УДК [669.018.25: 621.785.6]: 622.23.051.6

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК10КС ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ В ВОДОПОЛИМЕРНОЙ СРЕДЕ ТЕРМОВИТ М*

Т.Н. ОСКОЛКОВА*[1], *канд. техн. наук, доцент
А.А. БАТАЕВ*[2], *доктор техн. наук, профессор
В.А. БАТАЕВ*[2], *доктор техн. наук, профессор
А.Г. ТЮРИН*[2], *канд. техн. наук, доцент
Н.А. КОЗЫРЕВ*[1], *доктор техн. наук, профессор
А.А. ФЁДОРОВ*[1], *канд. техн. наук, доцент
[1](*СибГИУ, г. Новокузнецк,*
[2]*НГТУ, г. Новосибирск*)

Поступила: 02 сентября 2014
Рецензирование: 23 октября 2014
Принята к печати: 05 ноября 2014

Осколкова Т.Н. – 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42,
Сибирский государственный индустриальный университет,
e-mail: oskolkova@kuz.ru

Рассмотрены результаты исследований карбидовольфрамового твердого сплава марки ВК10КС после закалки от температуры 1150 °С в водополимерную среду Термовит М с концентрацией 4 % при температуре 40 °С. Установлены изменения в структуре сплава, заключающиеся в частичном растворении карбида вольфрама WC при нагреве под закалку и, следовательно, уменьшении его среднего размера с 6,5 мкм в исходном состоянии до 3 мкм после термообработки. Растворение карбида вольфрама приводит к дополнительному легированию кобальтовой связующей углеродом и вольфрамом. В исходных образцах в кобальтовой фазе растворено 10,89 вес. % вольфрама, а после закалки его содержание увеличивается до 20,18 вес. %. Вышеописанные изменения в структуре твердого сплава после закалки приводят к увеличению предела прочности при изгибе на 10 %, уменьшению площади лунки изнашивания при трибологических испытаниях на 35 % по сравнению с исходным спеченным состоянием.

Ключевые слова: твердый сплав, закалка, водополимерные среды, индустриальное масло, микроструктура, износостойкость, кобальтовая связующая, твердость, предел прочности.

Введение

Одним из методов упрочнения твердых сплавов является закалка, позволяющая фиксировать структурные изменения, которые происходят во время нагрева и охлаждения. Согласно работам [1–3] долговечность твердых сплавов, закаленных в масле, повышается в 2…6 раз по сравнению с долговечностью сплавов в исходном состоянии после спекания. Таким образом, использование твердого сплава в термически обработанном состоянии в различных условиях эксплуатации способствует сокращению его расхода на единицу продукции и улучшению ряда других технико-экономических показателей производства. Однако известно [4], что в процессе работы масло окисляется при постепенном накоплении в нем продуктов термического разложения, грязи, окалины и других примесей, его вязкость повышается, а закаливающая способность снижается. В связи с этим в последнее время большое внимание уделяют разработке и

* Работа выполнена в рамках проектной части государственного задания Минобрнауки России № 11.1531.2014/к

применению охлаждающих сред на основе водорастворимых полимеров при закалке различных сталей [5–11]. Все полимерные охлаждающие среды предназначены для замены масел с целью устранения их недостатков (возгораемость, задымленность, загрязнение окружающей среды).

В работах [10–11] установлено, что изменение концентрации полимера Термовит М в растворе позволяет существенно изменить характеристики закалочной среды, в том числе и среднюю скорость охлаждения. Средние скорости охлаждения в 4,0…4,5 %-м водном растворе Термовит М при температурах от 20 до 60 °С близки к средней скорости охлаждения в масле.

Цель исследований заключалась в изучении структуры и свойств твердого сплава ВК10КС после закалки в водополимерной среде Термовит М.

Методика экспериментального исследования

В настоящей работе для термической обработки твердого сплава марки ВК10КС производства ОАО «Кировоградский завод твердых сплавов» использовался 4 %-й водный раствор полимера Термовит М [12]. Закалочная жидкость представляет собой водный раствор полимера производства ЗАО НПО «Промэкология», г. Омск (концентрат водополимерной закалочной среды изготавливают в соответствии с техническими условиями ТУ 2219-045-23763315-2007).

Исследование структуры твердого сплава и химического состава кобальтовой связующей до и после закалки осуществлялось с помощью растрового электронного микроскопа «Philips XL-30». Изучение поверхности изломов образцов из сплава ВК10КС проводилось после испытаний на статический изгиб с использованием растрового электронного микроскопа Carl Zeiss EVO50 XVP.

Рентгеноструктурные исследования проводились с помощью дифрактометра ДРОН-2,0 в K_α-излучении железа. Определение параметра кристаллической решетки кобальтовой связующей проводилось с точностью ± 0,001 Å.

Испытания для определения предела прочности при поперечном изгибе проводились в соответствии с ГОСТ 20019–74 на электромеханической универсальной системе Instron 3369, а испытания по измерению твердости – на твердомере Wolpert Group марки Model 600 MRD.

Трибологические испытания образцов в спеченном состоянии до и после термообработки проводились с помощью трибометра «PC-Operated High Temperature Tribometer». Износ образцов определялся путем измерения глубины и площади лунки износа в поперечном сечении после испытаний. Лунка изнашивания образовывалась в результате действия неподвижного алмазного индентора на плоскую поверхность вращающегося цилиндрического образца при нагрузке 3 Н, числе оборотов 4000, линейной скорости движения 2,5 см/с.

Результаты и обсуждение

Микроструктура твердого сплава ВК10КС после спекания состоит из зерен карбида вольфрама (WC), размер которых находится в диапазоне 5…8 мкм, и кобальтовой фазы. Зерна карбида вольфрама выглядят как многогранники с четкими границами. После спекания частицы карбида вольфрама в большинстве случаев расположены под острыми углами от 10 до 80 градусов по отношению друг к другу. Углы карбидных зерен между собой могут служить концентраторами напряжений и при дальнейшей эксплуатации способствовать образованию микротрещин.

Эксплуатационные характеристики твердых сплавов во многом зависят от состояния кобальтовой связующей и карбидной фазы. Изменение химического состава и свойств кобальтовой фазы достигается путем различных видов термической обработки. Одним из таких методов является закалка, позволяющая фиксировать структурные изменения, происходящие во время нагрева и охлаждения.

Применение к твердым сплавам закалки основывается на известном факте: в твердых растворах, образованных на основе металла (к таковым относится кобальтовая связующая), с увеличением содержания легирующего элемента (такого, как вольфрам) повышается сопротивление пластической деформации [13]. Легирующие элементы, имеющие ограниченную растворимость в матричной фазе, в большей степени искажают решетку последней и приводят к возрастанию прочностных характеристик, что, в свою очередь, должно положительно сказаться на уровне прочности всего сплава [2].

В работе [2] показано, что при нагреве твердого сплава выше температуры 1000 °С происходит интенсивное растворение вольфрама и углерода в кобальте, что приводит к увеличению прочностных и эксплуатационных характеристик при последующей закалке. По результатам исследований сотрудников Института сверхтвердых материалов НАН Украины [1–3] установлено, что наилучшим комплексом механических свойств обладают сплавы ВК10, закаленные в индустриальном масле от температур 1100…1150 °С.

С учетом описанного выше твердый сплав ВК10КС подвергался закалке от температур 1150 °С в 4 %-м водополимерном растворе Термовит М, имевшем температуру 40 °С.

Микроструктура твердого сплава ВК10КС после закалки представлена на рис. 1. Следует отметить в целом уменьшение среднего размера частиц карбида вольфрама после закалки твердого сплава до 2…4 мкм вместо 5…8 мкм в исходном состоянии. Такая картина может являться следствием частичного растворения зерен карбида вольфрама в кобальте при нагреве до температуры закалки.

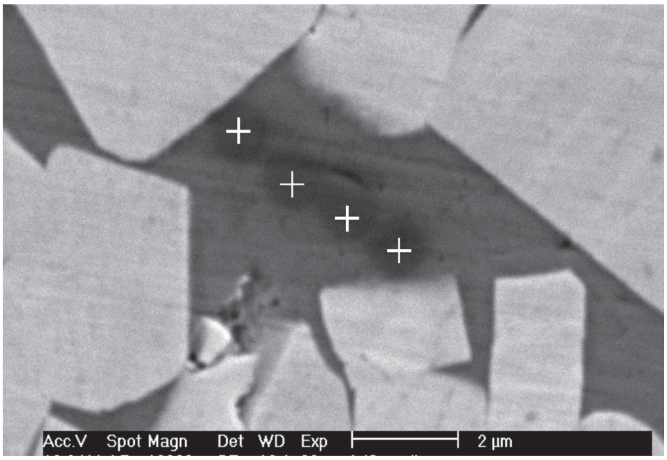


Рис. 1. Микроструктура твердого сплава ВК10КС после закалки в полимере Термовит М

Дополнительное растворение углерода и вольфрама в кобальтовой связующей подтверждают данные энергодисперсионного анализа (рис. 2). Места съемки спектров в кобальтовой связующей обозначены на рис. 1.

Установлено, что в исходных образцах в спеченном состоянии без термической обработки в кобальтовой связке растворено в среднем 10,89 вес. % вольфрама, а после закалки содержание вольфрама увеличивается до 20,18 вес. %. Легирование кобальтовой фазы при закалке отражается в увеличении параметра кристаллической решетки до значения a = 3,574 Å по сравнению с a = 3,552 Å в исходном состоянии.

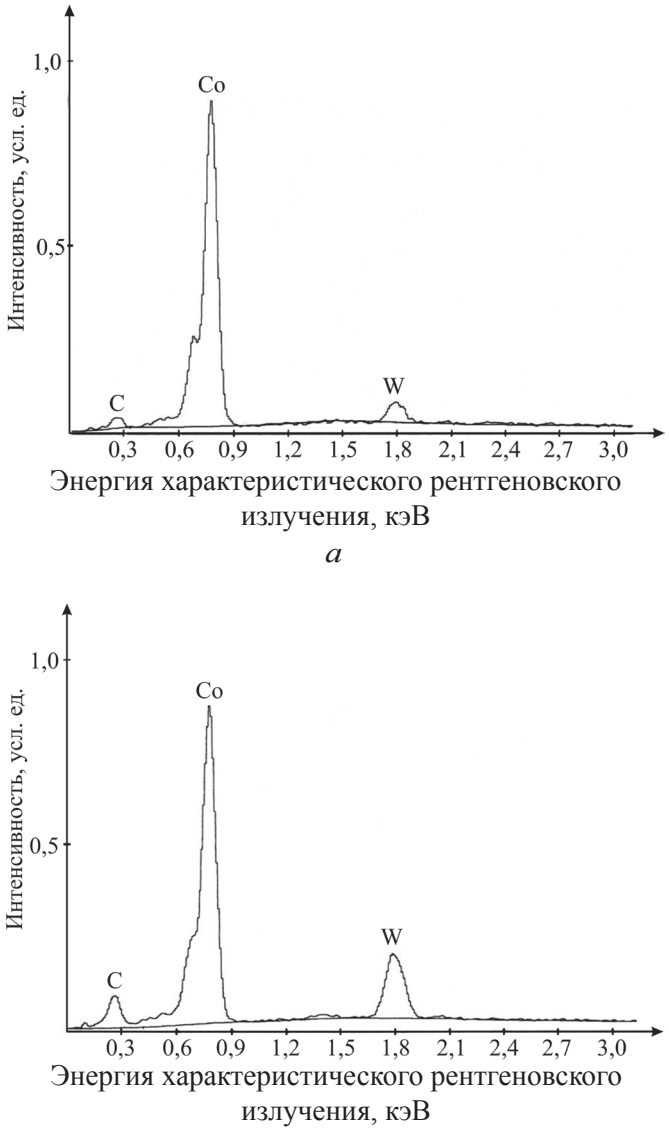


Рис. 2. Элементный состав кобальтовой связующей сплава ВК10КС:

а – исходный образец; *б* – после закалки в полимере Термовит М

Закалка твердого сплава ВК10КС в водополимерных средах способствует сохранению более высокой концентрации вольфрама и углерода в связующей фазе. По мнению авторов работ [1–3, 14, 15], изменяется и напряженное состояние обеих фаз (кобальтовой связующей и карбидной фазы WC). При медленном охлаждении после нагрева возрастают термические напряжения в кобальтовой фазе, а в случае быстрого охлаждения, как при закалке твердого сплава в полиме-

рах, наоборот, уменьшается за счет образования более легированного вольфрамом твердого раствора и уменьшения в связи с этим разницы в коэффициентах термического расширения WC- и Co-фазы.

Как показали фрактографические исследования, закалка твердого сплава ВК10КС в водополимерный раствор уменьшает средний размер упрочняющей фазы до 3 мкм по сравнению с 6,5 мкм в исходном состоянии (рис. 3).

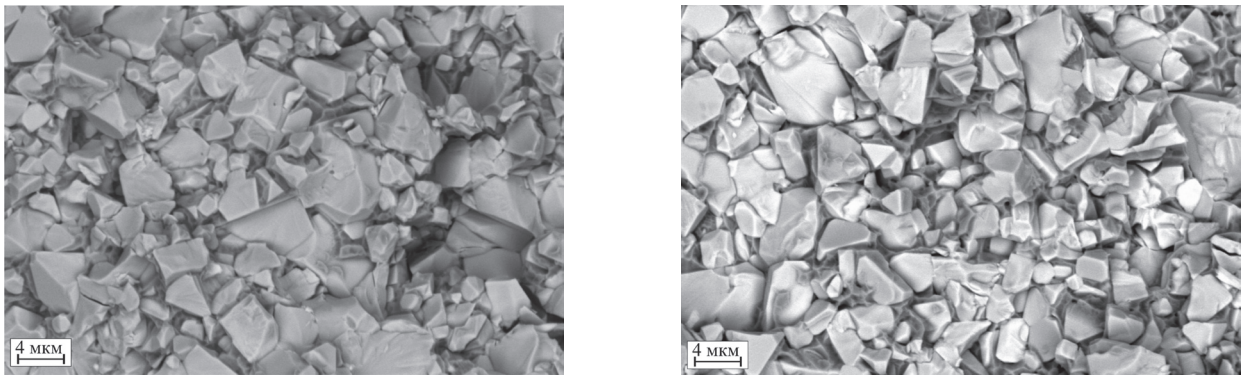
Образцы до и после термической обработки были подвергнуты механическим испытаниям, результаты которых представлены в таблице и на рис. 4. Установлено, что предел прочности при изгибе после закалки в водополимерном растворе увеличился на 10 % по сравнению со спеченным состоянием.

Результаты трибологических испытаний образцов в исходном состоянии и после термообработки показали (см. рис. 4 и таблицу), что глубина лунки изнашивания исходного образца ВК10КС составляет 58 мкм, а после закалки в 4 %-м растворе Термовит М – 47,4 мкм, что на 18 % меньше исходного состояния.

Площадь поперечного сечения лунки изнашивания у исходного образца и составляет 12 921 мкм^2, а после закалки в 4 %-м растворе Термовит М – 8494 мкм^2, т. е. на 35 % меньше площади изнашивания образца в спеченном состоянии. Очевидно, что повышение износостойкости закаленного твердого сплава (см. таблицу) связано с уменьшением величины зерен карбида вольфрама и дополнительным легированием кобальтовой связующей вольфрамом и углеродом.

Таким образом, закалка твердого сплава ВК10КС в 4 %-м водополимерном растворе Термовит М положительно скажется на эксплуатационной стойкости инструмента, оснащенного этим материалом. Небольшая стоимость и доступность концентрата полимера Термовит М (14 000 руб/т по сравнению со стоимостью 1 т индустриального масла 25 900…35 000 руб.) позволяет успешно использовать вместо индустриального масла И-20А 4 %-м водорастворимый полимер Термовит М для закалки твердого сплава ВК10КС.

Испытанием на шахте «Тагарышская» (Кемеровская область) комбайновых резцов, оснащенных закаленным сплавом ВК10КС, выявлено уменьшение выхода из строя рабочей части инструмента по причине разрушения твердого сплава, что значительно сокращает время на замену резцов режущего органа. Зафиксировано увеличение средней скорости проходки



а *б*

Рис. 3. Поверхность изломов твердого сплава ВК10КС:
а – исходный образец; *б* – после закалки в полимере Термовит М

Свойства сплава ВК10КС

Режим обработки	Твердость, HRA	$\sigma_{изг}$, Н/мм^2	Глубина лунки изнашивания, мкм	Площадь лунки изнашивания, мкм^2
Спеченное состояние	87,0	2730	58,0	12 921
Закалка в 4 %-м водополимерном растворе Термовит М	87,3	2980	47,4	8494

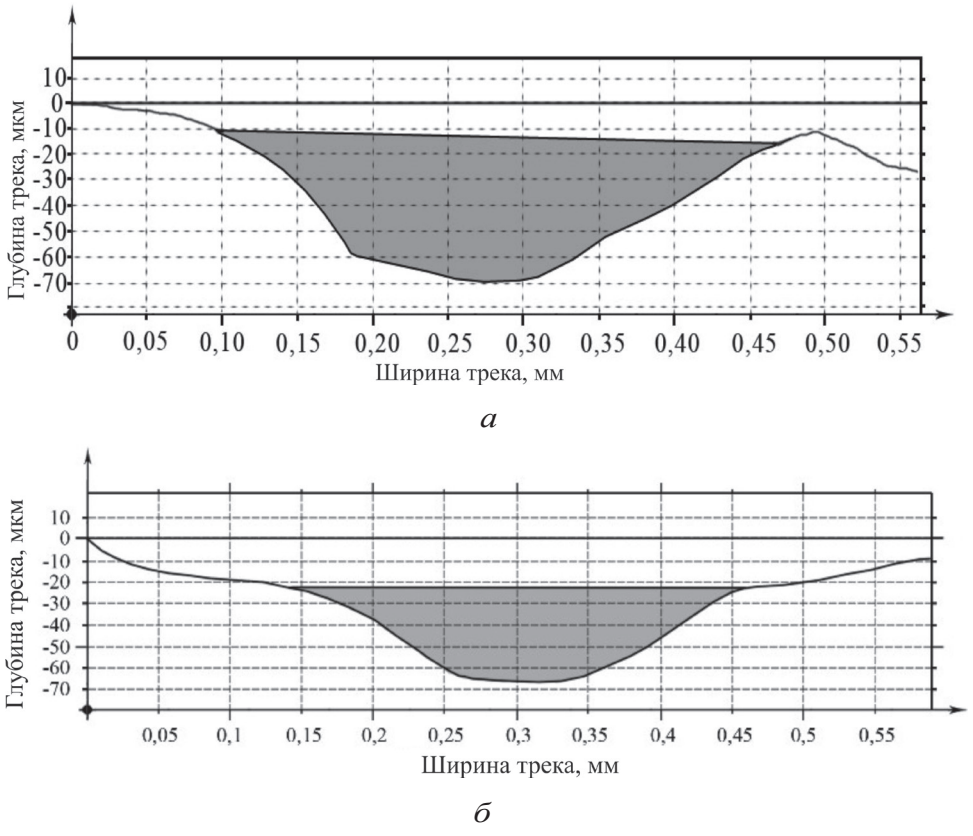


Рис. 4. Профили и площади сечений лунки изнашивания сплава ВК10КС (цветом показана площадь лунки изнашивания в поперечном сечении):

а – спеченное состояние; *б* – после закалки в 4,0 %-м водополимерном растворе Термовит М

на 8…10 % и уменьшение запыленности забоя вследствие повышения эффективности работы твердосплавного инструмента. Это приводит к увеличению срока эксплуатации резцов с термоупрочненным твердым сплавом на 30 %, при этом достигается также повышение производительности труда на один погонный метр проходки и экономия дефицитных материалов.

Выводы

1. При нагреве твердого сплава ВК10КС под закалку до 1150 °С происходит частичное растворение карбида вольфрама WC. При ускоренном охлаждении в 4 %-м водополимерном растворе Термовит М фиксируется высокотемпературное состояние со средним размером частиц карбида вольфрама 3 мкм, тогда как в исходном состоянии размер составлял 6,5 мкм.

2. При закалке происходит дополнительное растворение вольфрама и углерода в кобальтовой связующей, что приводит к увеличению параметра ее кристаллической решетки до a = 3,574 Å по сравнению с a = 3,552 Å в исходном состоянии.

3. Закалка вольфрамокобальтового твердого сплава ВК10КС приводит к увеличению предела прочности при изгибе на 10 %, уменьшению площади лунки изнашивания в поперечном сечении при трибологических испытаниях на 35 % по сравнению со спеченным состоянием.

Список литературы

1. *Лошак М.Г., Александрова Л.И.* Технологические аспекты термообработки твёрдых сплавов в спечённом состоянии // Порошковая металлургия. – 2006. – № 9/10. – С. 115–128.

2. *Лошак М.Г.* Прочность и долговечность твёрдых сплавов. – Киев: Наукова Думка, 1984. – 328 с.

3. *Лошак М.Г., Александрова Л.И.* Упрочнение твёрдых сплавов. – Киев: Наукова Думка, 1977. – 147 с.

4. *Люты В.* Закалочные среды: справочник. – Челябинск: Металлургия, 1990. – 192 с.

5. *Темлянцев М.В., Осколкова Т.Н.* Трещинообразование в процессах нагрева и охлаждения сталей и сплавов. – М.: Флинта: Наука, 2005. – 196 с.

6. *Ежов В.М.* Выбор экологически чистых полимерных водорастворимых закалочных сред взамен минеральных масел // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1991. – № 4. – С. 8–10.

7. *Горюшин В.В.* О применении синтетических закалочных сред в промышленности: (в помощь ИТР промышленных предприятий) // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1991. – № 4. – С. 10–14.

8. Технологические возможности закалки в экологически чистых водополимерных средах / В.Г. Кауфман, М.Б. Гутман, Р.Г. Гальцева, О.И. Макарычев // Электротехника. – 1990. – № 10. – С. 44–47.

9. *Тарасова Г.Н., Осколкова Т.Н.* Разработка технологии термической обработки зубьев дисковых пил в водополимерном растворе полимера ПК-2 // Известия вузов. Черная металлургия. – 2007. – № 4. – С. 51–53.

10. *Шорохова О.В. Осколкова Т.Н.* Особенности охлаждающей способности водного раствора полимера «Термовит-М» // Известия вузов. Черная металлургия. – 2011. – № 8. – С. 56–58.

11. *Шорохова О.В. Осколкова Т.Н.* Новая водополимерная закалочная среда «Термовит-М» // Известия вузов. Черная металлургия. – 2011. – № 4. – С. 28–30.

12. Патент 2392342 Российская Федерация, МПК[8] B 22 F 3/24/, C 22 C 29/00. Способ закалки твёрдого сплава на основе карбида вольфрама / Т.Н. Осколкова; ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет». – № 2009116915/02; заявл. 04.05.2009; опубл. 20.06.2010, Бюл. № 17. – 5 с.

13. *Новиков И.И.* Теория термической обработки металлов. – 4-е изд. – М.: Металлургия, 1986. – 480 с.

14. *Idesman A.V., Levitas V.I.* Finite element procedure for solving contact thermoelastoplastic problems at large strains, normal and high pressures // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 1995. – Vol. 126, iss. 1–2. – P. 39–66. – doi: 10.1016/0045-7825(95)00757-R.

15. *Лошак М.Г., Полотняк С.Б., Александрова Л.И.* Численное моделирование напряжённо-деформированного состояния вольфрамовых твердых сплавов после спекания // Сверхтвёрдые материалы. – 2005. – № 4. – С. 30–40.

OBRABOTKA METALLOV
(METAL WORKING AND MATERIAL SCIENCE)
N 4(65), October – December 2014, Pages 36–42

Research of the structure and properties of the hard alloy VK10KS after hardening in waterpolymeric liquid Termovit M

Oskolkova T.N. [1], Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: oskolkova@kuz.ru
Bataev A.A. [2], D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: bataev@adm.nstu.ru
Bataev V.A. [2], D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: vabataev@yandex.ru
Tjurin A.G. [2], Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: tyurin78@mail.ru
Kozyrev N.A. [1], D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru
Fedorov A.A. [1], Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: fedorov_130585@mail.ru

[1] Siberian State Industrial University, 42 Kirov st., Novokuznetsk, 654007, Russian Federation
[2] Novosibirsk State Technical University, 20 Prospect K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

The results of research of WC-Co hard alloy VK10KS after hardening from 1150 °C in waterpolymeric liquid Termovit M with concentration of 4 % under the temperature of 40 °C are considered. The changes in the structure of the alloy which are connected with the partial solution of WC during heating before hardening and, therefore, reducing its sizes from 5...8 in the initial state up to 2…4 after heat treatment are discovered. The solution of WC leads to the additional alloying of Co phase by C and W. In the initial samples in sintered state the average amount of dissolved tungsten is 10.89 %, but after hardening its concentration is increased up to 20.18 %. All above mentioned changes in the structure of the hard alloy after hardening lead to the increase of its modulus of rupture in bending up to 10 %, and decrease the area of friction up to 35 % in comparison with the sintered state when tribologic testing was conducted.

Keywords:
Hard alloy, hardening, waterpolymeric liquids, industrial oil, microstructure, antifriction, Co phase, hardness, modulus of rupture in bending.

References

1. Loshak M.G., Aleksandrova L.I. Tekhnologicheskie aspekty termoobrabotki tverdykh splavov v spechennom sostoyanii [Technological aspects of heat treatment of hard alloys in the sintered state]. *Poroshkovaya metallurgiya – Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 2006, no. 9-10 (451), pp. 115–127. (In Russian)

2. Loshak M.G. *Prochnost' i dolgovechnost' tverdykh splavov* [Strength and durability of hard alloys]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1984. 328 p.

3. Loshak M.G., Aleksandrova L.I. *Uprochnenie tverdykh splavov* [Hardening hard alloys]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1977. 147 p.

4. Luty W. *Chłodziwa hartownicze* [Quenching Fluids]. Warsaw, Naukowo-Techniczne Publ., 1986. 210 p. (Russ. ed.: Lyuty V. *Zakalochnye sredy: Spravochnik* [Quenching Fluids: A Handbook]. Chelyabinsk, Metallurgiya Publ., 1990. 192 p.).

5. Temlyantsev M.V., Oskolkova T.N. *Treshchinoobrazovanie v protsessakh nagreva i okhlazhdeniya stalei i splavov* [Cracking in the processes of heating and cooling of steels and alloys]. Moscow, Flinta Publ., Nauka Publ., 2005. 196 p.

6. Ezhov V.M. Vybor ekologicheski chistykh polimernykh vodorastvorimykh zakalochnykh sred vzamen mineral'nykh masel [Selection of ecologically clean water-soluble polymer quenchants in place of mineral oils]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov – Metal Science and Heat Treatment*, 1991, no. 4, pp. 8–10. (In Russian)

7. Goryushin V.V. O primenenii sinteticheskikh zakalochnykh sred v promyshlennosti (V pomoshch' ITR promyshlennykh predpriyatii) [The use of synthetic quenchants in industry (as an aid to engineering and technical personnel in industrial plants)]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov – Metal Science and Heat Treatment*, 1991, no. 4, pp. 10–14. (In Russian)

8. Kaufman V.G., Gutman M.B., Gal'tseva R.G., Makarychev O.I. Tekhnologicheskie vozmozhnosti zakalki v ekologicheski chistykh vodopolimernykh sredakh [Technological capabilities quenching in ecologically clean water-polymeric media]. *Elektrotekhnika – Russian Electrical Engineering*, 1990, no. 10, pp. 44–47.

9. Tarasova G.N., Oskolkova T.N. Razrabotka tekhnologii termicheskoi obrabotki zub'ev diskovykh pil v vodopolimernom rastvore polimera PK-2 [Heat treatment of Disk-Saw teeth in an aqueous solution of PK-2 polymer]. *Izvestiya VUZov. Chernaya Metallurgiya – Steel in Translation*, 2007, no. 4, pp. 51–53. (In Russian)

10. Shorokhova O.V. Oskolkova T.N. Osobennosti okhlazhdayushchei sposobnosti vodnogo rastvora polimera «Termovit-M» [Features of the cooling ability of an aqueous solution of polymer "Thermovit-M"]. *Izvestiya VUZov. Chernaya Metallurgiya – Steel in Translation*, 2011, no. 8, pp. 56–58. (In Russian)

11. Shorokhova O.V. Oskolkova T.N. Novaya vodopolimernaya zakalochnaya sreda «Termovit-M» [Termovit-M water-polymer quenching fluid]. *Izvestiya VUZov. Chernaya Metallurgiya – Steel in Translation*, 2011, no. 4, pp. 28–30. (In Russian)

12. Oskolkova T.N. *Sposob zakalki tverdogo splava na osnove karbida vol'frama* [A method of quenching hard alloy based on tungsten carbide]. Patent RF, no. 2392342, 2010.

13. Novikov I.I. *Teoriya termicheskoi obrabotki metallov* [The Theory of Heat Treatment of Metals]. 4th ed. Moscow, Metallurgiya Publ., 1986. 480 p.

14. Idesman A.V., Levitas V.I. Finite element procedure for solving contact thermoelastoplastic problems at large strains, normal and high pressures. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 1995, vol. 126, iss. 1-2, pp. 39–66. doi: 10.1016/0045-7825(95)00757-R

15. Loshak M.G., Polotnyak S.B., Aleksandrova L.I. Chislennoe modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya vol'framovykh tverdykh splavov posle spekaniya [Numerical modeling of stressed-strained state of as-sintered tungsten hard alloys]. *Sverkhtverdye materialy – Journal of Superhard Materials*, 2005, no. 4, pp. 30–40. (In Russian)

Funding

The work was done under the project part of the state task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (Public contract no. 11.1531.2014/k)

Received 02 September 2014
Revised 23 October 2014
Accepted 05 November 2014