

металлические включения и газы в литейных сплавах. — Запорожье, 1991. — С. 79—80.

13. Новый способ модифицирования силуминов стронцием / Б. М. Немененко, А. П. Бежок, А. С. Калиниченко, Н. П. Жвавый // Теория и технология производства отливок из сплавов цветных металлов. — Владикавказ, 1991. — С. 94—95.

14. *Davami P., Chafelehhashi M.* Strontium as a modifying agent for Al—Si eutectic alloy // Brit. Foundryman. — 1979. — № 1. — P. 4—7.

15. *Closset B. M., Kitaoka S.* Bewertung von strontiumhaltigen Veredelungslegierungen für Al—Si—Gußwerkstoffe // Giesserei Praxis. — 1988. — № 11. — S. 144—151.

16. *Katgerman L., Sluiter M. H. F.* Development of Al—Sr alloys suitable for in-line modification // Solidif. Proc. '87: Proc. Int. 3rd Conf., Sheffield. — London, 1988. — P. 482—484.

17. *Куцова В. З., Скрипченко О. А., Гергард В. А.* Повышение качества отливок из силуминов путем дегазации алюминиево-стронциевой лигатуры // Неметаллические включения и газы в литейных сплавах: Тез. докл. — Запорожье, 1988. — С. 322—323.

18. Роль кинетики растворения интерметаллидов при легировании алюминиевых сплавов титаном / И. В. Поленц, И. Г. Бродова, Д. В. Башлыков и др. // Расплавы. — 1995. — № 6. — С. 23—31.

УДК 621.746

О. С. КОМАРОВ, докт. техн. наук,  
В. М. КОРОЛЕВ, канд. техн. наук,  
Д. О. КОМАРОВ, Г. Ф. ЛИВШИЦ,  
В. В. МЕЛЬНИЧЕНКО, канд. физ.-мат. наук (БГПА)

## ВЫСОКОХРОМИСТЫЙ ЧУГУН КАК МАТЕРИАЛ ДЛЯ СЕДЕЛ КЛАПАНОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Седла клапанов относятся к числу тяжело нагруженных деталей двигателей внутреннего сгорания, и это определяет требования к материалам для их изготовления:

- 1) повышенная твердость и способность сохранить ее при рабочих температурах;
- 2) хорошая коррозионная стойкость к горячим агрессивным газам;
- 3) высокая усталостная прочность;
- 4) достаточная теплопроводность, обеспечивающая быстрый отвод теплоты от рабочей фаски;

- 5) жаропрочность и жаростойкость, отсутствие склонности к схватыванию с материалом клапана;
- 6) высокая стойкость против ударного действия тарелки клапана;
- 7) хорошая сопротивляемость механическому износу при сухом трении;
- 8) технологичность изготовления;
- 9) удовлетворительная обрабатываемость.

Всеим этим требованиям отвечает высокохромистый чугун (ВХЧ) [1], свойства которого можно изменять в широких пределах термической обработкой [2].

Работы по выбору состава ВХЧ для отливки заготовок седел клапанов проводили в два этапа. На первом этапе определили пределы изменения основных элементов: углерода, хрома и кремния, на втором — методом математического планирования уточнили содержание дополнительных легирующих элементов.

Критериями для проверки влияния химических элементов на свойства сплава были выбраны твердость HRC и износостойкость.

Исходные образцы цилиндрической формы диаметром 25 и высотой 55 мм отливали в формы, изготовленные из жидкостекольной самотвердеющей смеси. Для большей достоверности отливались четыре образца одного химического состава. Плавку чугуна осуществляли в печи ИСТ-0,04 с кислой футеровкой. Заливку производили из ковша емкостью 5 кг при температуре 1400 °С.

В соответствии с планом, выполненным с привлечением методов математического планирования эксперимента [3, 4], отлили 19 образцов различного химического состава, в которых содержание основных и легирующих элементов, % (по массе), изменяли в соответствии с таблицей 1.

Для сравнения были проведены два типа отжига на каждом из составов. Первый многоступенчатый отжиг — нагрев до температуры 800 °С, выдержка в течение часа, после чего температуру повышали до 1100 °С и выдерживали в течение четырех часов, затем шло охлаждение с печью до 600 °С, выдержка 1 ч, нагрев до 800 °С, выдержка 2 ч и далее охлаждение со скоростью 50 °С в час до 600 °С. Второй тип термообработки упрощенный — нагрев до 800 °С, выдержка в течение четырех часов, затем охлаждение в интервале температур 800—600 °С по 50 °С в час, после чего охлаждение с печью.

Термообработанные образцы зачищали для измерения твердости, производили замеры, после чего взвешивали и помещали на

Состав опытных образцов

№ п/п	Химический элемент							
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W
1	3,90	1,75	0,985	17,01	0,565	0,894	0,0377	0,0356
2	3,85	1,83	1,34	17,23	1,09	0,140	0,0392	0,0923
3	3,70	1,91	0,549	17,57	0,0943	0,668	0,0387	0,0273
4	3,79	1,87	0,535	18,49	0,147	0,866	0,0404	0,0385
5	2,63	1,16	0,922	5,86	0,290	0,326	0,131	0,386
6	2,42	1,70	1,19	5,25	0,239	0,297	0,107	0,828
7	2,36	1,39	0,477	5,19	0,334	0,400	0,105	0,374
8	3,80	1,88	0,713	4,59	0,699	0,158	0,116	0,460
9	3,90	6,30	1,79	14,44	0,104	0,350	0,0351	0,317
10	3,34	2,28	1,44	17,40	0,155	0,0910	0,831	0,344
11	1,85	1,73	0,520	16,23	0,905	0,980	0,471	0,555
12	2,11	1,77	0,460	17,14	0,923	0,149	0,105	0,0963
13	1,85	1,37	1,18	5,34	0,912	0,317	0,112	0,374
14	1,66	1,40	1,11	5,39	0,395	0,841	0,110	0,416
15	1,62	1,44	0,579	5,13	0,335	0,254	0,134	0,559
16	1,62	1,37	0,784	6,02	0,448	0,817	0,195	0,380
17	2,35	1,81	0,759	5,12	0,280	0,267	0,854	0,281
18	1,54	1,30	0,849	6,09	0,523	0,839	0,280	0,443
19	1,68	1,35	0,722	5,98	0,500	0,816	0,144	0,396

стенд для испытаний на износ [5]. Данные по твердости для двух типов термообработки приведены на рис. 1, а по износу — на рис. 2.

Из полученных данных можно вывести следующие регрессивные зависимости.

Регрессивная зависимость твердости от содержания легирующих и основных элементов имеет вид для образцов, отожженных по первому режиму термообработки:

$$Y = 31,927 + 0,56771 C + 2,90104 Cr + 1,70313 Mn + 0,38021 Ni - 3,4014 Mo - 3,82813 V + 4,22396 W;$$

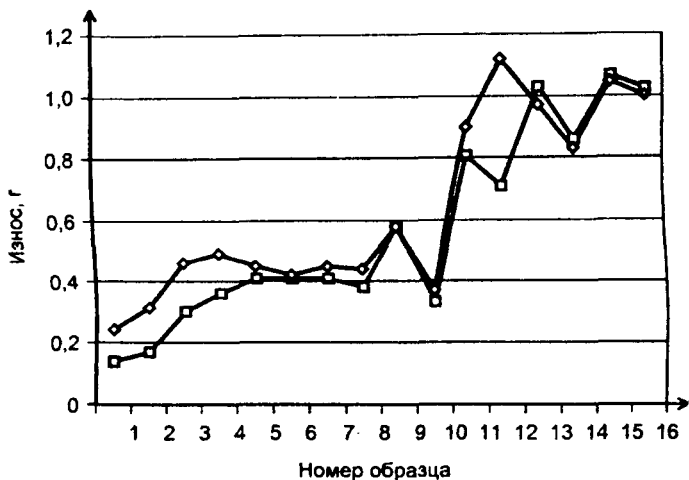


Рис. 1. Износ образцов:

—◇— — первый тип ТО; —□— — второй тип ТО

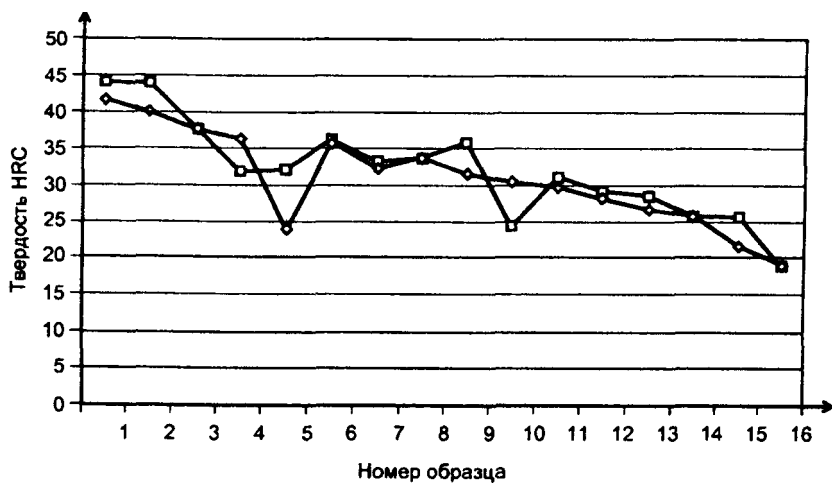


Рис. 2. Твердость образцов:

—◇— — первый тип ТО; —□— — второй тип ТО

по второму:

$$Y = 32,104 + 0,354 C + 2,813 Cr + 1,771 Mn + 1,604 Ni - 2,521 Mo - 3,771 V + 3,146 W.$$

Регрессивная зависимость потери массы от содержания легирующих и основных элементов имеет вид:

для первого режима термообработки:

$$Y = 0,6294 - 0,2219 C - 0,0719 Cr - 0,1094 Mn + \\ + 0,0069 Ni + 0,0281 Mo + 0,0044 V - 0,0244 W;$$

для второго:

$$Y = 0,5613 - 0,2400 C - 0,1375 Cr - 0,0713 Mn + \\ + 0,0313 Ni + 0,0013 Mo - 0,0163 V + 0,0012 W.$$

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать следующие выводы.

1. Второй режим обеспечивает более высокий исходный уровень твердости и износостойкости.

2. Углерод, хром, марганец, никель и вольфрам для обоих режимов термической обработки способствуют увеличению твердости, но степень этого влияния различна, особенно для углерода и никеля. Увеличение содержания углерода вызывает более крутой подъем твердости при первом режиме ТО, а рост содержания никеля — при втором режиме.

3. В основном наблюдается прямая зависимость между влиянием легирующего элемента на твердость и износостойкость. Исключение составляет никель, который, повышая твердость, несколько снижает износостойкость.

4. Характерно влияние вольфрама, который, резко повышая твердость, практически не оказывает влияния на износостойкость.

Твердость 40—42 HRC может быть обеспечена при использовании приведенных режимов ТО, если чугуны содержат, % (по массе): 2,5—3,0 C; 6—9 Cr; 1,0—1,5 Mn. Содержание остальных элементов может быть желательным исходя из стабильности показателей твердости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Комаров О. С., Ходосевич В. Г., Урбанович Н. И. Исследование механических свойств высокохромистых чугунов // *Металлургия*. — Мн., 1987. — Вып. 21. — С. 81—82.

2. Комаров О. С., Ходосевич В. Г., Урбанович Н. И. Влияние режимов термической обработки на структуру и свойства высокохромистого чугуна // *Республ. науч.-техн. конф.* — Днепропетровск, 1986. — С. 81—83.

3. Налимов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. — М.: Наука, 1963. — 320 с.

4. Новик Ф. С. Математические методы планирования эксперимента в металлведении. — М.: МИСИС, 1972. — 106 с.

5. Комаров О. С., Сусина О. А., Садовский В. М. Особенности механизма изнашивания высокохромистого чугуна // Вести Национальной академии наук Беларуси. — 2000. — Вып. 1.

УДК 621.762

**В. Н. КОВАЛЕВСКИЙ**, докт. техн. наук,  
**А. В. КОВАЛЕВСКАЯ**, канд. техн. наук,  
**И. А. ПАРФЕНЕНКО** (БГПА)

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНЫХ МЕТОДОВ НАГРУЖЕНИЯ**

Уникальные физические и механические характеристики нанометрических керамических порошков сочетаются с относительно низкими технологическими свойствами. Поэтому традиционные технологии получения высокоплотной конструкционной керамики на основе карбида и нитрида кремния используют процесс горячего прессования или прессование при высоких давлениях. Температура спекания керамических материалов составляет около 2000 °С. Процесс формования предусматривает наличие в шихте технологических добавок, которые удаляются при нагреве керамических образцов перед спеканием. Температура спекания снижается введением добавок, которые активируют процесс спекания [1—5].

Взрывной импульсный способ прессования керамических материалов имеет ряд преимуществ перед традиционными способами уплотнения. Например, при контактной схеме нагружения, изменяя тип взрывчатого вещества, величину заряда, рабочую среду, получают давление от единиц до сотен килобар.

Взрывная обработка керамических порошков сопровождается эффектами активации поверхности. Следовательно, предложенный метод может быть использован как технологическая операция подготовки порошков к процессам формования и спекания. При правильно подобранных режимах метод позволит не только снизить температуру спекания, но и отказаться от применения активирующих добавок.

Разработанные технологии и оборудование для горячего импульсного вакуумного прессования, процессов сварки, упрочняющей термической и механической обработки позволили получить