

УДК 621. 762. 5

**Н. М. Прокопив**, канд. техн. наук; **В. П. Бондаренко**, чл.-корр. НАН Украины;  
**О. В. Харченко**, инж.; **Лошак М. Г.**, докт. техн. наук; **Александрова Л. И.**,  
канд. техн. наук

*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина*

## **ВЫСОКОПРОЧНЫЙ МЕЛКОДИСПЕРСНЫЙ ТВЕРДЫЙ СПЛАВ ИН45**

*In work characteristics of structures, physicomechanical properties of a new alloy ИН45, received of a standard mix with use of some "know-how" which, on density, coercitive force, resistance to viscous destruction match to a medium-grained alloy, on hardness finely divided to an alloy, and on mechanical durability to coarse-grained alloy ВК8 are reduced.*

Машиностроительные предприятия Украины для изготовления широкой номенклатуры деталей из высоколегированных сталей и чугунов используют литье, а для восстановления изношенных после эксплуатации рабочих поверхностей деталей – различного рода наплавочные материалы. Черновая фрезерная обработка наплавленных деталей в больших объемах производится напайным инструментом, оснащенным твердым сплавом ВК8, изготавливаемым предприятиями России. Массовое производство такого инструмента осуществляется путем использования твердосплавных пластин, изготавливаемых по традиционной технологии спекания в водородной среде, которая не позволяет получать твердые сплавы без крупных пор и объемной пористости, допускаемых ГОСТ, но существенно снижающих работоспособность пластин в условиях эксплуатации. Проблема заключается также в том, что закупка пластин, изготовленных в России, обходятся дешевле, чем приобретение твердосплавных смесей и изготовление из них пластин по отечественной технологии. Одним из путей решения вышеперечисленных проблем могло бы стать создание новой марки твердого сплава, который имел бы существенное преимущество по сравнению с импортным сплавом ВК8 по твердости, прочности и вязкости, так как хорошо известно, что твердосплавный инструмент для черновой обработки высоколегированных сплавов должен обладать высокой механической прочностью, твердостью и вязкостью, а также низкой адгезией к обрабатываемому материалу.

Обычно повышение твердости сплавов достигается уменьшением размера зерна карбидной фазы [1], что при существующей технологии производства твердых сплавов одновременно приводит к снижению его механической прочности и трещиностойкости [2]. В то же время известно, что с уменьшением размера карбидного зерна снижается доля адгезионного износа твердосплавного инструмента, особенно при резании вязких высоколегированных сплавов [3]. Технология получения мелкозернистых твердых сплавов включает в себя операцию длительного размола порошковой смеси в различных дробильных аппаратах [4] и использование ингибиторов роста карбидных зерен в процессе спекания [2], что в конечном итоге усложняет технологию изготовления изделий и обуславливает повышение их стоимости.

В данной работе в качестве основы для изготовления новой марки твердого сплава была принята стандартная смесь ВК8 производства Кировоградского завода твердых сплавов (КЗТС) выпуска 2006 г. За счет технологических приемов были получены образцы сплава ИН45, существенно отличающиеся по физико-механическим характеристикам от стандартных образцов сплава ВК8, изготовленных из той же смеси по обычно принятой технологии с использованием спекания в водородной среде. Одновременно исследовали пластины из сплава ВК8, изготовленные производственным комбинатом «Победит» (Россия), которые

используются для фрезерования деталей, полученных литьем, на ОАО «Азовмаш» и других предприятиях Украины.

Исследования структуры и физико-механических свойств перечисленных выше материалов проводили на образцах – штабиках размером 5×5×35 мм и на режущих пластинах. Металлографический анализ образцов и пластин выполняли в соответствии с ГОСТ 9391-80 на оптических микроскопах, а также на растровом электронном микроскопе «Cam-Scan-4D».

Плотность, коэрцитивную силу, твердость и прочность при изгибе определяли по стандартным методикам. Трещиностойкость устанавливали по величине критического коэффициента интенсивности напряжения  $K_{IC}$  на образцах размером 4,50×4,50×35 мм с надрезом 1,5 мм на одной грани, выполненном на электроискровом станке вольфрамовой проволокой диаметром 0,06 мм. Динамическую прочность образцов определяли на вертикальном копре с падающим со скоростью 3 м/с грузом. Образцы для этих испытаний представляли собой диски диаметром 8 мм и высотой 2,1 мм [5].

Характеристики прочности и пластичности сплавов при сжатии определяли на образцах размером 12×4,5×4,5 мм. Испытания проводили на универсальной испытательной машине УТС-100 (Германия), обеспечивающей компьютерную запись кривой нагружения.

Результаты исследования структуры материалов представлены в табл. 1.

Как видно из таблицы, параметры структуры сплавов, изготовленных на комбинате «Победит», и спеченных в ИСМ по серийной технологии, соответствуют ГОСТ для среднезернистых сплавов. В структуре сплава ИН45 отсутствуют крупные поры размером более 50 мкм. Карбидные зерна характеризуются меньшим количеством интервалов по размеру. Средний размер зерна WC, равный 1,8 мкм, свидетельствует о том, что сплав по размеру карбидных зерен можно отнести к мелкозернистым сплавам группы М. Следует также отметить, что толщина кобальтовой прослойки для стандартных сплавов составляла 0,5–1,0 мкм, а для сплава ИН45 – до 0,5 мкм.

**Таблица 1. Характеристики структуры сплава ВК8 и ИН45**

Марка твердого сплава	Объемная доля пор, %	К-во и размер пор $d > 50$ , мкм	Распределение зерен по фракциям, мкм, %						$D_{wc}$ , мкм
			1	2	3	4–5	6–7	8–10	
ВК8 (ИСМ)	Д1 0,1	1×54	49	19	14	10	5	3	2,3
ВК8*	Д1, 0,2	1×55; 1×73	46	17	15	9	10	3	2,4
ИН45	В1 0,1	Нет	54	23	11	6	5	–	1,8

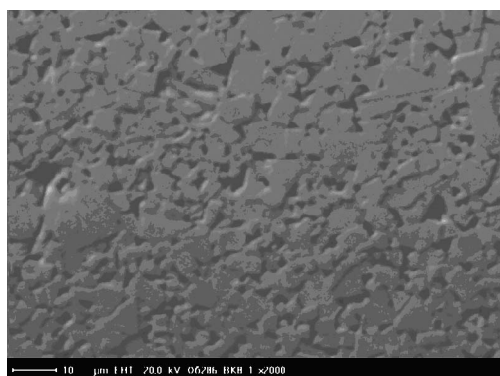
\* Твердый сплав производства комбината «Победит», переданный из ОАО «Азовмаш».

Полученные на электронном микроскопе фотографии микроструктур твердых сплавов ИН45 и ВК8, спеченного в ИСМ, подтверждают (рис.1), что структура нового сплава ИН45 является более дисперсной, а некоторая часть карбидных зерен в отличие от сплава ВК8 имеет в меньшей степени выраженную трех- и четырехугольную форму.

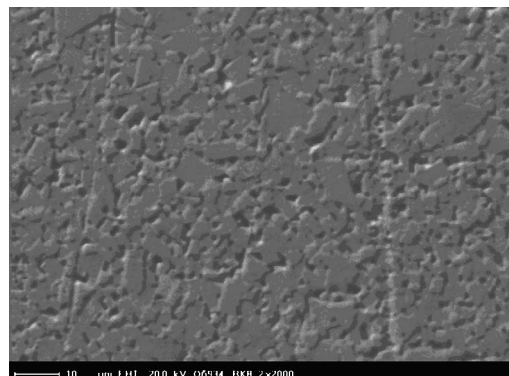
Это приводит к более равномерному распределению кобальтовой фазы и уменьшению ее размера до 0,5 мкм. Микроструктура сплава ВК8 производства комбината «Победит» в настоящей работе не приведена, так как она полностью аналогична микроструктуре сплава ВК8, изготовленного в ИСМ.

Физико-механические свойства сплавов ВК8 и ИН45 приведены в табл. 2 и 3. Из таблиц видно, что сплавы серийного производства имеют характеристики, соответствующие среднезернистому сплаву. Для сплава ИН45 характерны повышение твердости, предела прочности при изгибе, динамической прочности и прочности при сжатии. В то же время пластические характеристики, определенные при испытании на сжатие, указывают на некоторое

снижение пластичности сплава ИН45 по сравнению со сплавом ВК8. Вероятно, это связано с уменьшением толщины кобальтовых прослоек. Однако это уменьшение не сказалось на величине трещиностойкости.



а



б

Рис. 1. Микроструктуры сплава ИН45 (а) и серийного сплава ВК8 (б), спеченного в ИСМ НАН Украины.  $\times 2000$ .

Величина критического коэффициента интенсивности напряжений оказалась одинаковой для всех трех сплавов.

Таблица 2. Характеристики сплавов ВК8 и ИН45 при изгибе

Марка сплава	Плотность $\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	Коэффициентная сила $H_{CM}$ , Ка/м	Предел прочности при изгибе $R_{bm}$ , МПа	Динамическая прочность $\sigma^{\delta c}$ ср., МПа **	Критический коэффициент интенсивности напряжений $K_{IC}$ , МПа $\cdot$ м <sup>1/2</sup>	Твердость	
						HRA	HV 30 МПа
ВК8	14,76	9,5	2050	620	13,5	88,7	13,7
ВК8*	14,69	8,4	2030	–	13,6	88,3	13,5
ИН45	14,79	9,5	2280	670	13,6	89,4	14,1

\*\* Результаты получены д. т. н. Девиным Л. Н.

Таблица 3. Характеристики сплавов ВК8 и ИН45 при сжатии

Марка сплава	Предел текучести $R_{Co,1}$ , МПа	Предел прочности $R_{CM}$ , МПа	Удельная работа пластической деформации $A_{пл.уд}$ , МДж/м <sup>3</sup>	Полная работа деформации $A_{полн.уд}$ , МДж/м <sup>3</sup>	Пластическая деформация $\epsilon_{пл}$ , %	Полная деформация $\epsilon$ , %
ВК8*	3620	4260	39,0	70,0	0,8	1,6
ИН45	3850	4310	24,6	54,4	0,6	1,3

### **Выводы**

Таким образом, можно сделать заключение, что изготовленный новый материал IN45 обладает достаточно высокими механическими характеристиками по сравнению со сплавом ВК8 и может быть рекомендован для лезвийной черновой и получистовой обработки литья, поковок, наплавов, в том числе для фрезерования крупномодульных зубчатых венцов шаровых мельниц, восстановленных с применением наплавки.

### **Литература**

1. Андриевский Р. А., Глезер А. М. Размерные эффекты в нанокристаллических материалах. II. Механические и физические свойства // Физика металлов. –2001. –Т. 2. – С. 462.
2. Фальковский В. А., Клячко Л. И. Твердые сплавы. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2005. – 416 с.
3. Лепилин В. И., Волков А. Н, Чернов И. Д. Исследование эффективности новых марок твердых сплавов при точении жаропрочного сплава ЭП693ВД // Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов. – Куйбышев. – Вып. 5. – С. 25–27.
4. Артемьев Г. Я., Артемьева Е. В. Современные технологии и оборудования для сверхтонкого измельчения керамики, используемых при производстве керамики // Конструкции из композиционных материалов. Технол. серия. – 1995. – № 1. – С. 67–69.
5. Девин Л. Н., Панов В. С., Сулима А. Г. Модернизация установки для динамических испытаний хрупких материалов // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып. 7. –Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины. – 2004. – С. 280–283.

*Поступила 07.07.2006 г.*