

УДК 669.018.25:669.112

**В. П. Гаврилюк, В. А. Локтионов-Ремизовский,
Н. Н. Грибов, В. Г. Иванченко**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ И СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Fe-Cr-C

Проведено обобщение влияния модифицирования на износостойкость и механические свойства стандартных сплавов X19ГД, ЧХ16М2, ЧХ28Н2 и 240Х24МГ2ФРЮ системы Fe-Cr-C в зависимости от содержания углерода. В результате проведения экспериментов установлено, что при минимальных значениях углерода прочность чугуна ЧХ16М2 за счет модифицирования увеличивается на 30 %, сплава X19ГД – на 37 %, прочность чугуна ЧХ28Н2 уменьшается на 12 %, сплава 240Х24МГ2ФРЮ – на 25 %, стрела прогиба у чугунов ЧХ16М2 и ЧХ28Н2 растет на 30 %, сплава X19ГД – на 40 %, в сплаве 240Х24МГ2ФРЮ падает на 40 %. С увеличением количества углерода в сплавах твердость у чугунов ЧХ16М2 и ЧХ28Н2 увеличивается на 8 и 12 % соответственно и является постоянной в сплавах X19ГД и 240Х24МГ2ФРЮ. Относительная износостойкость у чугунов ЧХ16М2 и ЧХ28Н2 благодаря модифицированию увеличилась на 33 %, в сплаве 240Х24МГ2ФРЮ – в 11 раз. Модифицирование не повлияло на износостойкость сплава X19ГД.

Ключевые слова: модифицирование, сплав, износостойкость, механические свойства.

Проведено узагальнення впливу модифікування на зносостійкість і механічні властивості стандартних сплавів X19ГД, ЧХ16М2, ЧХ28Н2 і 240Х24МГ2ФРЮ системи Fe-Cr-C в залежності від вмісту вуглецю. В результаті проведення експериментів встановлено, що при мінімальних значеннях вуглецю міцність чавуну ЧХ16М2 за рахунок модифікування збільшується на 30 %, сплаву X19ГД – на 37 %, міцність чавуну ЧХ28Н2 зменшується на 12 %, сплаву 240Х24МГ2ФРЮ – на 25 %, стріла прогину у чавунів ЧХ16М2 і ЧХ28Н2 зростає на 30 %, сплаву X19ГД – на 40 %, в сплаві 240Х24МГ2ФРЮ падає на 40 %. Із збільшенням кількості вуглецю твердість у чавунів ЧХ16М2 і ЧХ28Н2 збільшується на 8 і 12 % відповідно і є постійною в сплавах X19ГД і 240Х24МГ2ФРЮ. Відносна зносостійкість у чавунів ЧХ16М2 і ЧХ28Н2 завдяки модифікуванню збільшилася на 33 %, у сплаві 240Х24МГ2ФРЮ – в 11 разів. Модифікування не вплинуло на зносостійкість сплаву X19ГД.

Ключові слова: модифікування, сплав, зносостійкість, механічні властивості.

Generalization of influence of modification is conducted on wearresistence and mechanical properties of standard alloys of 150Cr19MnCu, 320Cr16Mo2, 280Cr28Ni2 and 240Cr24MoMn2VBAI systems of Fe – Cr – C depending on maintenance of carbon. It is set as a result of leadthrough of experiments, that at the minimum values of carbon due to retrofitting durability of cast-iron of 320Cr16Mo2 is increased on 30 %, alloy of 150Cr19MnCu on 37 %, durability of cast-iron of 280Cr28Ni2 diminishes on 12 % and alloy of 240Cr24MoMn2VBAI on 25 %, a sagitta at cast-irons

Новые литые материалы

of 320Cr16Mo2 and 280Cr28Ni2 grows on 30 %, alloy of 150Cr19MnCu on 40 % and falls in the alloy of 240Cr24MoMn2VBAI on 40 %. With the increase of amount of carbon in alloys hardness is increased at cast-irons of Chkh16m2 and Chkh28n2 on 8 and 12 % accordingly, and is permanent in the alloys of 150Cr19MnCu and 240Cr24MoMn2VBAI. Due to modification the relative wearresistence was increased at cast-irons of 320Cr16Mo2 and 280Cr28Ni2 on 33 % in the alloy of 240Cr24MoMn2VBAI in 11 times. Modification did not influence on wearpresistence of alloy of 150Cr19MnCu.

Keywords: modification, alloy, wearresistence, mechanical property.

Модифицирование износостойких стандартных сплавов приводит к измельчению структурных составляющих за счет увеличения центров кристаллизации и уменьшения скорости роста кристаллов [1-3]. Известно [2], что прочность всех без исключения сплавов системы Fe-Cr-C, в которую входят стандартные износостойкие сплавы, уменьшается с увеличением содержания углерода при концентрации хрома в диапазоне 12-30 %. Это дает возможность разместить на одном координатном поле, ограниченном абсциссой, – концентрацию углерода в сплаве, ординатой – то или другое его свойство изучаемых стандартных износостойких сплавов Х19ГД, ЧХ16М2, ЧХ28Н2 и 240Х24МГ2ФРЮ.

Влияние модифицирования на прочность и износостойкость стандартных сплавов Х19ГД, ЧХ16М2, ЧХ28Н2 и 240Х24МГ2ФРЮ в зависимости от концентрации углерода при неизменном содержании хрома систематически не изучалось.

Задача исследования заключается в обобщении влияния модифицирования на механические свойства и относительную износостойкость стандартных сплавов Х19ГД, ЧХ16М2, ЧХ28Н2 и 240Х24МГ2ФРЮ в зависимости от концентрации в каждом из них углерода.

Методика проведения экспериментов заключалась в обработке жидких износостойких сплавов модифицирующей смесью, которая состояла из следующих компонентов (мас. доля, %) : ферроцерий ФЦ90 – 20, силикокальций СК30 – 62, бромид лития – 18.

К модифицирующей смеси добавляли поташ в количестве 2,0 % от суммы модифицируемых компонентов. Расход модифицирующей смеси составлял 0,8 % от массы обрабатываемого металла. Применяли модифицирующую смесь в виде брикетов, которые вводили в жидкий расплав с помощью колокольчика-испарителя.

Содержание углерода изменяли в диапазоне его стандартной концентрации в сплавах, в то время как комплекс легирующих компонентов оставляли постоянным. В чугуне ЧХ16М2 диапазон варьирования содержания углерода составлял (в %) 2,5-4,4; в сплаве Х19ГД – 1,3-1,7; чугуне ЧХ28Н2 – 2,2-3,1; сплаве 240Х24МГ2ФРЮ – 1,7-2,8.

Износостойкие сплавы выплавляли в индукционной плавильной печи МГП 0,15/2,5 с основной футеровкой тигля. Температура выпуска сплавов составляла 1600 °С. Температуру сплава определяли с помощью термопары градуировки ВР1 (ГОСТ 3044-84) с точностью ±20 °С. Сплавы разливали в песчаные формы по моделям, которые газифицируются. Одну половину всей массы металла разливали по формам, а вторую – после модифицирования.

Для определения прочности сплавов в литом состоянии при изгибе, твердости и относительной абразивной износостойкости до и после модифицирования отливали технологические пробы: пруток диаметром 30 мм, длиной 340 мм; гребенка с четырьмя образцами 10x10 мм в поперечнике и ступенчатые пробы. Из проб готовили образцы для определения прочности износостойких сплавов при изгибе в соответствии с ГОСТом 14019-80, твердости – ГОСТом 9013-59, относительной износостойкости – ГОСТом 17367-71.

На рис. 1, а показано влияние модифицирования и содержания углерода на прочность при изгибе чугунов ЧХ16М2, ЧХ28Н2, сплавов Х19ГД и 240Х24МГ2ФРЮ. Как видно из рис. 1, а, увеличение содержания углерода в чугуне ЧХ16М2 (1) приводит к

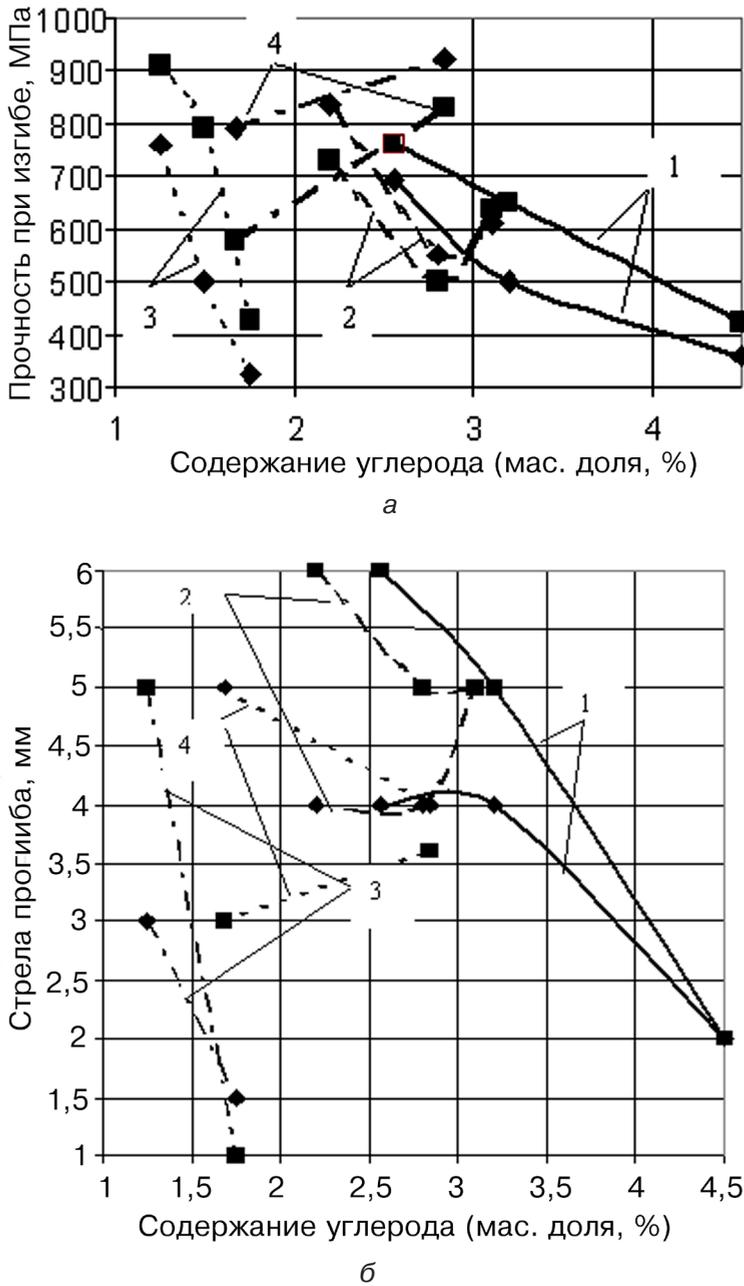


Рис. 1. Влияние модифицирования и содержания углерода на прочность (а) и стрелу прогиба (б) сплавов: 1 – чугун ЧХ16М2; 2 – чугун ЧХ28Н2; 3 – сплав Х19ГД; 4 – сплав 240Х24МГ2ФРЮ; ◆ – исходный сплав; ■ – модифицированный сплав;

уменьшению его прочности при изгибе. Модифицирование не изменяет тенденцию такого уменьшения прочности.

После модифицирования при одинаковых количествах углерода прочность чугуна ЧХ16М2 растет, наибольший его рост (на 30 %) достигается при эвтектическом содержании углерода 3,2 %. Рост прочности можно объяснить большей дисперсностью колоний эвтектических карбидов.

Микроструктуры исходного и модифицированного чугуна ЧХ16М2 показаны на

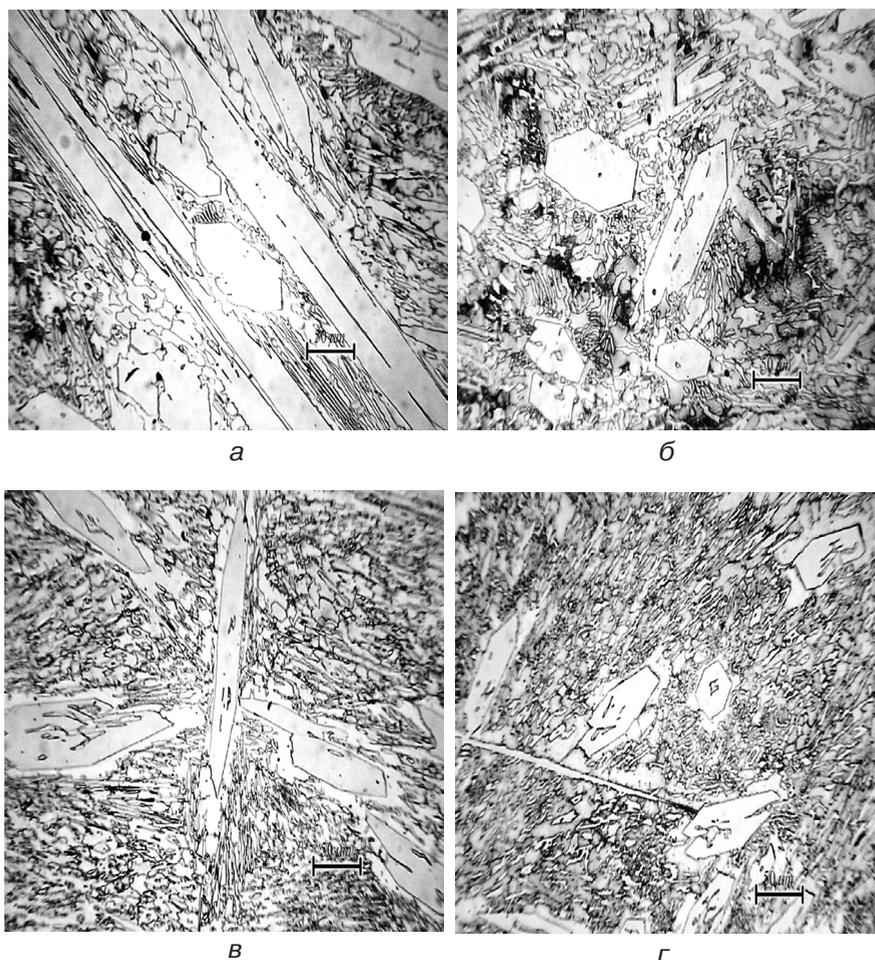


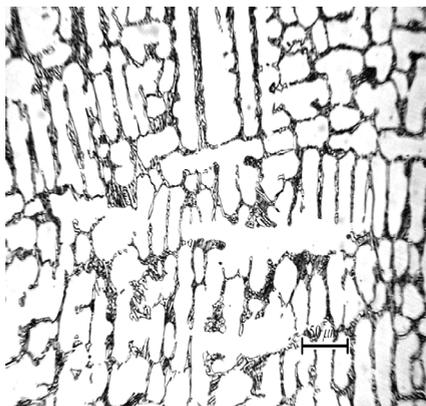
Рис. 2. Микроструктура сплавов до и после модифицирования: а, б – чугуны ЧХ16М2, ЧХ28Н2; в-е – сплав Х19ГД; ж, з – 240Х24Г2ДФРЮ

рис. 2, а, б, из которого видно, что модифицирование увеличивает дисперсность эвтектических карбидов.

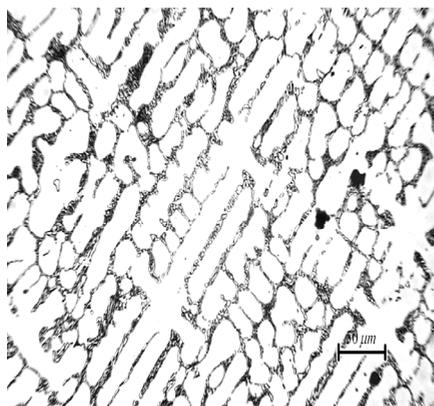
С увеличением количества углерода в чугуне ЧХ28Н2 (2) (рис. 1, а) от 2,2 до 2,8 % его прочность уменьшается. При содержании углерода свыше 2,8 % прочность чугуна несколько улучшается, но остается достаточно низкой и не превышает 640 МПа для модифицированного чугуна. На рис. 2, в, г показана микроструктура чугуна ЧХ28Н2 до и после модифицирования. После модифицирования первичные карбиды в структуре чугуна становятся более дисперсными.

Влияние содержания углерода и модифицирования на прочность сплава Х19ГД (3) аналогично такому влиянию на чугун ЧХ16М2. Увеличение прочности сплава в 1,7 раз после модифицирования при постоянном содержании углерода 1,5 % состоялось за счет измельчения первичного зерна аустенита (рис. 2, е).

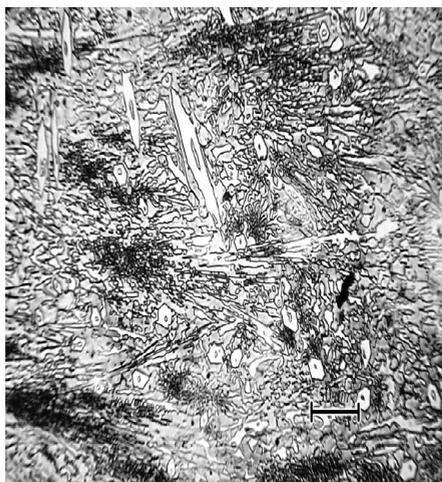
В сплаве 240Х24МГ2ДФРЮ модифицирование способствует уменьшению прочности сплава от 790 до 580 МПа при содержании углерода 1,7 % и от 920 к 830 МПа – при 2,8 % С. Уменьшение прочности сплава после модифицирования объясняется тем, что сплав до модифицирования уже содержал ряд металлов-модификаторов: титан, бор и алюминий. С другой стороны, с модификатором вводили большое количество кремния, который уменьшает прочность сплава за счет смещения эвтектической точки на диаграмме состояния Fe-Cr-C влево. Благодаря такому



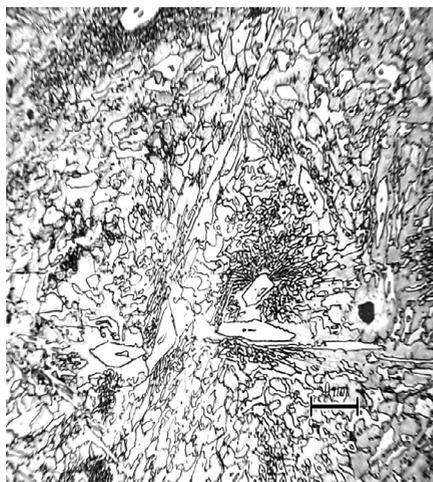
д



е



з



з

смещению эвтектической точки выделяется большее количество эвтектических карбидов. Такой сплав становится менее прочным, но более твердым и износостойким. На рис. 2, ж показана микроструктура сплава 240X24МГ2ФРЮ до и после модифицирования. Как видно из рис. 2, модифицирование этого сплава приводит не только к диспергированию структурных составляющих и некоторой сфероидизации первичных карбидов, но и увеличению количества карбидов.

На рис. 1, б показано влияние содержания углерода и модифицирования на стрелу прогиба, из него также видно, что особенность влияния модифицирования на стрелу прогиба износостойких сплавов системы Fe-Cr-C состоит в том, что с ростом содержания углерода у всех сплавов стрела прогиба уменьшается за счет увеличения количества карбидов в микроструктуре исследуемых сплавов. Причем, интенсивность уменьшения стрелы прогиба у модифицированных сплавов больше, чем в исходных. Это приводит к появлению общих точек, где стрела прогиба исходного металла равняется стреле прогиба модифицированного сплава. Так, для чугуна ЧХ16М2 общая точка значения стрелы прогиба находится при 4,5 % С, чугуна ЧХ28Н2 – 3,1 %, сплава Х19ГД – 1,7 %, сплава 240X24МГ2ФРЮ – 3,2 %.

В этих точках модифицирование по углероду не увеличивает стрелу прогиба сплавов, оно способствует увеличению стрелы прогиба в сплавах при минимальных значениях углерода (кроме сплава 240X24МГ2ФРЮ). Так, в чугунах ЧХ16М2 и ЧХ28Н2

Новые литые материалы

модифицирование способствовало увеличению стрелы прогиба от 4 до 6 мм при 2,6 и 2,2 % С соответственно. У сплава Х19ГД стрела прогиба выросла от 3 до 5 мм при 1,2 % С, в сплаве 240Х24МГ2ФРЮ она уменьшилась от 5 до 3 мм при 1,7 % С.

На рис. 3, а показано влияние содержания углерода и модифицирования на твердость чугунов ЧХ16М2, ЧХ28Н2, сплавов Х19ГД и 240Х24МГ2ФРЮ.

Как видно из рис. 3, а, увеличение содержания углерода во всех исследуемых сплавах приводит к увеличению их твердости (кроме немодифицированного сплава Х19ГД) за счет увеличения количества комплексных карбидов в структуре сплавов.

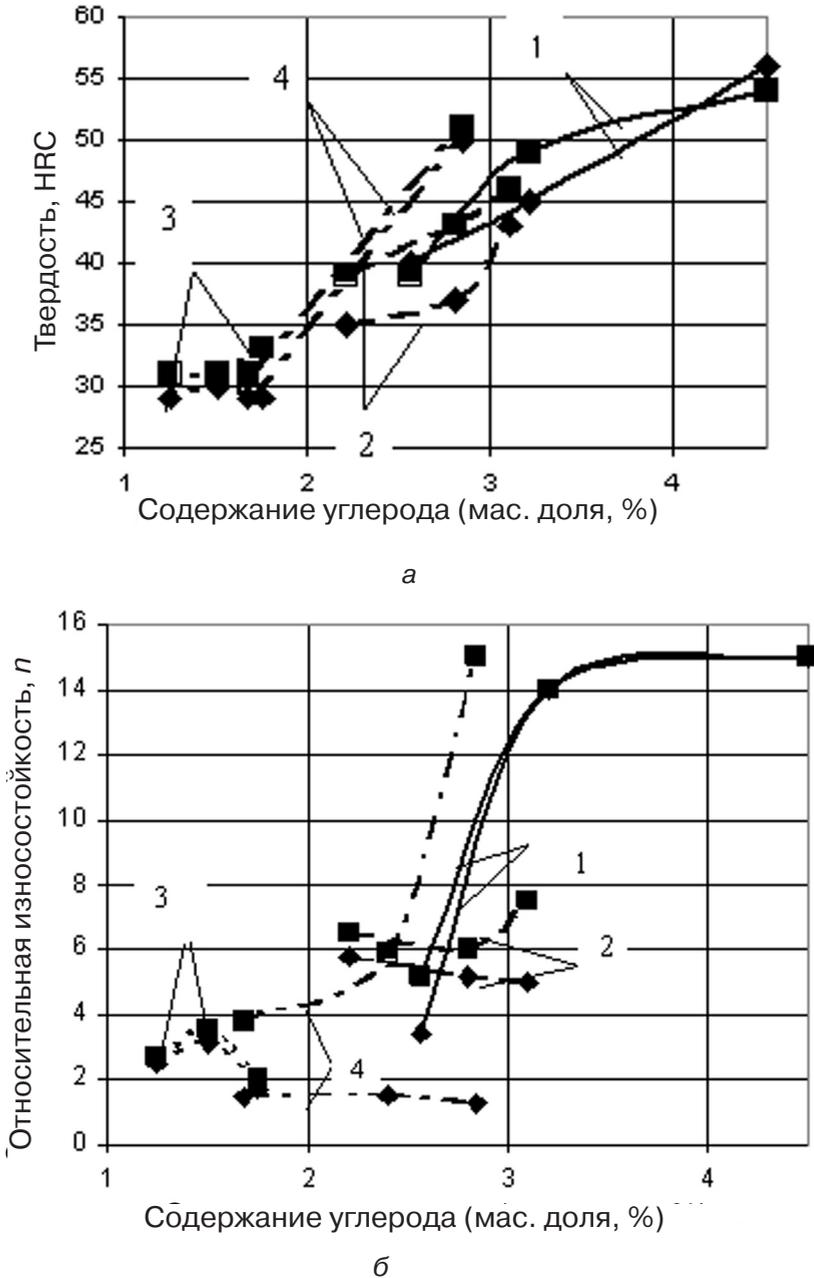


Рис. 3. Влияние модифицирования и содержания углерода на твердость (а) и относительную износостойкость (б) сплавов: 1 – чугун ЧХ16М2; 2 – чугун ЧХ28Н2; 3 – сплав Х19ГД; 4 – сплав 240Х24МГ2ФРЮ; ◆ – исходный чугун; ■ – модифицированный чугун

У немодифицированного сплава Х19ГД повышение углерода в диапазоне его содержания 1,25-1,75 % не влечет за собой увеличение твердости.

У чугунов ЧХ16М2, ЧХ28Н2 диспергирование структурных составляющих приводит к увеличению твердости, у сплава 240Х24МГ2ФРЮ модифицирование способствует незначительному увеличению твердости, всего на несколько единиц.

На рис. 3, б показано влияние содержания углерода и модифицирования на относительную износостойкость чугунов ЧХ16М2, ЧХ28Н2, сплавов Х19ГД и 40Х24МГ2ФРЮ. Как видно из рис. 3, б, увеличение износостойкости в доэвтектическом чугуне ЧХ16М2 на 33 % можно объяснить большей дисперсностью эвтектических колоний аустенита. При содержании в чугуне углерода 3,2 % и более модифицирование не приводит к увеличению износостойкости. При количестве углерода в чугуне больше 3,5 % относительная износостойкость достигает максимального значения 15 и не увеличивается благодаря выкрашиванию колоний первичных заэвтектических карбидов в результате трения о закрепленный абразив.

У исходного чугуна ЧХ28Н2 увеличение содержания углерода не влечет за собой рост износостойкости, а немного ее уменьшает, несмотря на то, что твердость исходного чугуна растет. Такое неоднозначное влияние можно объяснить тем, что с увеличением количества углерода увеличиваются размеры карбидов и уменьшаются силы связи между карбидом и аустенитной матрицей. Карбиды выкрашиваются из аустенитной матрицы, что обеспечивает увеличение износа образца из чугуна ЧХ28Н2. Модифицирование способствует увеличению относительной износостойкости чугуна ЧХ28Н2 на 50 % при содержании углерода 3,1 % за счет уменьшения размеров структурных составляющих (рис. 2, б).

Для литого сплава Х19ГД наблюдается небольшой экстремум относительной износостойкости в зависимости от количества углерода и модифицирования. Увеличение относительной износостойкости в сплаве Х19ГД при увеличении содержания углерода от 1,3 до 1,5 % происходит за счет легирования аустенита углеродом. А уменьшение относительной износостойкости при содержании углерода от 1,5 до 1,8 % обусловлено появлением в объеме металла большого количества графитовой пены, которая образовалась в результате сгорания пенополистироловой модели при заполнении литейной формы сплавом.

В результате проведения экспериментов установлено, что при минимальных значениях углерода за счет модифицирования прочность чугуна ЧХ16М2 увеличивается на 30 %, сплава Х19ГД – на 37 %, прочность чугуна ЧХ28Н2 уменьшается на 12 %, а сплава 240Х24МГ2ФРЮ – на 25 %, стрела прогиба у чугунов ЧХ16М2 и ЧХ28Н2 растет на 30 %, сплава Х19ГД – на 40 % и в сплаве 240Х24МГ2ФРЮ падает на 40 %. С увеличением количества углерода в сплавах твердость у чугунов ЧХ16М2 и ЧХ28Н2 увеличивается на 8 и 12 % соответственно и является постоянной в сплавах Х19ГД и 240Х24МГ2ФРЮ. Благодаря модифицированию относительная износостойкость у чугунов ЧХ16М2 и ЧХ28Н2 увеличилась на 33 %, в сплаве 240Х24МГ2ФРЮ – в 11 раз. Модифицирование не повлияло на износостойкость сплава Х19ГД.



Список литературы

1. Жуховицкий А. А., Шварцман Л. А. Физическая химия. – М.: Металлургия, 1968. – 520 с.
2. Цигин И. И. Износостойкие отливки из белых легированных чугунов: Обзор. – М.: НИИМаш, 1983. – 56 с.
3. Гаврилюк В. П., Тихонович В. И., Шалевская И. А. Абразивостойкие высокохромистые чугуны. – Луганск: Ноулидж, 2010. – 141 с.

Поступила 28.02.2011