

УДК 669.018.25

В. П. Бондаренко, член-кор. НАН Украины; **М. Г. Лошак**, докт. техн. наук;
Л. И. Александрова, **В. П. Ботвинко**, кандидаты техн. наук;
В. М. Гомеляко, **Н. И. Заика**, инженеры

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

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ МИКРОДОБАВОК НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ВОЛЬФРАМОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

The effect of alloying microadditions of VC, Cr₃C₂ and TaC to the WC–8Co alloy on the cyclic durability in impact bending load has been studied.

В современном материаловедении твердых сплавов достаточно полно изучены вопросы повышения физико-механических характеристик изделий из вольфрамовых твердых сплавов путем введения различных легирующих добавок [1–6]. Хорошо известно, что легирование карбидами тугоплавких металлов (TiC, TaC, Cr₃C₂, NbC, VC и др.) способствует снижению скорости роста карбидных зерен при спекании, повышает сопротивление окислению сплавов, их твердость и жаропрочность. Эффективность введения карбидов тугоплавких металлов зависит от многих факторов, таких как условия работы пластин твердых сплавов, содержания в них углерода и т.п. Этим обусловлен многофакторный механизм изменения механических характеристик сплавов, легированных микродобавками [5]. Естественно, что основным фактором является уменьшение размера зерен карбида вольфрама, что подтверждено в работе [7]. С другой стороны, дополнительное растворение карбидов в связующей фазе приводит к упрочнению последней. В частности, растворение 0,1–0,5 % (по массе) Cr₃C₂ обеспечивает повышение твердости сплавов, в том числе и при повышенных температурах. Аналогичный эффект имеет место в твердых сплавах при введении 0,05–0,25 % TaC.

Образцы твердого сплава ВК8 были изготовлены путем спекания в контролируемой газовой среде, при этом часть из них имела добавку карбида тантала в количестве 0,05 и 0,25 % (по массе). Микротвердость этих образцов определяли на установке, позволяющей проводить измерения в вакууме 2,6·10⁻³Па в температурном интервале 20–1000 °С [8].

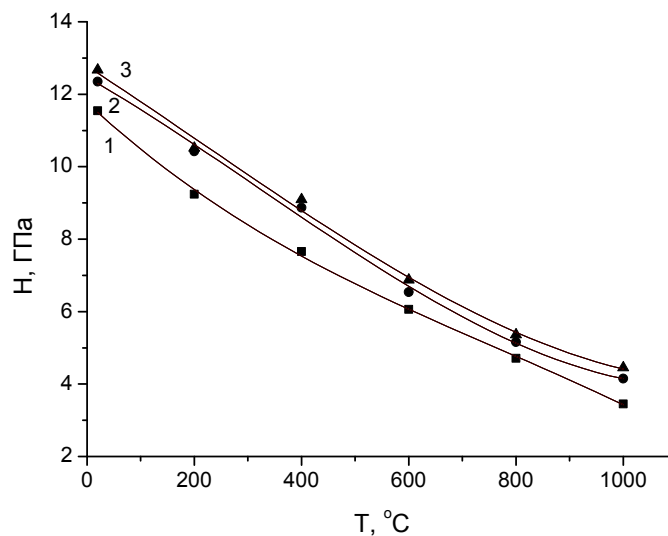


Рис. 1. Зависимость твердости сплава ВК8, легированного микродобавками карбида тантала, от температуры: 1 – без добавок; 2 – с добавкой 0,05 % (по массе) TaC; 3 – с добавкой 0,25 % (по массе) TaC.

Представленные на рис. 1 результаты определения микротвердости говорят о существенном ее повышении во всем исследованном температурном диапазоне. В случаях легирования микродобавками TaC и TaC_2 механизм изменения твердости различен. Если TaC_2 обычно растворяется в кобальтовой связующей фазе до 1 % (по массе), то тантал в связке не обнаруживается, а сосредоточен по межфазным и межзеренным границам [7].

С учетом изложенного большой интерес представлял вопрос о характере влияния микродобавок карбидов тугоплавких металлов в твердый сплав на его поведение при циклическом ударном нагружении, близком к реальным условиям эксплуатации инструмента.

Для эксперимента были изготовлены 4 партии образцов по 15 шт. в каждой из твердого сплава ВК8, отличающиеся составом (см. табл.).

Для проведения эксперимента была использована установка «Удар», предназначенная для испытаний циклическим ударным нагружением на изгиб твердосплавных образцов призматической формы [9]. Установка «Удар» позволяет выполнять циклическое нагружение ударом с частотой 40–80 Гц. Сила единичного удара при испытаниях в этой установке может составлять до 5000 Н. Количество ударов в минуту определяется резонансной частотой установки и твердосплавного образца. На каждый образец наклеивается датчик, размещенный в схеме измерения деформации, которая включает в себя еще и осциллограф, на котором оператор фиксирует силу единичного удара. В комплекс приборов, обслуживающих установку «Удар», входит генератор частоты, который позволяет достигать резонанса испытательной системы и фиксировать эту частоту. Усилитель комплекса приборов служит для регулирования силы удара.

Состав и свойства экспериментальных партий из твердого сплава ВК8

Состав сплава, %					Плотность ρ , г/см ³	Коэрцитивная сила H_{CM} , кА/м	Твердость HRA
WC	Co	Cr ₃ C ₂	TaC	VC			
92	8	–	–	–	14,55	8,8	88,6
92	8	0,15	–	–	14,65	11,3	89,5
92	8	–	0,15	–	14,65	9,0	89,3
92	8	–	–	0,15	14,65	9,2	89,1

При обработке результатов испытаний на усталость твердых сплавов с микродобавками учитывали статистический характер разрушения образцов. Предполагается, что для получения нужной степени достоверности результата экспериментальные данные испытаний отдельных образцов следует нанести на график «вероятность разрушения – долговечность», соответствующий тому виду функции распределения, который отвечает при ударном циклическом нагружении данному материалу. Доказательством соответствия результатам испытаний того или иного вида функции распределения является то, что экспериментальные точки располагаются близко к прямой линии на графике, построенном для данной функции распределения. Ранее [9] установлено, что для сплава ВК8 лучшим совпадением является нанесение экспериментальных данных на график, соответствующий функции распределения Вейбулла. Однако в настоящей работе наилучшее совпадение экспериментальных точек с прямыми линиями, особенно для образцов с легирующими добавками, получено на графике, соответствующем функции нормального закона распределения логарифмов долговечности (рис. 2).

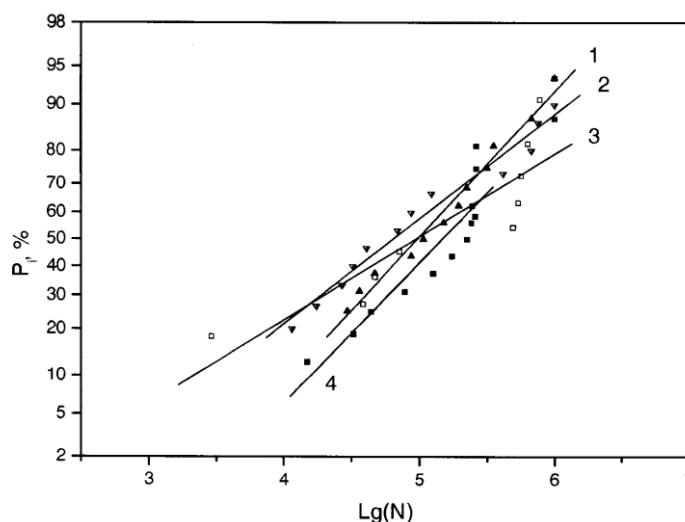


Рис. 2. Долговечность при циклическом ударном нагружении сплава ВК8 с легирующими микродобавками карбидов тугоплавких металлов: 1 – без добавок; 2 – с 0,15 % (по массе) VC; 3 – с 0,15 % (по массе) Cr₃C₂; 4 – с 0,15 % (по массе) TaC.

Нормальный закон справедлив тогда, когда случайная величина зависит от большого количества различных факторов, каждый из которых, взятый в отдельности, влияет на эту величину сравнительно мало. Очевидно, такому факту способствовало введение в твердый сплав ВК8 легирующих добавок. На графике прямые, полученные для образцов без легирующих добавок и с добавкой 0,15 % (по массе) TaC расположены почти параллельно между собой.

Хорошо видно, что долговечность образцов добавкой TaC ($151 \cdot 10^3$ циклов) более чем в 1,5 раза превосходит долговечность образцов без добавок ($95 \cdot 10^3$ циклов). Образцы с добавками 0,15 % (по массе) VC и 0,15 % (по массе) Cr₃C₂ при испытаниях показали большой разброс значений долговечности, что отразилось на положении прямых на графике. Для этих образцов характерным является разрушение значительной их части в начальный период нагружения. В то же время видно, что для вероятности разрушения 50 % значения долговечности этих образцов и образцов без добавок близки между собой: $88 \cdot 10^3$ циклов – для образцов с 0,15 % (по массе) VC; $95 \cdot 10^3$ циклов – для образцов с 0,15 % (по массе) Cr₃C₂;

В соответствии с полученными результатами можно предположить, что упрочнение связующей фазы за счет растворения в ней некоторого количества Cr₃C₂ и VC не способствует повышению пластических характеристик твердого сплава, в результате чего его долговечность не увеличивается. В противоположность этому карбид тантала при спекании сплавов располагается только по межфазным и межзеренным границам, упрочняя их и этим позволяя материалу выдерживать большее количество циклов нагружения до возникновения в нем магистральной трещины. В том случае, когда в образце количество микродефектов минимальное, упрочняющее действие Cr₃C₂ и VC на связку может оказать положительное влияние, и такие образцы будут иметь повышенную долговечность, как это видно на рис. 2.

Таким образом, можно заключить, что введение ингибиторных добавок в виде карбидов TaC, Cr₃C₂, VC в количествах, не превышающих 0,15 % (по массе) по крайней мере не снизит долговечности твердосплавных изделий, а в ряде случаев повысит ее за счет увеличения твердости и жаростойкости.

Литература

1. Функе И. Ф., Туманов В. И., Труханова З. С. Влияние легирования на структуру и свойства сплавов карбид вольфрама–кобальт // Изв. АН СССР. ОТН. Металлургия и топливо. – 1961. – № 4. – С. 101–108.
2. Aronsson B. Influence of processing on properties of cemented carbide // Powder Metal. – 1977. – 30, № 3. – P. 175–181.
3. Penrice T. W. Alternative binders for hard metals // J. Mater. Chap. Technol. / Fermely J. Appl. Metalworking. – 1987. – 5, № 1. – P. 35–39.
4. Кислый П. С., Боднарук Н. И., Боровикова М. С. и др. Керметы. – К: Наук. думка, 1988. – 272 с.
5. Ostberg G., Buss K., Christensen M. et al. Effect of TaC on plastic deformation on WC–Co and Ti(C,N)–WC–Co // Int. J. Refract. Metals & Hard Mater. – 2006. – 24. – P. 145–154.
6. Фальковский В. А., Клячко Л. И. Твердые сплавы. – М.: Изд. дом «Руда и металл», 2005. – 415 с.
7. Бондаренко В. П., Лошак М. Г., Александрова Л. И. и др. О характере распределения хрома и тантала в вольфрамовых твердых сплавах с микродобавками их карбидов // Сверхтв. материалы. – 2006. – № 6. – С. 23–29.
8. Заика Н. И., Гомеляко В. М. Применение установки для определения твердости при высоких температурах для оценки твердости твердых сплавов и сверхтвердых композиционных материалов // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения / Сб. научн. трудов. – К.: Институт сверхтвердых материалов НАН Украины. – 2006. – С. 392–393.
9. Лошак М. Г. Прочность и долговечность твердых сплавов. – К.: Наук. думка, 1984. – 327 с.

Поступила 17.07.07.