. В частности, недостаточно данных о раздельном и комплексном легировании дефицитными элементами хромом, алюминием при полном исключении из состава сплава никеля, определении эксплуатационных свойств отливок. Для указанных условий эксплуатации определено влияние суммарного содержания углерода и кремния в составе отливок при таком легирующем комплексе на жаропрочность, жаростойкость и износостойкость.

Настоящая работа направлена на исследование раздельного и комплексного влияния легирования хромом и алюминием на структуру и свойства литых цепей и смычек.

Для исследования влияния хрома и алюминия на износостойкость экспериментальных чугунов для литых цепей провели 98 плавок, химический состав которых варьировался в следующих пределах, в %: C = 1,65 ÷ 3,31; Si = 0,15 ÷ 3,04; Mn = 0,51 ÷ 1,97; S = 0,005 ÷ 0,044; P = 0,043 ÷ 0,051; Cr = 2,8 ÷ 26,9; Al = 0,2 ÷ 9,3.

Из металла опытных плавок выбрали четыре группы образцов различного химического состава.

К первой группе относятся сплавы, содержащие (в %) 1,82 C; 8,4 Cr; от 0,2 до 4,9 Al. Сплавы второй группы содержат (в %) 2,34 C; 20,4 Cr; от 0,2 до 6,9 Al, сплавы третьей группы – 2,08 C; 20,6 Cr; 0,38-5,5 Al, сплавы четвертой группы – 1,65 C; 20,6 Cr; 0,38-7,6 Al.

Для сравнения экспериментальных чугунов и промышленно используемого аналога выбрали сталь X18H10T [2].

Испытание на износостойкость железохромоуглеродистого сплава проводили на машине с возвратно-поступательным движением и при повышенных температурах на специально разработанной печи.

На этой машине осуществлялось трение трех цилиндрических образцов, установленных в специальные стаканчики головки трения. Головка состояла из двух шлифованных и скрепленных между собой дисков. Фотография головки трения представлена на рис. 1.

На верхнем диске расположены три бобышки для установки нажимной крестовины и сделаны три отверстия диаметром 5 мм.

Для исследования чугуна на износ в условиях абразивной среды на машине возвратно-поступательного движения изготовили литые образцы в виде цилиндров диаметром 10 мм и высотой 24 мм. Общая площадь рабочей поверхности трех одновременно работающих образцов составляет 2,35 см. Образцы из испытываемых материалов приведены на рис. 2.

В качестве сопряженной пары применяли специальные абразивные бруски марки 63СВПМ2КБ-8. В изготовленном патроне укрепили три абразивных бруска, которые служили беговой дорожкой для каждого образца.

Длительность одного испытания составляла 20 мин. Испытание на износ с каждой партией образцов повторялось не менее 5 раз. Путь скольжения испытываемых образцов равнялся 2040 м.

Образцы взвешивали на аналитических весах с точностью $\pm 0,0002$ г. Линейные размеры (высоты образцов) замеряли микрометром. Образцы до и после каждого испытания промывали в бензине и этиловом спирте, а затем сушили в сушильном шкафу при температуре 80-100 °С.

Результаты испытаний образцов на износостойкость приведены на рис. 3.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать следующие выводы:

– по мере увеличения содержания хрома износостойкость чугунов возрастает, сплавы, содержащие 20,4 % Cr, имеют большую износостойкость, чем сплавы с содержанием 8,4 Cr (рис. 3);

– уменьшение содержания углерода с 2,34 до 1,65 % снижает износостойкость опытных сплавов, износ образцов увеличился с 0,38 до 0,52 мг;

– износостойкость исследуемых сплавов зависит от содержания в них алюминия, все полученные зависимости имеют экстремум при содержании алюминия от 2,8 до 4,0 %, при содержании алюминия свыше 5,0 % износостойкость повышается.

Влияние других компонентов в сплавах на износостойкость определяется их взаимодействием с углеродом и способностью к растворению их в железе. Высокая сопротивляемость износу сплавов с большим количеством хрома и соответственно карбидной фазы заключается в том, что высокодисперсные карбиды являются барьерами на пути движения абразивных тел.

Дальнейшее увеличение содержания алюминия с 4 % и выше способствует повышению износостойкости сплавов за счет образования сложных химических соединений $FeAl$, Fe_2Al_5 , обладающих повышенной твердостью [3].

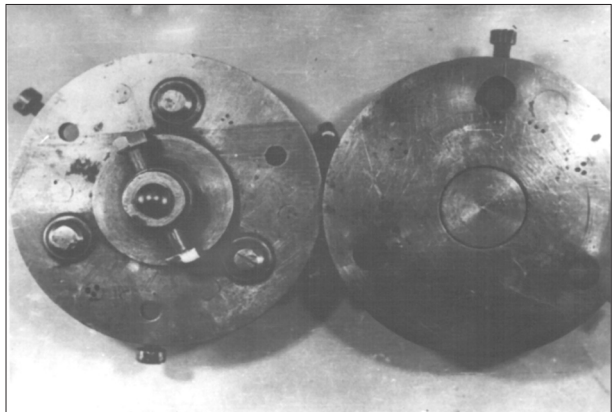


Рис. 1. Головка трения с образцами

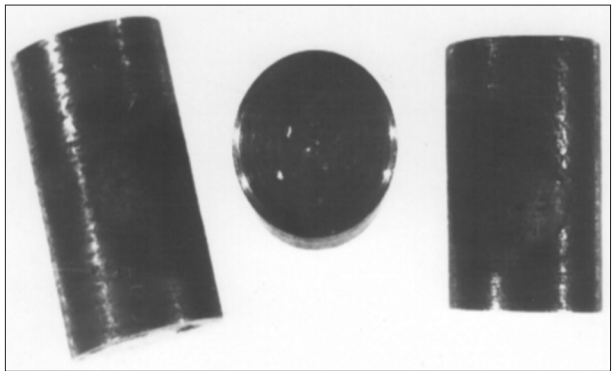


Рис. 2. Образцы для испытаний на износ

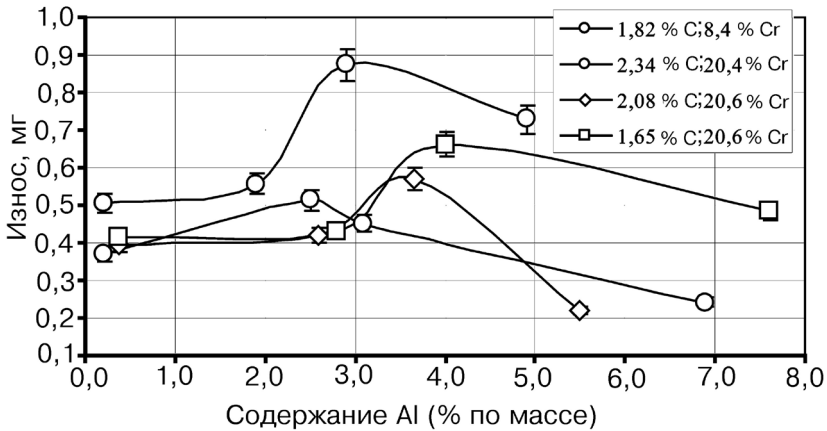


Рис. 3. Зависимость износа образцов от содержания легирующих элементов

Таким образом установили, что оптимальным является сплав, содержащий (в %) 2,08 C; 20,6 Cr и свыше 5,0 Al.

Термостойкость определяли по количеству термоциклов до появления видимых трещин на поверхности образца. Результаты проведенных испытаний опытных сплавов представлены на рис. 4 при температуре испытаний 1110 °С и времени нагрева 25 ч.

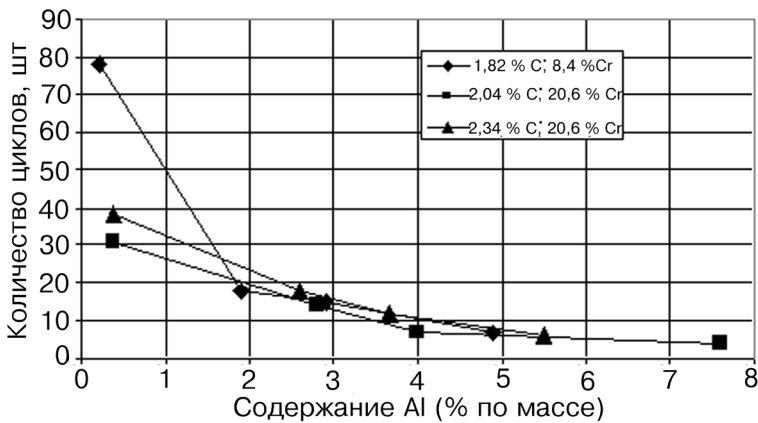


Рис. 4. Изменение термостойкости в зависимости от химического состава сплава

Термостойкость исследуемых сплавов резко падает с увеличением содержания алюминия от 1,9 до 2,8%. Дальнейшее же увеличение содержания алюминия снижает значение термостойкости экспериментальных чугунов незначительно. С увеличением содержания углерода в сплавах термостойкость их увеличивается.

Неравномерное формоизменение зерен может привести к перераспределению термических напряжений, что, в свою очередь, вызывает появление микротрещин. Кроме того, при высокой температуре нагрева может происходить выгорание легирующих элементов, особенно на поверхности, в результате чего снижается термостойкость сплава.

Изменение химического состава или процентного содержания одного из компонентов сплава может оказывать существенное влияние на величину термостойкости железохромоуглеродистых сплавов.

Из анализа результатов экспериментов (рис. 4) можно заключить, что термостойкость железохромоуглеродистых сплавов понижается с уменьшением содержания в них углерода и увеличением алюминия. Наилучшей термостойкостью обладают сплавы, содержащие в своем составе 2,04 % С, 20,6 % Cr, от 0,38 до 2,6 % Al. Дальнейшее увеличение содержания алюминия вызывает падение значений термостойкости чугунов.

Для подтверждения достоверности полученных результатов провели анализ микроструктуры опытных чугунов. Определили влияние хрома и алюминия на микротвердость перлита и ее изменение до и после термообработки. Так как влияние этих элементов на микротвердость карбидной фазы известно и хорошо изучено, она не рассматривалась.

Всего было изучено 30 сплавов, из которых отливались опытные образцы и звенья цепей для цементных печей. На рис. 5-10 приведены наиболее характерные микроструктуры чугуна отливок.

На рис. 5-7 представлены микроструктуры сплавов с небольшим содержанием алюминия (0,2-0,33 %), поэтому можно проследить влияние возрастающего количества хрома на изменение структуры опытных чугунов.

При содержании хрома до 4,0 % (рис. 5) наблюдаем структуру металлической перлит-карбидной матрицы (перлит мелкозернистый) половинчатого чугуна с включениями графита в виде мелких точек и гнезд. При содержании 10,2 % хром полностью подавляет процесс графитизации, и чугун кристаллизуется белым с небольшим количеством хромистой эвтектики, дисперсность перлита уменьшается. Повышение содержания хрома до 20,6 % приводит к увеличению количества карбидной составляющей (рис. 7).

На рис. 8-10 представлена группа сплавов с высоким содержанием хрома (20,4-20,6 %) и возрастающим количеством алюминия (от 5,6 до 9,3 %). Для сплавов с таким содержанием алюминия характерна перлитно-ферритная структура, причем количество легированного алюминием феррита увеличивается по мере повышения содержания алюминия. Присаженного количества хрома оказалось достаточно для свя-

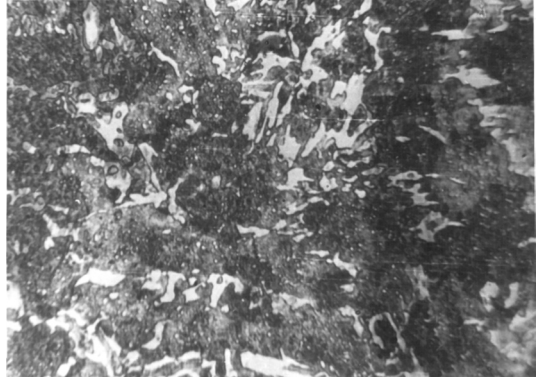


Рис. 5. Микроструктура чугуна, содержащего (% по массе): 2,5 С; 3,0 Cr; 0,2 Al, травлено 2%-ным ниталем, $\times 360$



Рис. 6. Микроструктура чугуна, содержащего (% по массе): 2,7 С; 10,2 Cr; 0,23 Al, травлено 2%-ным ниталем, $\times 360$

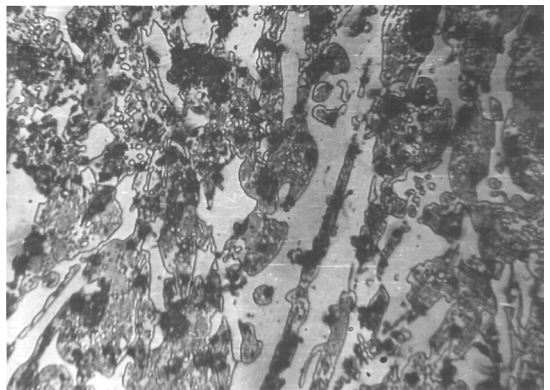


Рис. 7. Микроструктура чугуна, содержащего (% по массе): 2,04 С; 20,6 Cr; 0,33 Al, травлено 2%-ным ниталем, $\times 360$



Рис. 8. Микроструктура чугуна, содержащего (% по массе): 2,34 С; 20,4 Cr; 5,6 Al, травлено 2%-ным ниталем, $\times 600$



Рис. 9. Микроструктура чугуна, содержащего (% по массе): 2,04 С; 20,6 Cr; 6,73 Al, травлено 2%-ным ниталем, $\times 600$



Рис. 10. Микроструктура чугуна, содержащего (% по массе): 1,65 С; 20,6 Cr; 9,3 Al, травлено 2%-ным ниталем, $\times 600$

звания всего углерода в карбиды типа $(Fe, Cr)_3C$.

На основании экспериментальных данных построены зависимости влияния алюминия на микротвердость перлита опытных сплавов до и после их испытаний на жаростойкость при температуре 1100 °С в течение 100 ч (рис. 11-13).

Анализ экспериментальных данных показал, что с увеличением содержания алюминия микротвердость перлита опытных чугунов как до их термообработки, так и после нее имеет тенденцию к снижению. Причем, уменьшение микротвердости перлита до термообработки увеличивается по мере повышения содержания углерода, если при 1,65 % С твердость снизилась на 72 ед., то при 2,34 % С – на 110 ед.

После испытаний на жаростойкость динамика уменьшения микротвердости наиболее выражена при содержании углерода 2,34 %, при этом содержании углерода также наблюдается особенно большая разница в микротвердости перлита до и после испытаний на жаростойкость.

Таким образом, если в образцах до испытаний микротвердость меньше изменялась при содержании углерода 1,65 %, то для образцов после испытаний большая стабильность микротвердости наблюдалась при содержании углерода 2,04 %. Алюминий при содержании свыше 5,0 % понижает микротвердость перлита, поэтому его количество целесообразно оставить на этом уровне.

Исходя из того, что микротвердость структурных составляющих определяет износостойкость отливок, можно предположить, что лучшей износостойкостью при комнатных температурах будет обладать сплав, содержащий (в %) 1,65 С; 20,4-20,6 Cr; 4,9-5,1 Al, а лучшей износостойкостью при температуре 1100 °С – чугун, содержащий (в %) 2,04 С; 20,4-20,6 Cr; 4,9-5,1 Al. Необ-

ходимо также учитывать, что общую износостойкость белого чугуна в значительной мере определяет микротвердость цемента, в нашем случае она повышается. Это и

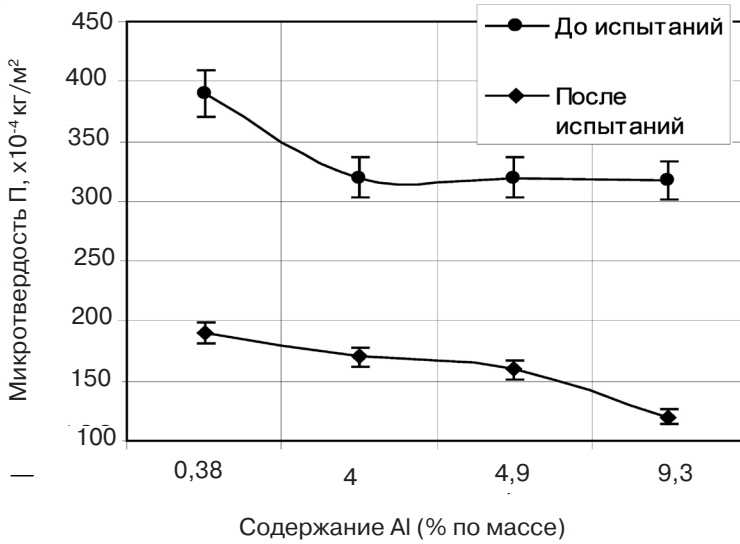


Рис. 11. Влияние алюминия на микротвердость перлита при содержании (% по массе): C = 1,65 ; Cr = 20,6

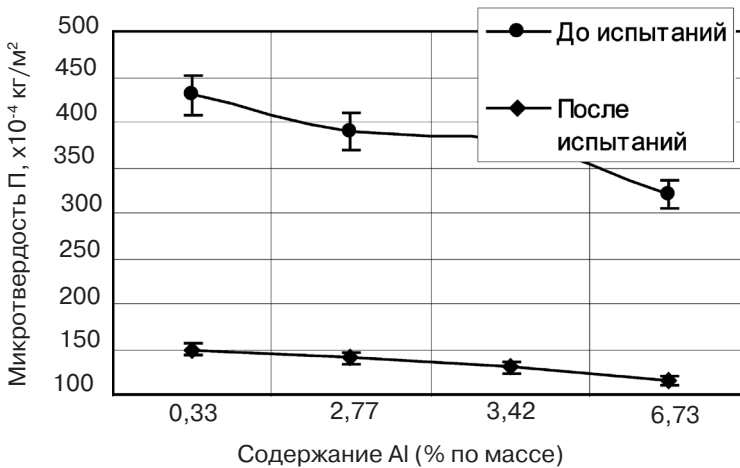


Рис. 12. Влияние алюминия на микротвердость перлита при содержании (% по массе): 2,04 C; 20,6 Cr

обуславливает тот факт, что при повышении содержания алюминия износостойкость опытных чугунов повышается.

По мере увеличения содержания хрома с 8,4 до 20,4 % износостойкость экспериментальных чугунов возрастает.

Уменьшение содержания углерода с 2,34 до 1,65 % снижает износостойкость опытных сплавов, износ образцов увеличивается с 0,38 до 0,52 мг.

Износостойкость исследуемых сплавов зависит от содержания в них алюминия, все полученные зависимости имеют экстремум при содержании алюминия от 2,8 до 4,0 %. При содержании алюминия свыше 5,0 % износостойкость не повышается.

Литые опытные смычки цепей в температурном интервале 750-800 °С, который является рабочим диапазоном температур теплообменника, и при выдержке 100 ч практически не имели износа. Тогда как на смычках цепей из стали Х18Н10Т при аналогичных условиях испытаний наблюдался износ 2,6-3,8%.

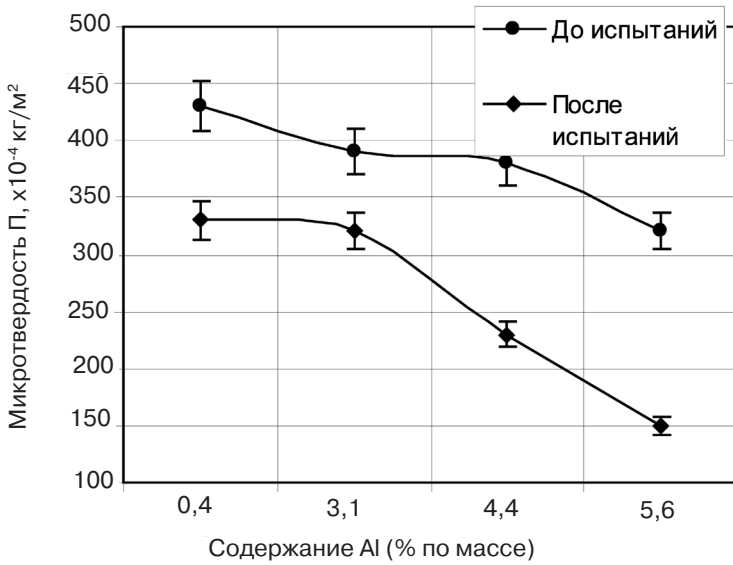


Рис. 13. Влияние алюминия на микротвердость перлита при содержании (% по массе) 2,34 С; 20,4 Сr

По результатам проведенных исследований наиболее износостойким при комнатной и повышенной температурах является чугун, содержащий (% по массе) 2,0-2,1 С; 20,4-20,6 Сr.



Список литературы

1. Иванова Л. А., Доценко В. П. Повышение качества и экономичности сложнопрофильных отливок из железоуглеродистых сплавов. – Одесса: ТЭС, 2005. – 106 с.
2. Чугун: Справочник / Под ред. А. Д. Шермана, А. А. Жукова. – М.: Металлургия, 1991. – 576 с.
3. Жуков А. А., Сильман Г. И., Фрольцов М. С. Износостойкие отливки из комплексно легированных белых чугунов. – М.: Машиностроение, 1984. – 104 с.

Поступила 22.06.2011

Уважаемые подписчики!

Подписаться на журнал «Процессы литья»
через Интернет
можно на сайте ГП «Пресса» www.presa.ua
с помощью сервиса «Подписка On-line».
