

Соронбаев О.  
Институт физико-технических проблем и материаловедения  
им. Ж.Ж. Жээнбаева  
НАН КР, 720071, Кыргызстан, Бишкек, пр. Чуй 265-а

### НАПРЯЖЕННО–ДЕФОРМАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВД ПРИ СИНТЕЗЕ АЛМАЗА И ИХ КРИТЕРИИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Промышленное освоение технологии синтеза алмазов и других сверхтвердых материалов стало возможным благодаря созданию высокопрочных аппаратов высокого давления (АВД). Наиболее нагруженные элементы АВД изготавливают из вольфрамовых твердых сплавов. Высокая стоимость этих сплавов, деформации вольфрама и кобальта обусловили постоянное внимание вопросам качества и долговечности твердосплавных элементов АВД. Несмотря на повышения механических характеристик смягченным вольфрамовым твердым сплавом, металлокерамическая природа их производства обусловила наличие в структуре различного рода дефектов, поэтому эксплуатационные показатели АВД при синтезе алмазов могут отличаться для различных партий изделий в несколько раз. На протяжении 4-х десятков лет, начиная от выпуска первых промышленных партий алмазов, проводились исследования, направленные на поиск критериев и методов оценки качества твердосплавных элементов АВД, установление корреляции между механическими характеристиками сплава, с одной стороны, и эксплуатационной стойкостью изделия - с другой.

**Стандартные характеристики твердых сплавов.** Основными характеристиками, определяющими качество спеченных твердых сплавов по ГОСТ и ТУ, являются плотность  $\rho$ , твердость HRA, предел прочности при изгибе  $R_{bt}$ , степень пористости и наличие включения, размер зерна карбидной фазы и толщина кобальтовой прослойки. Для режущего и горного инструментов выполняют технические испытания по определению коэффициента резания или буримости. При изготовлении твердосплавных элементов АВД технологических испытаний не проводят.

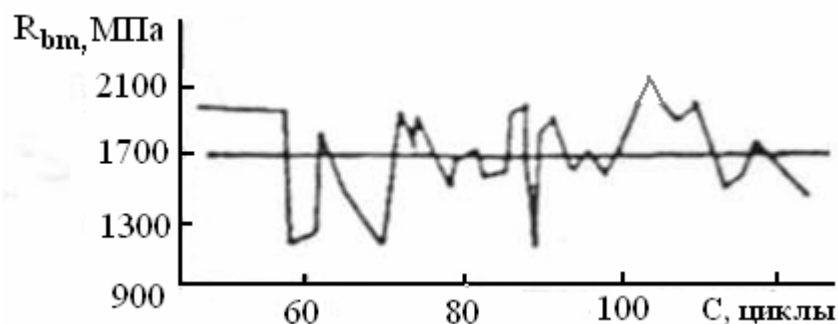


Рис. 1. Корреляционная зависимость между значениями предела прочности при изгибе и стойкостью твердосплавных матриц, изготовленных из одних партий твердосплавных смесей ВК6.

Таким образом, уровень прочности и пластичности материала АВД оценивается по двум характеристикам: прочность при изгибе и твердость. Как показали статические наблюдения за эксплуатационной стойкостью матриц АВД типа «наковальная с углублениями» [1], между величиной предела прочности при изгибе, определяемой при испытании, и стойкостью матриц в условиях эксплуатации при синтезе алмаза корреляция отсутствует (рис.1). Это объясняется тем, что величина предела прочности при изгибе

определяется не только структурой и качеством твердого сплава, но и состоянием поверхностного слоя образцов, их размерами, условиями испытаний.

Твердость характеризуется сопротивлением материала пластической деформации при вдавливании индентора. Так как степень восстановления отпечатков индектировании твердых сплавов невелика, наблюдается линейная зависимость твердости сплавов по Виккерсу от содержания в них содержащей фазы Co[2]. В то же время, как показано в [3], твердость сплавов зависит не только от состава, но и от твердости фазовых составляющих и сжимаемости карбидных зерен:

$$HV_{WC-Co} = HV_{WC} V_{VWC} C_{WC-WC} + HV_{Co} (1 - V_{VCo} C_{WC-WC}),$$

где  $HV_{WC-Co}$ ,  $HV_{WC}$  и  $HV_{Co}$  – твердость по Виккерсу твердого сплава, карбидной и кобальтовой фаз соответственно;  $V_{VWC}$  и  $V_{VCo}$  – объемное содержание WC и Co;  $C_{WC-WC}$  – степень связности карбидных зерен. Таким образом, твердость сплавов, оцениваемая испытаниями на приборе Виккерса, является характеристикой, чувствительной ко многим параметрам структуры. В частности, показатель твердости HRA практически не реагирует на уровень пористости, находящейся в пределах, допускаемых по ГОСТ или ТУ. В то же время между средними значениями твердости HRA различных марок твердых сплавов и пределом текучести при одноосном сжатии для этих сплавов наблюдается линейная связь (рис.2.) [4].

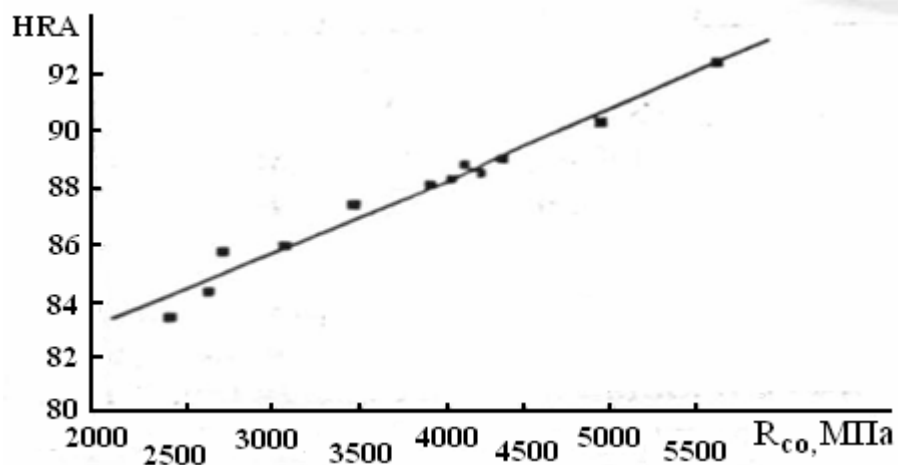


Рис. 2. Связь твердости и предела текучести при сжатии для различных марок твердых сплавов.

Следовательно, испытание твердости HRA характеризует средний уровень механических свойств сплава, но не является достаточной оценкой качества.

Плотность твердых сплавов складывается аддитивно из плотностей WC и Co, поэтому её значения зависят от колебаний содержания кобальта и углерода в смеси. Значения плотности спеченных изделий ниже расчетных на 0,5-3% из-за наличия в сплавах примесей и пор. Определяя плотность, можно судить о наличии в сплаве этих дефектов, но для достоверной оценки плотности следует проводить испытания достаточно большого количества изделий.

### Современные методы оценки качества твердых сплавов.

Коэрцитивная сила. Создание коэрциметров серии ИКС и других, с помощью которых твердые сплавы могут быть намагничены до состояния насыщения, позволило существенно повысить контроль однородности партии изготавливаемых твердосплавных изделий. Установлено [5], что между коэрцитивной силой с одной стороны и объемным содержанием Co ( $V_{VCo}$ ), размером зерна WC  $d_{wc}$  с другой стороны при одинаковом составе Co- фазы наблюдается четная зависимость на рис.3.

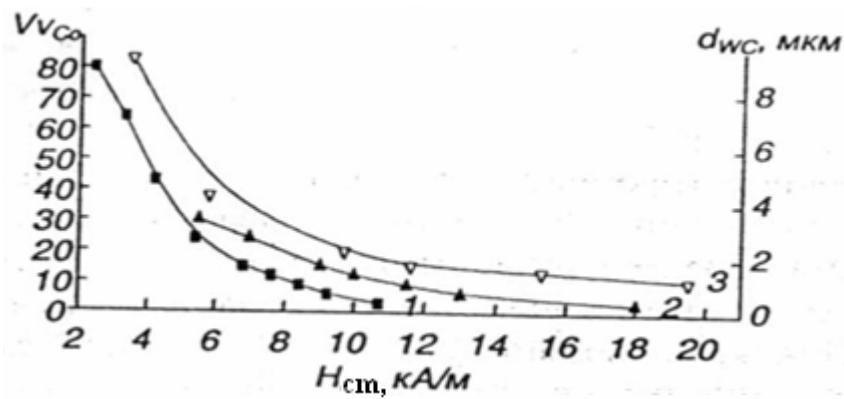


Рис. 3. Коэрцитивная сила твердых сплавов в зависимости от содержания кобальта в сплаве (1, 2) и величины зерна карбида вольфрама (3) по данным [5] (1) и (2, 3) [4].

В то же время величина коэрцитивной силы определяется не только количеством, но и состоянием фазы, представляющей собой твердый раствор вольфрама и углерода в кобальте. В результате для различных по химическому составу смесей и технологий ее получения, условий спекания величина коэрцитивной силы партий изделий из одной марки твердого сплава колеблется в широких пределах. Определение усталостной долговечности твердых сплавов возможно при наличии специальных установок, разработка которых требует учета специфических особенностей условий эксплуатации, отличающих твердые сплавы от других материалов, работающих в режиме циклического нагружения. Основными из них являются:

--высокий модуль упругости, изменяющийся в интервале от 670 (ВК3) до 470 (ВК25) Гпа, что указывает на практическое отсутствие фактора остаточной деформации образца в процессе циклического нагружения;

--наличие в твердых сплавах дефектов структуры и сравнительно хрупкий характер разрушения материала обуславливают необходимость применения статического подхода при оценке характеристик усталости, что становится возможным после испытаний достаточно большого числа образцов, минимум в три раза большего, чем для испытания сталей;

--тип нагрузки (циклический, ударный или гармонический), которой подвергается твердый сплав в процессе эксплуатации в зависимости от вида инструмента.

В Институте сверхтвердых материалов НАН Украины были разработаны и изготовлены установки для испытаний на усталость, учитывающие вышеперечисленные особенности твердых сплавов[6]. Проведенные на них исследования показали, что существует определенная закономерность изменения вида функции распределения долговечности отдельных образцов в зависимости от содержания кобальта в сплаве, вида нагружения (ударное, гармоническое), уровня напряжения цикла [2]. Результаты усталостных испытаний на нескольких уровнях напряжений представляют собой зависимость вероятность разрушения—долговечность при заданном уровне напряжений. Из таких зависимостей получают зависимости напряжение—долговечность при заданном уровне вероятности разрушения, которые характеризуют сопротивление материала усталостному разрушению, на рис.4.

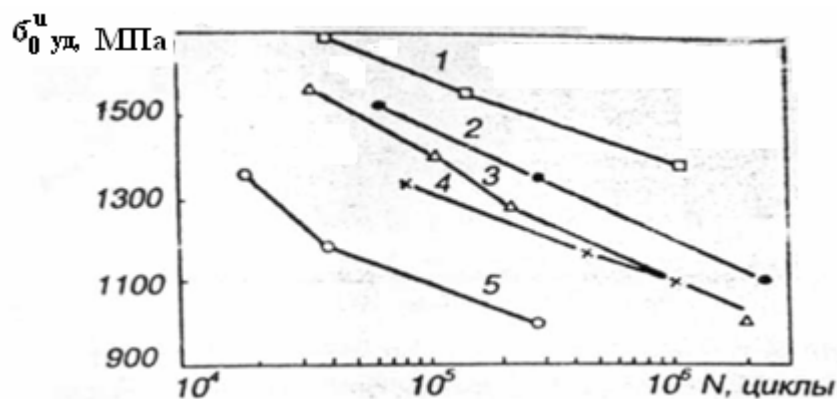


Рис. 4. Кривые усталости при ударном нагружении трехточечным изгибом при вероятности разрушения 50% для сплавов ВК20 (1), ВК15 (2), ВК25 (3), ВК8В (4), ВК8 (5).

В условиях эксплуатации АД типа «наковальня с углублением» взаимодействующие твердосплавные элементы испытывают сжимающие циклические контактные нагрузки, близкие к пределу текучести твердого сплава или превышающие его. В этом случае в опорных плитах, вставки которых, как правило, изготавливают из твердого сплава ВК15, возникают следы пластической деформации, оставляемые матрицей из сплава ВК6.

В отличие от других материалов для твердых сплавов, характерно ступенчатое изменение величины деформации образца под штампом в зависимости от числа циклов нагружения. Определение прочностных деформационных характеристик твердых сплавов при одноосном сжатии с записью диаграммы деформирования позволяет получить ряд критериев, с помощью которых можно оценить сопротивляемость материала статическим и циклическим нагрузкам, а, следовательно, прогнозировать долговечность твердосплавных изделий в условиях эксплуатации. К таким критериям относятся предел прочности при сжатии, предел текучести, предельная деформация, пластическая деформация, общая удельная работа деформации, работа пластической деформации. Усталостное разрушение материала наступает тогда, когда при циклической нагрузке суммарная необратимо рассеянная энергия достигает критического значения, равного предельной работе деформации при статическом нагружении [7]. При равной прочности двух материалов долговечность при циклическом нагружении будет выше у изделий того материала, у которого окажется большей работа пластической деформации.

Увеличение за счет термической обработки предельной деформации (пластической деформации) твердого сплава ВК6 в 1,3 раза приводит к повышению долговечности образцов, при испытании на усталость в 4-8 раз, а стойкости матриц при синтезе алмазов в 2-4 раза [2].

#### Литература:

1. Прихна А.И. Исследование в области синтетических алмазов // Синтетические алмазы в промышленности. Киев: Наук.думка.—1984.—С.21-24.
2. Лошак М.Г. Прочность и долговечность твердых сплавов.— Киев;Наук.думка,1984.—С. 328.
3. Lee P. C., Gurland I. Hardness and deformation of cemented tungsten carbide // Mat. Sei. Eng.—1978.--№ 33.—Р.2016-2024.
4. Лошак М. Г. Критерии долговечности твердосплавных элементов аппаратов высокого давления для синтеза сверхтвердых материалов // Сверхтвердые материалы.— 2002.--№ 4.—С.62.

5. Третьяков В. И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов.—М.:Металлургия,1976.—528 с.
- 6 .Александрова Л .И., Бондаренко В. П., Лошак М. Г. Долговечность твердых сплавов при циклическом контактом сжатии//Сверхтвердые материалы—1997.--№2.—С. 27-37.
7. Трощенко В. Г. Усталость и неупругость металлов.—Киев: Наук.думка.1971.-268 с