

А.И. Аникеев, канд. техн. наук, А.С. Верещака, д-р техн. наук,  
И.В. Кобицкой, канд. техн. наук, Н.Б. Кобицкая,  
А.А. Козлов, К.В. Крючков, Москва, Россия

## **РАЗРАБОТКА НОВЫХ МАРКОВ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ**

*В роботі розглянуті основні аспекти розробки ультрамелкодисперсних твердих сплавів, дані деякі рекомендації щодо їх застосування.*

*В работе рассмотрены основные аспекты разработки ультрамелкодисперсных твердых сплавов, даны некоторые рекомендации по их применению*

*In the present article the basic aspects of working out especially ultrafine-dispersed are considered and some recommendation about their application are made.*

### **1. Введение**

Твердые сплавы (ТС) являются основным инструментальным материалом, обеспечивающим высокопроизводительную обработку материалов. По данным работы [1] в странах Евросоюза до 55-60 % режущего инструмента, применяемого для обработки резанием различных конструкционных материалов, составляют твердосплавные инструменты, которыми при обработке различных материалов удаляется до 65 - 75% стружки. Последнее обусловлено тем, что скорость резания твердосплавных инструментов в 2-10 превышает соответствующий параметр для инструментов из быстрорежущей стали.

Твердые сплавы обладают рядом ценных свойств, основными из которых являются высокая твердость (HRA 82 – 92), сохраняемая при нагреве до 700 – 1000 °С, большое значение модуля упругости ( $E=500-700$  ГПа) и предела прочности при сжатии ( $\sigma_b = 6000$  МПа) (таблица 1).

Относительно невысокая прочность при изгибе ( $\sigma_{и}=1000-2500$  МПа) и ударная вязкость твердые сплавы не являются лимитирующими факторами, так как способны сохранять достаточно высокую твердость и сопротивляемость термопластическому деформированию при температурах резания. Благоприятное сочетание физико-механических и теплофизических свойств твердые сплавы обеспечивает инструменту высокую пластическую прочность и повышенную сопротивляемость изнашиванию.

Стандартные твердые сплавы состоят из карбидов (титана, вольфрама, тантала и др.) и связки (кобальт, никель, молибден и др.). Связка предназначена для закрепления и удержания зерен хрупких карбидов и придания сплаву определенных прочностных свойств. Поэтому с ростом содержания карбидов увеличивается твердость, теплостойкость и износостойкость, а с ростом содержания связки увеличивается вязкость и прочность сплава, что предо-

пределяет достаточно узкую область применения всей номенклатуры марок твердые сплавы предназначенных для обработки резанием. Большое влияние на режущие свойства твердые сплавы оказывает структура, размер зерен и количество в сплаве свободного и связанного углерода. Эти параметры сплава строго контролируют технологически, обеспечивая стабильный уровень заданных режущих свойств.

Таблица 1 – Обобщенные значения свойств основных групп инструментальных материалов

Материал	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	HRA, не менее	HV, М	$\sigma_n$	$\sigma_{сж}$	$KCU \cdot 10^5$ Дж/м <sup>2</sup>	Тепло-стой-кость, °С	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$\alpha \cdot 10^5$ , 1/°С	$E \cdot 10^3$ , МПа
				МПа						
Быстрорежущая сталь	7,9-8,75	До 80	—	До 4000	До 4400	До 6,5	До 715	16,75— 25,12	9,0— 12,0	21
Твердые сплавы	9,5-15,3	87— 92	17000 - 24000	До 1660	До 5900	24,51— 58,8	800— 1000	16,75— 87,92	3,0— 7,5	500
БВТС (керметы)	4,4-4,7	До 95,3	19000	До 980	До 5600	До 19,6	1400	25,12— 83,70	7,2— 7,5	350
Режущая керамика (оксидная)	3,6-4,0	До 94	3000 0	До 950 Д	До 3000	4,9- 11,76	2000	4,2 —21,0	6,3— 9,0	400
Кубический нит-	3,45	—	60000 -80000	До 1000	До 6500	—	1500	—	—	720
Алмазы синтетические	3,48- 3,56	—	100000	До 300	До 2000	—	800	138,2 — 146,5	0,9— 1,9	900

В настоящее время основные тенденции совершенствования твердых сплавов осуществляют по следующим направлениям: • разработка мелко- и ультрадисперсных сплавов, обладающих более сбалансированным сочетанием твердости и вязкости по сравнению со сплавами нормальной зернистости;

• создание сплавов со связками повышенной жаропрочности и сопротивляемостью вязкому разрушению при повышенных термомеханических напряжениях (например, на основе Со легированного Re и Ru); • разработка экономнолегированных безвольфрамовых твердых сплавов с никельмолибденовыми связками (керметы), не содержащих дорогостоящих и дефицитных элементов (W, Co, Ta); • создание композиционных твердых сплавов со сбалансированным сочетанием твердость/вязкость и расширенной областью применения, содержащих твердосплавный субстрат (монолитный или слоистый) и функциональное покрытие.

Марки твердых сплавов нового поколения предназначены для решения совокупности технологических задач, связанных с: • широким применением сухого высокоскоростного резания;

• обработкой материалов повышенной твердости и жаропрочности (труднообрабатываемые материалы); • изготовлением высокоэффективных цельнотвердосплавных сложнопрофильных режущих инструментов (сверла, концевые фрезы, метчики и т.д.).

## 2. Задачи, методика и результаты исследований

В ФГУП «ВНИИТС» в содружестве с рядом технических университетов России последние десятилетия проведены научные исследования, направленные на разработку нового поколения высокоэффективных марок твердых сплавов. В частности разработана гамма твердых сплавов с мелкой, особомелкой - и ультрадисперсной структурой для резания различных материалов – сложнелегированных сталей повышенной твердости жаропрочности и коррозионной стойкости, труднообрабатываемых сплавов на  $Ti - Ni$  - основах, дерева [2-3].

Для изготовления твердых сплавов с ультрадисперсной структурой (размер средней фракции зерна менее 0,5 мкм) разработана специальная технология, сдерживающая рост размеров зерна при спекании исходных компонентов порошковой смеси  $W$ ,  $WC$ ,  $Co$  заданного гранометрического состава и зернистости [3].

При разработке технологии производства ультрадисперсных твердых сплавов особое внимание уделяли однородности распределения легирующих элементов типа  $Cr_3C_2$ ,  $VC$ ,  $TaC$  в порошковых смесях и способу их введения в сплавы группы  $WC-Co$ , так как эти факторы оказывают сильное влияние на микроструктуру и физико-механические свойства спеченных твердых сплавов. Установлено, что наибольшее влияние на повышение однородности распределения легирующих элементов в порошковой смеси оказывают  $Cr$  и  $V$ , которые, кроме того, выполняют роль ингибиторов коагуляции зерен на стадиях спекания и приготовления шихты для карбидизации вольфрама [3].

На основе рассмотренной технологии разработаны сплавы группы « $BX$ », у которых до 70 % зерен  $WC$  имеют средние размеры менее 0,5 мкм, что соответствует классификации «особомелкодисперсные». Особенно следует отметить, что твердые сплавы группы  $BX$  не содержат в своем составе дорогостоящих и дефицитных карбидов тантала и ниобия, что резко снижает себестоимость их производства и конечную цену продукции, в то время как в мировой практике производства особомелкодисперсных твердых сплавов широко используют карбиды вольфрама легированные танталом ( $Ta$ ) и ниобием ( $Nb$ ), заметно увеличивающие стоимость конечной продукции.

Особомелкодисперсные сплавы  $BX$  обладают: • высокой твердостью и износостойкостью при одновременно повышенной прочности при изгибе от-

носителю стандартных марок твердых сплавов группы WC-Co (BK) с одинаковым содержанием кобальта; • способностью при оптимальных условиях заточки инструмента (пластин или цельнотвердосплавного инструмента) обеспечивать радиус округления режущей кромки  $\rho$  в пределах 2-5 мкм т.е. (соизмеримо с радиусом  $\rho$  для быстрорежущего инструмента); • кристаллохимическим строением, способствующим получению более высокого качества инструмента при нанесении функциональных покрытий (высокая прочность адгезии, супермелкодисперсная структура покрытия с высокой износостойкостью и т.д.).

В настоящее время разработана следующая гамма марок твердых сплавов группы ВХ - *BK3BX, BK6BX, BK8BX, BK10BX и BK15BX*, что практически полностью перекрывает области применения стандартных марок сплавов группы BK (*WC-Co*, области применения K01-K40; M05 – M40, S10-S30, H10-H30 стандарт ISO 513:2004-07).

Анализ данных микроструктурных исследований (рис.1) позволил установить, что сплавы группы ВХ обладают зерновой микроструктурой соответствующей классификации «ультрамелкодисперсная» с размерами средней зерновой фракции в пределах 0,4 - 0,5 мкм.

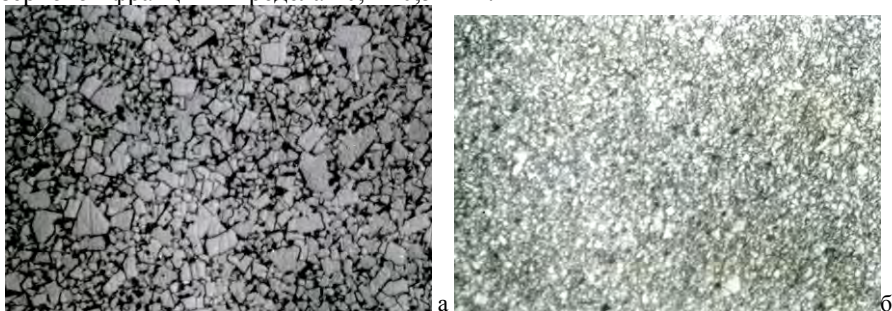


Рисунок 1 – Микроструктура стандартного сплава BK8 (а) и особомелкозернистого сплава BK8BX (б) (x1000).

Основные физико-механические свойства сплава BK8BX представлены в табл. 2.

Разработанные марки сплавов ВХ имеют повышенные физико-механические, а также возможность создавать при изготовлении инструмента из сплавов ВХ очень «острую» режущую кромку с достаточной прочностью режущего клина инструмента.

Инструменты из сплавов ВХ с радиусом округления режущей кромки 3-5 мкм соизмеримого с радиусом округления кромки для инструмента из быстрорежущей стали позволяет не только обеспечить значительное повышение стойкости режущего инструмента (времени наработки на отказ) по сравнению с твердыми сплавами стандартной зернистости для технологиче-

ских операций чистовой и получистовой непрерывной и прерывистой обработки при резании материалов повышенной твердости (чугуны) и прочности (труднообрабатываемые жаропрочные хромоникелевые и титановые сплавы), но и использовать сплавы *ВХ* в областях применения несвойственных для стандартного твердосплавного инструмента. К таким областям можно отнести суперчистовые операции резания материалов с низкими технологическими свойствами по обрабатываемости со снятием микронных срезов, а также деревообработку.

Таблица 2 – Основные физико-механические свойства сплавов ВК8 и ВК8ВХ

Марка сплава	Плотность, $\rho \cdot 10^{-3}$ г/см <sup>3</sup>	Коэффициентная сила, <i>H</i>	Твердость, <i>HRA</i>	Прочность при изгибе $\sigma_{из}$ , МПа
ВК8	14,4 – 14,8	200	87,5	1666 - 1700
ВК8ВХ	14,62	227	91,5	1998,2

Сплавы ВК8ВХ (область применения К30, ISO 513) рекомендуется использовать для оснащения деревообрабатывающего инструмента, предназначенного для обработки деревостружечных плит с пленочным покрытием, широко применяемых в строительной индустрии или при производстве мебели. В частности, широкое применение получили дисковые пилы оснащенных пластинами из ВК8ВХ, напаивание которых на стальную заготовку осуществляют специальным припоем на основе меди при температурах 800 °С .

Таблица 3 – Рекомендуемые режимы резания для пил, предназначенных для раскроя деревостружечных плит.

Марка сплава	Обрабатываемый материал	Диаметр пилы, мм	Частота вращения пилы, об/мин	Скорость резания, м/мин
<b>ВК6ВХ</b>	Деревостружечная плита, облицованная пластиком	380 - 560	2500	20
<b>ВК8ВХ</b>	Деревостружечная плита, с двухсторонним декарирующим покрытием синтетической пленкой	560	2875	30
	Деревостружечная плита, без покрытия	560	2875	30 - 35

Сплавы ВК3ВХ (область применения К01-К05, ISO 513) рекомендуется использовать для обработки деревостружечных плит, облицованных пласти-

ком, что обеспечивает высокое качество «реза» без выкрашиваний, задиров и других дефектов, наиболее характерных деревообработке.

В табл. 3 представлены рекомендуемые режимы обработки деревостружечных плит дисковыми пилами, оснащенными пластинами из ВК6ВХ и ВК8ВХ.

Исследования стойкости инструмента (времени наработки на отказ), оснащенного твердосплавными пластинами ВХ на режимах резания, показанных в таблице 3, позволяют отметить следующее. Эксплуатационная стойкость прорезных дисковых фрез, оснащенных пластинами из сплава ВК8ВХ, при обработке коллекторов электрических машин в 2,7 раза превысила стойкость фрез из сплава ВК8 и более чем в 40 раз - стойкость прорезных фрез из быстрорежущей стали *P18*.

Пилы, оснащенные пластинами ВК8ВХ при раскрое древесных плит с двухсторонним декорированием синтетической пленкой обеспечивали до перезаточки обработку не менее 1000 погонных метров при высоком качестве обработанных изделий. Перезаточка изношенной режущей части пилы мелкозернистыми алмазными кругами 50% концентрации на бакелитовой связке Б2 полностью исключает появление прижогов на пластинах и обеспечивает полноценное восстановление режущих свойств инструмента на уровне исходных фрез, что обеспечивает дальнейшую высокоэффективную эксплуатацию инструмента.

Инструменты, оснащенные сменными многогранными пластинами (СМП) из сплавов группы ВХ с нанодисперсными многослойно-композиционными покрытиями также рекомендуются для обработки резанием труднообрабатываемых титановых и жаропрочных никелевых сплавов, используемых в авиационном и атомном машиностроительных производствах [4-6]. В частности инструменты, оснащенные СМП из сплавов ВК6ВХ, ВК8ВХ, ВК10ВХ с нанодисперсными многослойно-композиционными покрытиями «Циркон-2», «Тихромалюминит 1 и 2» обеспечивали повышение стойкости инструмента до 2,5 раз по сравнению со стойкостью инструмента с СМП из стандартных сплавов ВК6, ВК6ОМ, ВК8, ВК10ХОМ с покрытием при обработке титановых сплавов (точение фрезерование), а до 1,5-2,0 раз при резании наиболее труднообрабатываемых никелевых и хромоникелевых сплавов авиационного двигателестроения. Следует отметить, что при проведении стойкостных испытаний использовали также инструменты, оснащенные СМП с покрытием рекомендованных лучшими мировыми производителями твердосплавного инструмента для резания труднообрабатываемых материалов, результаты которых показали высокую эффективность инструмента, оснащенного СМП из сплавов ВХ с покрытием.

## Заключение

Разработаны особомелкозернистые сплавы группы *WC-Co BX* для обработки различных материалов резанием, отличающиеся от стандартных марок сплавов *WC-Co* повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Сплавы группы *BX* имеют более сбалансированное соотношение между твердостью (износостойкостью) и вязкостью (прочностью при изгибе), особомелкодисперсную зерновую структуру (средняя фракция зерна составляет 0,3-0,5 мкм), высокую однородность зерновой структуры и стабильность основных свойств, что позволяет прогнозировать их широкое применение для резания труднообрабатываемых материалов, чистовых и суперчистовых операций резания со снятием микронных стружек, а также для деревообработки взамен инструмента из быстрорежущих сталей и стандартных твердых сплавов.

Применение инструмента из сплавов *WC-Co BX* в операциях деревообработки позволяет не только снизить расходы на режущий инструмент, что обусловлено чрезвычайно высокой стойкостью инструмента из сплавов *BX* по сравнению со стандартными инструментами, но и заметно повысить качество обработки.

Сплавы *BK6BX*, *BK8BX*, *BK10BX* обеспечивают высокую эффективность обработки резанием труднообрабатываемых материалов авиационного двигателестроения не только по сравнению с рекомендованными сплавами группы *BK* (*Wc-TaC-Co*), но и сплавами ведущих производителей из технологически развитых стран.

**Список использованных источников:** 1. Верещака А.С. Некоторые тенденции совершенствования технологической производственной среды //СТИН. – 2005. - № 8. С.12-18. 2. Панов В.С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них./ В.С. Панов, А.М. Чувилин, В.А. Фальковский. // М. – Изд. МИСиС, 2004. С.240. 3.Кобицкой И.В. Исследования особомелкозернистых твердых сплавов группы *WC-Co*, легированных карбидами тугоплавких металлов (*Cr, V*) /И.В. Кобицкий, А.И. Анисеев, Н.В. Терновская, Л.И. Клячко // Цветные металлы. – 1998. - № 8. С. 58-60.4. Верещака А.С., Верещака А.А. Функциональные покрытия для режущего инструмента// Упрочняющие технологии и покрытия. М. № 6. – 2010. С.28-43. 5.Vetter J., Krug T., von der Heide V.. AlTiCrNO coatings for dry cutting deposited by reactive cathodic vacuum arc evaporation. *Surface & Coatings Technology* 174 –175 (2003) 615–619.(In English). [6] Cselle T. Nanostrukturierte Schichten in der Werkstoff. Platit AG. Warkzeugtagung 2002.(In German) 7. Metel A.S.; Grigoriev S.N.; Melnik Yu.A.; et al. Glow discharge with electrostatic confinement of electrons in a chamber bombarded by fast electrons // *Plasma physics reports*. 2011. Vol.37, № 7, pp. 628-637.

*Поступила в редколлегию 15.05.2012*