

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ЧУГУНОВ

В настоящее время имеется несколько десятков марок износостойких высокохромистых чугунов /1/. Применение различных методик при определении их свойств делает невозможным сопоставление полученных результатов и выбор оптимального состава сплава. Нами проведены по единой методике исследования свойств высокоуглеродистых сплавов, содержание углерода и легирующих элементов в которых изменялось в широких пределах. Решение поставленной задачи осуществлялось с применением метода математического планирования эксперимента, а именно центрального ротatableльного униформпланирования второго порядка /2/. Условия проведения опытов приведены в табл. 1.

Чугун требуемого химического состава выплавляли в силитовой печи в тиглях ТГ-5. В сухие песчаные формы отливали образцы для испытаний на износ, прочность, ударную вязкость и коррозионную стойкость. Испытания проводили в литом, отожженном при 950<sup>0</sup>С и нормализованном состояниях образцов. Результаты испытаний выплавленных согласно матрице сплавов были подвергнуты статистической обработке, что позволило рассчитать коэффициенты при неизвестных, их доверительные интервалы и построить математические модели второго порядка. Проверка гипотезы об адекватности представления результатов эксперимента полиномами второго порядка по критерию Фишера при 95% уровне значимости не отвергается.

Полученные модели имеют вид:

### Износ

а) в литом состоянии; мг/см<sup>2</sup> час

$$Y_1 = 27,4 - 0,93X_1 - 0,34X_2 + 1,10X_3 + 1,07X_4 - 1,25X_1X_2 - 0,86X_1X_3 + 1,02X_2X_4 + 0,49X_1^2 + 0,30X_2^2 + 0,4X_3^2 + 0,23X_4^2 ;$$

б) в отожженном состоянии:

$$Y_2 = 29,8 - 1,91X_1 - 0,27X_2 + 0,53X_3 + 0,80X_4 - 1,44X_1X_2 - 1,95X_1X_3 - 0,85X_1X_4 - 0,28X_2X_4 - 0,56X_3X_4 + 1,74X_1 + 1,15X_2^2 + 1,64X_3^2 + 1,32X_4^2 ;$$

в) в нормализованном состоянии:

$$y_3 = 24,0 - 0,63X_1 - 0,82X_2 + 0,95X_3 + 0,68X_4 - 0,24X_1X_3 - \\ - 0,50X_1X_4 - 0,66X_2X_3 + 0,80X_2X_4 + 0,69X_3X_4 + 0,34X_1^2 + \\ + 0,30X_2^2 + 0,91X_3^2 + 0,23X_4^2.$$

#### Твердость HRC

а) в литом состоянии:

$$y_4 = 52,1 + 0,90X_1 + 1,26X_2 - 0,40X_3 - 0,70X_4 - 0,38X_1X_2 + \\ + 0,26X_1X_4 + 0,23X_2X_3 - 0,54X_2X_4 - 1,01X_1^2 - 0,64X_2^2 - 1,35X_3^2 - \\ - 0,50X_4^2;$$

б) в отожженном состоянии:

$$y_5 = 60,4 + 78X_1 - 0,35X_3 - 0,95X_4 - 0,42X_1X_2 + 0,28X_1X_3 + \\ + 0,77X_1X_4 - 0,31X_2X_4 - 0,32X_3X_4 - 0,93X_1^2 - 1,02X_2^2 - \\ - 2,08X_3^2 - 1,18X_4^2;$$

в) в нормализованном состоянии:

$$y_6 = 60,9 + 0,39X_1 + 0,47X_2 - 2,26X_3 - 1,72X_4 - 0,40X_1X_2 - \\ - 0,21X_1X_3 + 0,39X_1X_4 + 1,32X_2X_3 - 0,44X_3X_4 - 1,38X_1^2 - \\ - 1,80X_2^2 - 1,69X_3^2 - 1,16X_4^2.$$

#### Коррозия

а) в 10% растворе  $\text{HNO}_3$ ; г/м<sup>2</sup> сутки

$$y_7 = 4,78 + 0,25X_1 - 0,32X_2 + 0,19X_3 - 0,51X_4 + 0,29X_1X_3 + \\ + 0,12X_1X_4 + 0,18X_2X_3 + 0,33X_2X_4 + 0,29X_3X_4 + 0,51X_1^2 + \\ + 0,15X_2^2 + 0,14X_3^2 + 0,34X_4^2;$$

б) в 10% растворе  $\text{H}_2\text{SO}_4$ :

$$y_8 = 2,60 + 0,39X_1 + 0,39X_2 - 0,24X_3 - 0,19X_4 - 0,15X_1X_2 + \\ + 0,26X_1X_3 + 0,26X_1X_4 - 0,12X_2X_3 + 0,12X_2X_4 + 0,12X_3X_4 + \\ + 0,28X_3X_4 + 0,10X_1^2 + 0,13X_2^2 + 0,16X_4^2.$$

Предел прочности в отожженном состоянии,

кг/мм<sup>2</sup>

$$Y_9 = 35,4 - 1,2X_1 - 0,7X_2 + 2,5X_3 + 0,8X_4 - 1,06X_1X_2 - \\ - 1,33X_2X_3 - 2,76X_2X_4 + 0,80X_3X_4 + 0,50X_1 + 0,90X_2 + \\ + 0,65X_3 + 0,45X_4.$$

Для вычисления исследуемых параметров значения факторов в уравнения подставляются в кодированном виде и определяются как частное от деления разности между натуральным значением фактора и основным уровнем на интервал варьирования.

Анализ полученных моделей показывает, что в исследованном интервале углерод и хром повышают твердость и износостойкость сплавов, снижая при этом прочность и коррозионную стойкость. Это связано с выделением большого количества карбидов хрома, формирующихся при высоком содержании углерода в виде игл. Увеличение содержания марганца и никеля в сплаве приводит к снижению твердости и износостойкости и некоторому увеличению прочности и коррозионной стойкости. Это связано с появлением в структуре остаточного аустенита, стабилизированного высоким содержанием никеля и марганца. Заметное влияние никеля на коррозионную стойкость проявляется лишь при испытании в сильно агрессивных средах, таких как 10%-ные растворы серной, соляной и азотной кислот. В слабоагрессивных средах (растворы HCl, NaOH) заметной разницы в стойкости сплавов с высоким (3,5%) и низким (0,5%) содержанием никеля нами не обнаружено. В связи с тем, что никель снижает твердость высокохромистых чугунов, их износостойкость затрудняет регулирование свойств термической обработкой. Значительный интерес представляет вопрос о целесообразности наличия никеля в сплаве ИЧХ28Н2, широко распространенном для изготовления проточной части насосов, перекачивающих гидробразивные взвеси. Учет этого фактора тем более важен, что некоторая потеря прочности при снижении содержания никеля может быть компенсирована микролегированием сплава силикокальцием [3]. С этой целью нами были получены сплавы, соответствующие по составу ИЧХ28, но с различным содержанием никеля (от 0 до 2,5%) и исследована их жидкотекучесть, ударная вязкость и твердость после различных видов термической обработки (немодифицированных и модифицированных 0,20% силикокальция). Результаты проведенных исследований показаны на рис. 1 - 3.

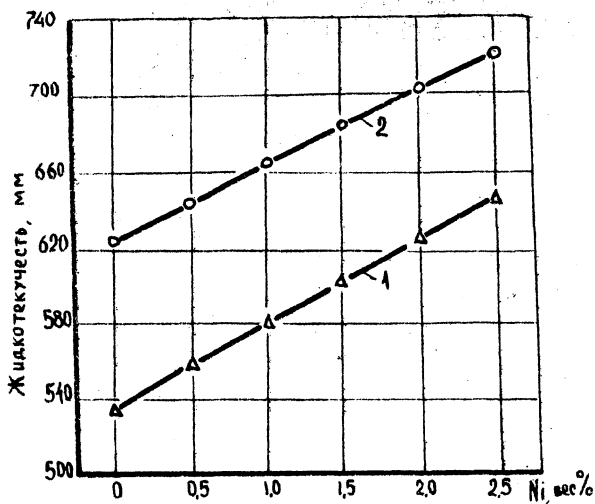


Рис. 1. Влияние содержания никеля на жидкотекучесть сплава ИЧХ28 немикрولهгированного (1) и микрولهгированного 0,20% силикокальция (2)

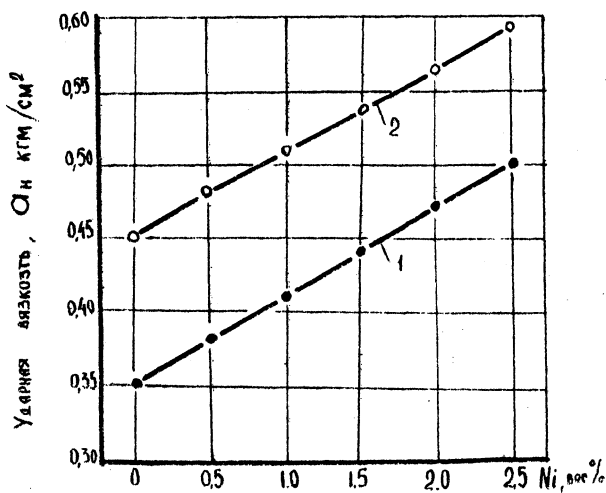


Рис. 2. Влияние содержания никеля на ударную вязкость сплава ИЧХ28 немикрولهгированного (1) и микрولهгированного 0,20% силикокальция (2)

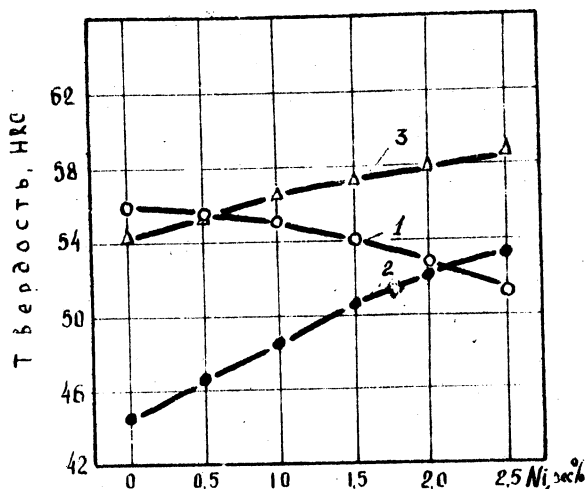


Рис. 3. Влияние содержания никеля на твердость сплава ИЧХ28:  
1 - литой; 2 - отжиг 950°C; 3 - нормализация с 950°C

Анализ приведенных зависимостей подтверждает возможность снижения дорогого и дефицитного никеля в сплаве ИЧХ28Н2 введением в технологию его приготовления технологически простой операции микролегирования силикокальцием в количестве 0,20% от веса расплава.

#### Л и т е р а т у р а

1. Гарбер М.Е. Отливки из белых износостойких чугунов. М., "Машиностроение", 1972. 2. Новик Ф.С. Математические методы планирования экспериментов в металловедении. Раздел П. М., МИСИС, 1972. 3. Худокормов Д.Ч. и др. Влияние микролегующих добавок на структуру и гидроабразивную стойкость сплава ИЧХ28Н2 (настоящий сборник).