

УДК 621.762.091.3-977:669.27.018.25

DOI 10.17073/1997-308X-2015-2-44-48

Твердые сплавы WC–Co, легированные карбидом тантала Обзор

© 2015 г. В.С. Панов, А.А. Зайцев

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

Статья поступила в редакцию 02.09.14 г., доработана 17.11.14 г., подписана в печать 25.11.14 г.

Панов В.С. – докт. техн. наук, профессор кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий МИСиС. (119049, г. Москва, Ленинский пр-т, 4). Тел.: (495) 638-46-42. E-mail: zeinalova@rambler.ru

Зайцев А.А. – канд. техн. наук, ст. преподаватель той же кафедры. Тел.: (495) 236-32-91. E-mail: aazaitsev@bk.ru.

Представлен обзор работ отечественных и зарубежных авторов, посвященных влиянию добавок карбида тантала на свойства твердых сплавов группы VK. Проанализированы структура, свойства, области применения, преимущества и недостатки твердых сплавов, легированных TaC, и рассмотрены основные технологии их получения. Показано положительное влияние добавок 1–3 % TaC на свойства сплавов WC–Co, позволяющих повысить эксплуатационные характеристики режущего, штампового и бурового инструмента. Отмечено, что и в настоящее время интерес к изучению влияния карбида тантала на свойства, структуру и природу этого влияния не снижается, а его механизмы до конца не ясны.

Ключевые слова: карбид тантала, твердый сплав, структура, свойства, области применения, температура, износостойкость, легирование, добавки.

The review of publications of domestic and foreign authors devoted to the influence of additives of tantalum carbide on the properties of hard alloys of the VK group is presented. The structure, properties, application regions, and advantages and disadvantages of TaC-alloyed hard alloys are analyzed and main technologies of their fabrication are considered. The positive influence of additives of 1–3 % TaC coatings on the properties of WC–Co alloys, which allows one to elevate the operational characteristics of the cutting, stamping, and drilling tool, is shown. It is noted that the interest to the investigation into the influence of tantalum carbide on the properties, structure, and nature of this phenomenon does not weaken to date, while its mechanisms are not known completely.

Keywords: tantalum carbide, hard alloy, structure, properties, application regions, temperature, wear resistance, alloying, additives.

Введение

В настоящее время большинство твердых сплавов в своем составе имеют небольшое количество карбида тантала, несмотря на его дороговизну. Сведения о наиболее крупных зарубежных производителях спеченных твердых сплавов, содержащих TaC, а также составы, структура, свойства и условия их применения в процессе механической обработки по стандарту ISO приведены в работах [1, 2]. Поскольку тантал используется в важнейших отраслях промышленности, то целесообразность его применения в производстве твердых сплавов требует исчерпывающих экспериментальных доказательств, в первую очередь для системы WC–Co.

Несмотря на широкое применение изделий из твердых сплавов WC–Co, содержащих карбид тантала, мнения разных исследователей по влиянию его небольших (1–5 %) добавок на свойства

этих материалов не однозначны, а их точки зрения на механизм такого влияния значительно различаются. Анализ отечественной и зарубежной литературы по данному вопросу свидетельствует о неугасающем интересе фундаментальной и прикладной науки к этой теме. Вопрос о преимуществе сплавов WC–Co с карбидом тантала, появившихся за рубежом в 1930–1940-е годы, а в нашей стране в конце 1950-х годов, по сравнению со сплавами без добавки до сих пор остается дискуссионным и до конца не изученным.

В действующих стандартах зарубежных стран большинство сплавов WC–Co содержат небольшие количества TaC, хотя вопрос о механизме его влияния на структуру и свойства данного материала продолжает обсуждаться и до настоящего времени.

Целью обзора является анализ имеющихся литературных данных отечественных и зарубежных

авторов по вопросу роли добавок (1–5 %) карбида тантала в сплавах WC–Co, влияющих на эксплуатационные свойства изделий.

Состав, структура и области применения Та-содержащих твердых сплавов

Сведения о свойствах танталсодержащих твердых сплавов приведены во многих работах, но они достаточно противоречивы. В статье [3] отмечается повышение твердости сплава при введении карбида тантала только для относительно низких температур испытания, что, вероятно, связано с изменением свойств цементирующей фазы. Авторы подчеркивают, что приведенные в литературе данные о роли добавок TaC носят сугубо качественный характер, а результаты исследований, объясняющие с металловедческой точки зрения положительное влияние на структуру и свойства сплавов и природу этого явления, отсутствуют.

В работе [4] исследованы физические, механические и режущие свойства сплава WC–8%¹Co с добавкой 3 % TaC при обработке стали и чугуна и показаны преимущества введения этого соединения. Влияние карбида тантала на твердость, прочность при изгибе и ударную вязкость сплавов WC–Co (4 и 15 % Co) изучено в [5]. Выявлено, что добавки 2–5 % карбида тантала мало влияют на свойства материала при комнатной температуре и повышают их в интервале 400–800 °С. Однако увеличение количества TaC более 5 % снижает все свойства, и чем больше содержание TaC, тем более существенно их падение.

По данным авторов [6, 7], введение 2–5 % TaC в сплавы WC–Co практически не оказывает влияния на механические свойства при разных температурах испытания, а в работе [8] отмечается, что при комнатной температуре они практически не изменяются, но при 800 °С существенно возрастают. Наибольшую прочность имеют сплавы с 2–4 % TaC.

Исследование степени влияния TaC и VC на свойства сплавов WC–Co проведено авторами [9]. Ими установлено снижение прочности при изгибе и рост твердости в зависимости от количества добавок, а также показано, что с увеличением

содержания кобальта до 15 % отрицательное воздействие на прочность небольших добавок TaC уменьшается или вообще исчезает.

Роль карбида тантала в сплавах WC–Co и его влияние на структуру и свойства сплавов описаны в работах [10, 11]. Обоснование необходимости его введения в небольших количествах (1–4 %) в сплавы WC–Co впервые было предложено в [12].

Для обработки жаропрочных сплавов на никелевой основе и высоколегированных сталей аустенитного класса в работе [13] рекомендуются сплавы BK8–Ta и BK12–Ta, содержащие 3 % TaC, которые по стойкости в 4–6 раз превосходят аналогичные материалы без тантала (BK8 и BK12), применяющиеся на этих же операциях. Увеличение стойкости объясняется более высокими механическими свойствами при 400–600 °С, меньшим химическим взаимодействием резца с обрабатываемым материалом («лункообразование»), а также пониженными коэффициентом трения с заготовкой и температурой разупрочнения связки. Материалы этих же составов были испытаны на ряде машиностроительных заводов при обработке труднообрабатываемых жаропрочных сплавов [14] и показали повышенную в 1,5–2,5 раза стойкость по сравнению с аналогами без добавок TaC. Эти результаты подтверждают данные статьи [4], а также некоторых зарубежных источников.

В работе [15] проведено сравнение уровня стойкости сплавов WC–Co (5–6 % Co), легированных TaC, с материалами иностранных марок тех же составов и назначения. Результаты испытаний показали, что отечественный сплав BK6OM превосходит по стойкости австрийский H2 («Metallwerk Plansee») и немецкий TH05 («F. Krupp. Widia-Fabrik»), но уступает маркам H3 (Австрия) и TH03 (ФРГ), в которых содержание кобальта составляет 5 %, при одинаковой микроструктуре. Стойкость аналогичных сплавов без карбида тантала в 2 раза меньше при худших чистоте обработки поверхности и точности размеров.

Авторы [16] отмечают, что, несмотря на широкое применение за рубежом твердых сплавов с карбидом тантала, данные о его влиянии на свойства весьма противоречивы, особенно для состава WC–Co. На основании проведенных исследований они установили, что предел прочности

¹ Здесь и далее имеются в виду мас. %.

при изгибе для сплава ВК6 при содержании более 2,5 % TaC падает, твердость вообще не зависит от его количества, а способ введения этой добавки мало влияет на свойства материала.

В монографии [17] приведены зависимости физических, механических и химических свойств сплавов WC—Co с разным содержанием кобальта и карбида тантала при различных температурах. Автор отмечает положительное влияние небольших (2—3 %) количеств TaC на данные характеристики.

Для чистовой обработки деталей подшипников точением вместо шлифования закаленной шарикоподшипниковой стали ШХ15СГ в работе [18] рекомендованы сплавы WC—Co (6 и 15 % Co) с добавками 2 % TaC, которые благодаря своим свойствам оказались очень перспективными при рациональных режимах резания.

При чистовой токарной обработке втулок из сплава ВМ-1Д и титанового сплава ВТ14 авторы [19] на основании своих исследований предлагают сплав ВК6 (6 % Co), содержащий также 2 % карбида тантала. Стойкость резцов по сравнению с применявшимся сплавом ВК8 без TaC увеличилась в 3—5 раз.

Авторы статьи [20] для горячей безоблойной штамповки выдавливанием поковок крестовин кардана испытали на заводе «Ростсельмаш» сплав WC—25%Co с карбидом тантала. Применявшиеся матрицы из стали 3Х2В8 имели стойкость на 5—7 тыс. поковок, а из сплава ВК25—Ta — на 20 тыс. поковок (без TaC — 15 тыс.). Таким образом, применение твердосплавного инструмента является одним из перспективных способов повышения производительности горячей штамповки, хотя выбор марок твердого сплава требует дополнительных исследований.

В [21] приводятся результаты работ по повышению свойств сплава ВК6 В, применяющегося для вращательного бурения горных пород, за счет легирования карбидом тантала, основываясь на данных [12]. При содержании 2—4 % TaC износостойкость оказалась в 2 раза выше по сравнению с аналогичным сплавом без добавки, а интенсивность износа уменьшилась более чем в 2 раза. Сплавы показали повышенные твердость, прочность при изгибе, пластичность и износостойкость, хотя механизм этого явления не вполне

ясен. По мнению авторов [21], предположительно это связано с ростом сопротивления разупрочнению в результате дисперсного упрочнения связующей фазы, хотя это вряд ли возможно из-за малой растворимости карбида тантала в кобальте. Увеличение пластичности сплавов, содержащих TaC, вероятно, является специфической особенностью танталовой фазы как таковой.

Вопрос влияния карбида тантала (2—6 %) на свойства осадочнозернистых сплавов WC—Co, применяющихся при обработке металлов давлением, достаточно подробно рассмотрен в [22]. Автор подтвердил имеющиеся в отечественной и зарубежной литературе данные о целесообразности такого легирования.

В работе [23] приведены свойства и условия работы твердых сплавов WC—Co (6 и 10 % Co) с добавкой TaC: твердость $HV = 17,5 \pm 20,0$ ГПа, $\sigma_{изг} = 1700 \div 1850$ Н/мм², $K_{Ic} = 12 \div 14$ МПа·м^{1/2}. Сверла из сплавов ВК6 «СМ» и ВК10 «СМ» при бесстружковой обработке металлов работают в 2 раза дольше, чем из аналогов, не содержащих TaC.

О влиянии карбида тантала и применении его в твердых сплавах WC—Co различными зарубежными фирмами сообщается в работе [24].

Для оснащения резцов дорожно-фрезерных машин при ремонте асфальтовых покрытий в монографии [25] рекомендуются сплавы WC—Co (7—12 % Co) с добавкой 1—2 % TaC, а для тяжелых условий работы бурового инструмента — сплав марки БС-071 состава 87%WC—12%Co—1%TaC [25]. Там же приводятся свойства и результаты обработки труднообрабатываемых деталей инструментом из сплавов WC—Co (10 и 15 % Co), содержащих 2 % TaC. Показано, что интенсивность износа зависит от циклической прочности и размера зерна WC-фазы, на которые влияет карбид тантала. При черновом и полужерновом точении жаропрочных сталей, а также Ti- и Ni-сплавов стойкость марок ВК10 «ОМ» и ВК15 «ОМ» в 2—10 раз выше аналогов.

Свойства различных марок твердых сплавов, в том числе и содержащих карбид тантала, и инструмент из них для процессов резания, бесстружковой обработки (штамповки) и др. подробно описаны в [26]. Там же приведены результаты влияния этой добавки на прочность при изгибе, прочность при сжатии и твердость сплавов WC—Co (6—20 %

Со) с содержанием 2–10 % TaC. Отмечается, что благодаря сочетанию высоких показателей износостойкости, прочности и вязкости сплавы с небольшим содержанием карбида тантала находят применение в условиях высокого абразивного износа.

В работе [27] описаны технология и свойства ультрадисперсных твердых сплавов WC–6%Co и WC–10%Co, содержащих карбид тантала: HRA (HV) = 93,5 (20,05 ГПа) и 93,0 (17,0 ГПа); $\sigma_{изг}$ = 1670 и 1870 МПа; K_{Ic} = 11,0 и 16,0 МПа·м^{1/2} соответственно. Авторами [28] приводятся зависимости твердости и прочности при изгибе тех же сплавов от введения 0,5–2,0 % TaC и сделаны выводы, что с ростом количества добавки твердость растет, а прочность при изгибе практически не меняется.

Для сверления абразивных материалов и закаленных сталей, а также чистовой токарной обработки хромомарганцовистых сталей высокой твердости рекомендуются сплавы WC–Co (6 и 8 % Co), легированные TaC. Сверла, развертки, метчики, дисковые фрезы из сплавов BK6 «НСТ» и BK8 «НСТ» по стойкости на 20–30 % превосходят инструмент без добавок карбида тантала [29]. Также у них твердость выше, прочность при изгибе при комнатной температуре практически такая же, а при 400–800 °С лучше, «лункообразование» существенно ниже.

В ОАО «Волгобурмаш» для производства зубков перфораторного бурения применяют сплавы WC–Co (10 и 13 % Co) с добавкой карбида тантала [30], что позволило снизить выход из строя долот по причине сколов, повысить характеристики пластичности и трещиностойкости материала при некотором снижении твердости.

В работе [31] рассмотрено влияние добавок TaC на пластическую деформацию WC–Co. Установлено, что введение 1 % TaC в сплав BK10 позволяет на 10–20 % увеличить высокотемпературную (900 и 1000 °С) прочность при трехточечном изгибе, а пластичность при этом уменьшается почти вдвое. Улучшение прочностных свойств авторы связывают с положительным влиянием образующегося карбидного скелета (Ta,W)C.

Влияние 0–1 % TaC на свойства сплава BK10, изготовленного жидкофазным спеканием, изучено в [32]. Исходные микрометровые порошки

WC, TaC, Co подвергались высокоэнергетическому размолу, в результате чего получены смеси нанометрового диапазона. А введение в состав сплава BK10 оптимального содержания TaC (0,6 %) позволило уменьшить размер зерна карбидной фазы с 0,9 до 0,5 мкм, увеличить твердость HV с 15,5 до 16,14 ГПа и ударную вязкость с 11, 8 до 13,7 МПа·м^{0,5}. Авторы [32] объясняют такой положительный эффект исключительно ингибированием роста карбидного зерна.

Таким образом, рассмотренные литературные данные свидетельствуют о том, что, несмотря на высокую стоимость карбида тантала, введение небольших его количеств в сплавы WC–Co целесообразно. Однако объяснение положительного влияния TaC требует проведения дополнительных исследований.

Заключение

Твердые сплавы WC–Co, легированные карбидом тантала (от 1 до 5 %), благодаря своим свойствам находят все большее применение при обработке труднообрабатываемых материалов. Приведенный анализ публикаций показывает, что, несмотря на это, вопрос о механизме влияния карбида тантала до конца не изучен и до настоящего времени остается дискуссионным.

Литература

1. Бондаренко В.П., Лисовский А.Ф., Прокопий Н.М. // Инструментальный світ. 2007. № 1 (33). С. 13.
2. Kenneth J.A. World Directory and Handbook of Hardmetals and Hard Materials. Intern. Carbide Data, 1992.
3. Третьяков В.И., Карабасова И.Н., Платов А.Б. // Твердые сплавы: Сб. тр. ВНИИТС. М.: Металлургиздат, 1960. № 2. С. 79.
4. Панов В.С., Функе В.Ф., Лидер В.Я. // Вестник машиностроения. 1962. № 3. С. 5.
5. Панов В.С., Функе В.Ф. // Порошковая металлургия. 1964. № 4. С. 41.
6. Лосева С.С., Эйхманс Э.Ф. // Твердые сплавы и тугоплавкие металлы: Сб. тр. ВНИИТС. М.: Металлургия, 1963. № 5. С. 86.
7. Куличевская Э.М., Самойлов В.С. Применение новых марок твердых сплавов. // М.: ЦНИИЦветмет экономики и информации, 1964.

8. *Панов В.С., Меерсон Г.А., Функе В.Ф.* // Изв. АН СССР. Металлы. 1966. № 2. С. 213.
9. *Лосева С.С., Эйхманс Э.Ф.* Разработка технологии получения особомелкозернистых вольфрамокобальтовых сплавов: Отчет № 24-64. М.: ВНИИТС, 1965. С. 201.
10. *Панов В.С.* // Цветная металлургия. 1969. № 14. С. 27.
11. *Dijk V.* // Neue Hütte. 1959. Bd. 4, №7. S. 425.
12. *Панов В.С.* Исследование структуры и свойств сплавов карбид вольфрама — карбид тантала — кобальт: Автореф. дис. ... канд. техн. наук М: МИСиС, 1965.
13. *Меерсон Г.А., Панов В.С.* Улучшенные марки твердых сплавов. М.: ГОСИНТИ, 1969. № 5.
14. *Смирнов Ф.Ф., Гуревич Л.Ф.* // Твердые сплавы: Сб. тр. ВНИИТС. М.: Металлургия, 1967. № 7. С. 7.
15. *Лосева С.С., Эйхманс Э.Ф.* // Твердые сплавы: Сб. тр. ВНИИТС. М.: Металлургия, 1969. № 9. С. 70.
16. *Чебураева Р.Ф., Чапорова И.Н.* // Твердые сплавы: Сб. тр. ВНИИТС. М.: Металлургия, 1970. № 10. С. 79.
17. *Креймер Г.С.* Прочность твердых сплавов. М.: Металлургия, 1971.
18. *Синопальников В.А., Мальцев О.С., Власов А.И.* // Твердые сплавы и тугоплавкие металлы: Сб. тр. ВНИИТС. М.: Металлургия, 1976. № 16. С. 24.
19. *Мальцев О.С., Коган Л.М., Воробьева Е.П.* // Твердые сплавы и тугоплавкие металлы: Сб. тр. ВНИИТС. М.: Металлургия, 1976. № 16. С. 29.
20. *Лившиц Г.А., Акаро И.Л., Рыжеванов В.С.* и др. // Твердые сплавы и тугоплавкие металлы: Сб. тр. ВНИИТС. М.: Металлургия, 1976. № 16. С. 52.
21. *Махов А.Г., Туманов В.И., Креймер Г.С.* и др. // Твердые сплавы и тугоплавкие металлы: Сб. тр. ВНИИТС. М.: Металлургия, 1976. № 16. С. 178.
22. *Фальковский В.А.* Теоретические основы разработки и исследование твердых сплавов для бесстружковой обработки металлов: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. М.: МИСиС, 1997.
23. *Кабицкой И.В., Аникеев А.И., Клячко Л.И.* // Цветные металлы. 1998. № 8. С. 58.
24. *Shubert W.D.* // Proc. of the 5-th Inter. Conf. on Tungsten, Hard Metals and Refractory Alloys (Annapolis, Maryland, USA, 2000, Sept. 25—27) / Ed. M.S. Greenfield, J.J. Oakes. Maryland, 2000. P.13.
25. *Панов В.С., Чувиллин А.М., Фальковский В.А.* Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. М.: МИСиС, 2004.
26. *Фальковский В.А., Клячко Л.И.* Твердые сплавы. М.: Изд-во «Руда и металлы», 2005.
27. *Klyachko L.I.* // 15 Plansee Seminar. Austria. 2006. P. 203.
28. *Fang Z., Wang X., Ryu T.* // Int. J. Refract. Metal. Hard Mater. 2009. Vol. 27. P. 288.
29. *Панов В.С., Шуменко В.Н.* Технология и свойства спеченных твердых сплавов. М.: ИД МИСиС, 2013.
30. *Захаров Д.А., Амосов А.П., Сальников А.В.* // Изв. вузов. Порошк. металлургия и функц. покрытия. 2014. № 1. С. 29.
31. *Ostberg G., Buss K., Christensen M.* et al. // Int. J. Refract. Metal. Hard Mater. 2006. № 24. P. 145.
32. *Mahmoodan M., Aliakbarzadeh H., Gholamipour R.* // Int. J. Refract. Metal. Hard Mater. 2009. № 27. P. 801.