

УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ Т14К8 И Т15К6

© С. И. Богодухов, Е. С. Козик, Е. В. Свиденко¹*Статья поступила 22 июня 2015 г.*

Представлены результаты исследования влияния термической и химико-термической обработки, в частности термической обработки в солях и карбонитрации, на трибологические свойства твердых сплавов марок Т14К8 и Т15К6. Испытывали штабики (образцы) сплавов размером $5 \times 5 \times 35$ мм. Карбонитрацию проводили в ваннах (среда, %: цианат калия КСНО — 85 – 90, поташ K_2CO_3 — 10 – 15) при температуре 560 °С в течение 30 мин с охлаждением на воздухе. Термическую обработку осуществляли в следующей последовательности: предварительный подогрев до температуры 150 °С (3 мин), нагрев в соляной ванне до 850 °С (3 мин), окончательный нагрев до температуры 1150 °С (3 мин). Определили зависимости твердости, алмазно-абразивного износа и износостойкости образцов от режимов термической и химико-термической обработки. Твердость измеряли на приборе ТН 301. Предел прочности до и после обработки в расплаве солей и карбонитрации определяли на разрывной электромеханической машине ИР 5047-50. Абразивный износ, по результатам которого оценивали влияние обработки на интенсивность изнашивания и коэффициент трения, — на алмазной чашке $150 \times 20 \times 5$ АСМ 7/5 В2-01 (ГОСТ 16172–90). Микроструктуру исследовали на мультивизоре μ Vizo-MET-221 и электронном микроскопе Jeol-6000 NeoScore. Фазовый состав определяли с помощью микроdifрактометра МД-10.

Ключевые слова: твердый сплав; термическая обработка; твердость; алмазно-абразивный износ; износостойкость; микроструктура.

Улучшение стойкостных характеристик твердых сплавов проводят по следующим основным направлениям: совершенствование технологии изготовления сплавов, повышение свойств карбидной основы и связующей фазы, нанесение износостойких покрытий. При этом термическая и химико-термическая обработка сплавов не теряет своей актуальности [1 – 11].

Цель работы — оценка влияния термической и химико-термической обработки на трибологические характеристики твердых сплавов Т14К8 и Т15К6.

Как известно, состояние и свойства поверхностного слоя рабочих граней металлообрабатывающего инструмента, в том числе и твердосплавного (вне зависимости от условий его применения), в основном определяют его стойкость при эксплуатации [13 – 15]. Изменения в приповерхностном слое влияют на поверхностные, объемные и прочностные свойства материала.

Исследовали влияние термической и химико-термической обработки, в частности термической обработки в солях и карбонитрации на упрочнение твердых сплавов Т14К8 и Т15К6. Испытывали штабики (образцы) из сплавов размером $5 \times 5 \times 35$ мм.

Карбонитрацию проводили в ваннах (среда, %: цианат калия КСНО — 85 – 90, поташ K_2CO_3 — 10 – 15) при температуре 560 °С в течение 30 мин с охлаждением на воздухе. Промывку осуществляли

в проточной горячей (до 90 °С) воде в течение 10 мин. Последовательность термической обработки следующая: предварительный подогрев (до температуры 150 °С, 3 мин), нагрев в соляной ванне (температура 850 °С, 3 мин), окончательный нагрев (температура 1150 °С, 3 мин), отпуск (температура 200 °С, 10 мин). Составы ванн и интервалы рабочих температур: а) 28 % NaCl + 72 % BaCl₂, T = 800 – 1100 °С; б) BaCl₂, T = 900 – 1300 °С; в) 50 % KNO₃ + 50 % NaNO₂, T = 245 – 535 °С.

Микроструктуру исследовали на мультивизоре μ Vizo-MET-221 ($\times 1000$) и электронном микроскопе Jeol-6000 NeoScore ($\times 2000$). Микроструктуры сплавов до и после карбонитрации приведены на рис. 1.

Твердость образцов измеряли на приборе ТН 301. Предел прочности определяли до и после термической обработки (ТО) в расплаве солей и карбонитрации на разрывной электромеханической машине ИР 5047-50. Абразивный износ — на алмазной чашке АСМ 7/5 В2-01 (ГОСТ 16172–90) (рис. 2). На машине трения СМЦ-2 с помощью трехфазного измерителя-преобразователя К505 измерили мощность при трении.

Экспериментальные данные по определению микротвердости и износа (среднее из трех измерений) представлены на рис. 3.

Видно, что микротвердости сплавов Т14К8 и Т15К6 после карбонитрации и ТО возрастают на 22 и 30 и на 5 и 13 % соответственно (см. рис. 3, а).

¹ Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия; e-mail: matm@mail.osu.ru

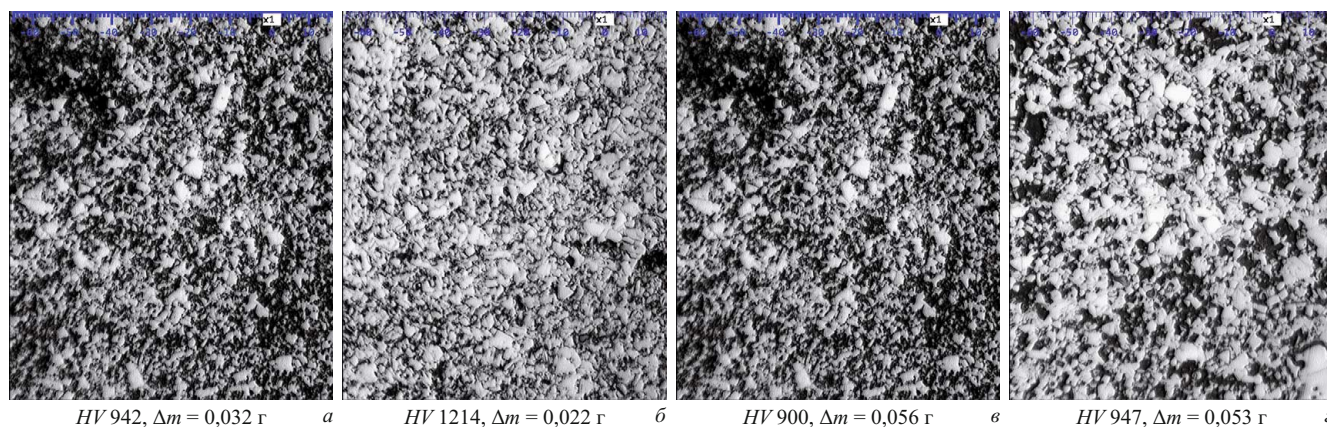


Рис. 1. Микроструктуры твердых сплавов Т14К8 и Т15К6 до (3-й класс зернистости) (а, б) и после карбонитрации 30 мин (2-й класс зернистости) (в, з) соответственно ($\times 1000$)

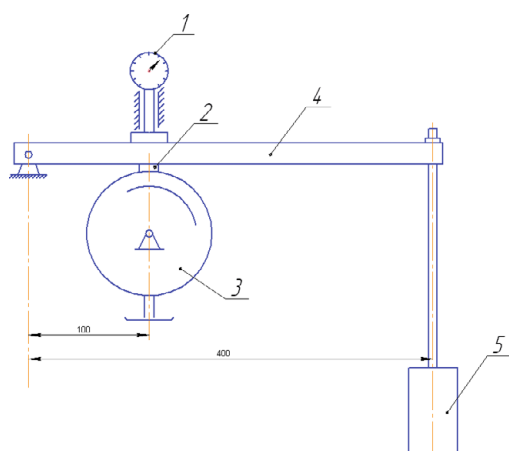


Рис. 2. Схема установки для определения алмазно-абразивного износа: 1 — индикатор; 2 — испытуемый образец; 3 — противовес; 4 — рычаг; 5 — груз

Результаты определения предела прочности при изгибе приведены в табл. 1.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют об эффективности применения ТО для повышения механических свойств исследованных твердых сплавов.

Для дальнейшего анализа влияния режимов химико-термической и термической обработки на трибологические свойства сплавов образцы испытывали на алмазно-абразивный износ (см. рис. 3, б). Продол-

жительность испытаний составила 9 мин на каждый образец. Массу измеряли через каждые 3 мин с помощью электронных весов ВМ510Д (точность до 0,001 г).

После алмазно-абразивного износа (длительность 3 – 9 мин) абразивный износ исходных сплавов по сравнению с термообработанными оказался в 2 – 2,8 (Т14К8) и 1,6 – 2 (Т15К6) раза больше. По сравнению с образцами после химико-термической обработки (карбонитрации) — в 0,15 – 1,7 раза.

Износостойкость твердых сплавов зависит от их структуры (количества и типа карбидных фаз и связующего элемента) и механических свойств (твердости, создаваемого абразивного и коррозионного воздействия, коэффициента трения и эрозии). Сплавы Т15К6 и Т14К8 содержат два типа карбидов: TiC ($HV_{100} = 900 - 1100$) и WC ($HV_{100} = 1200$), которые снижают износ и интенсивность изнашивания и повышают износостойкость.

Интенсивность изнашивания I_h рассчитывали по формуле:

$$I_h = \Delta m / L_T,$$

где Δm — разность массы образца до и после алмазно-абразивного износа; $L_T = \pi d n t$ — пройденный путь (d и n — диаметр и скорость вращения вала; t — время).

Таблица 1. Результаты определения предела прочности сплавов Т14К8 и Т15К6

Сплав	Режим ТО	Предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$, Н/мм ²
Т14К8	Исходный	1250
	Карбонитрация, 30 мин	1300
	1150 °С (3 мин), закалка в масле	1325
Т15К6	Исходный	1180
	Карбонитрация, 30 мин	1225
	1150 °С (3 мин), закалка в масле	1246

Таблица 2. Результаты расчетов интенсивности изнашивания I_h и коэффициента трения $f_{тр}$

Сплав	Режим ТО	Коэффициент трения $f_{тр}$	Интенсивность изнашивания $I_h \cdot 10^{-4}$, г/м
Т14К8	Исходный	0,063	1,24
	Карбонитрация, 30 мин	0,059	0,85
	1150 °С (3 мин), закалка в масле	0,053	0,73
Т15К6	Исходный	0,075	1,56
	Карбонитрация, 30 мин	0,069	1,05
	1150 °С (3 мин), закалка в масле	0,067	0,87

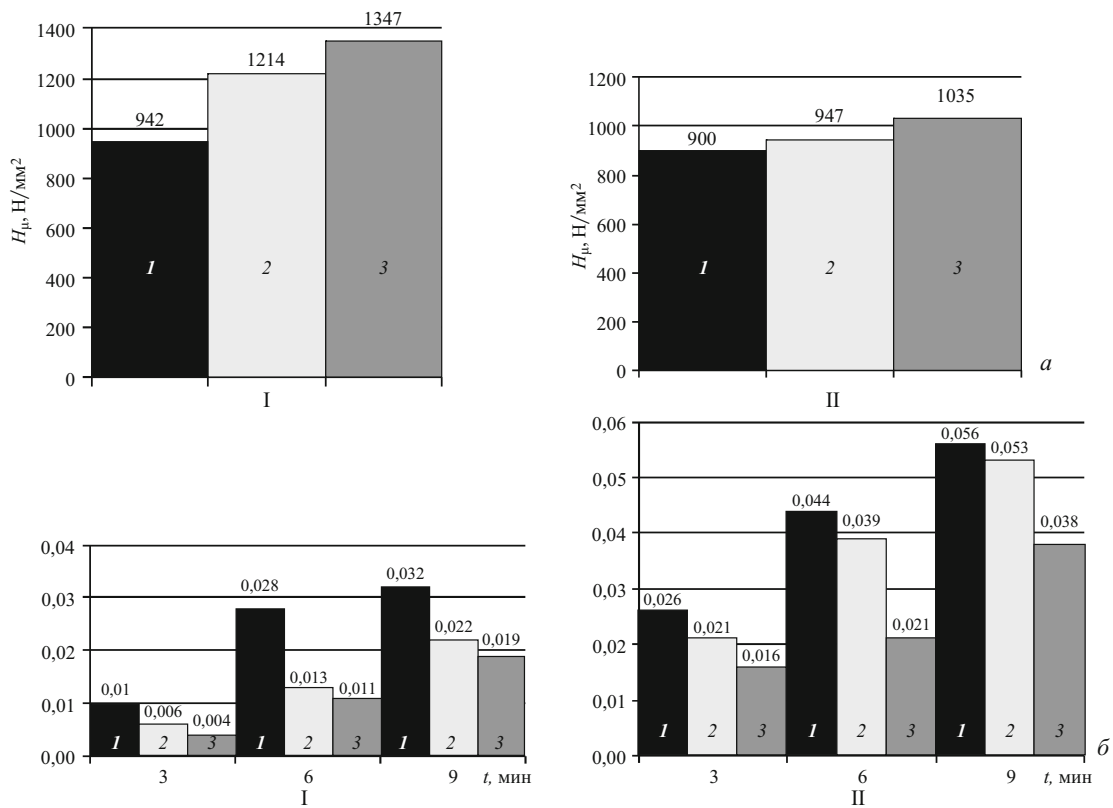


Рис. 3. Микротвердость (а) и износ (б) сплавов Т14К8 (I) и Т15К6 (II) при различных режимах ТО: 1 — исходный образец; 2 — карбонитрация 30 мин; 3 — 1150 °С (3 мин), закалка в масле

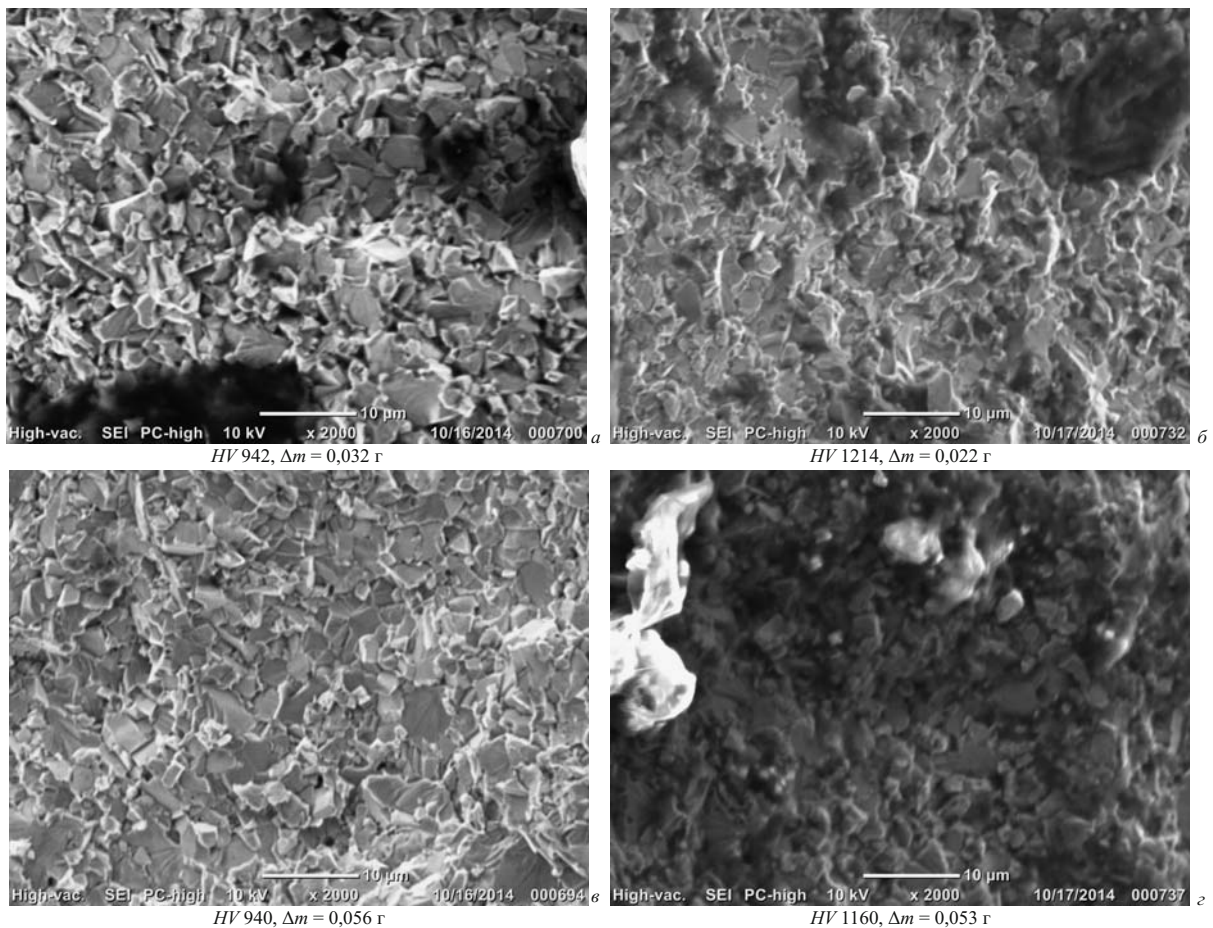


Рис. 4. Изломы твердых сплавов Т14К8 и Т15К6 до (а, в) и после карбонитрации 30 мин (б, г) (×2000)

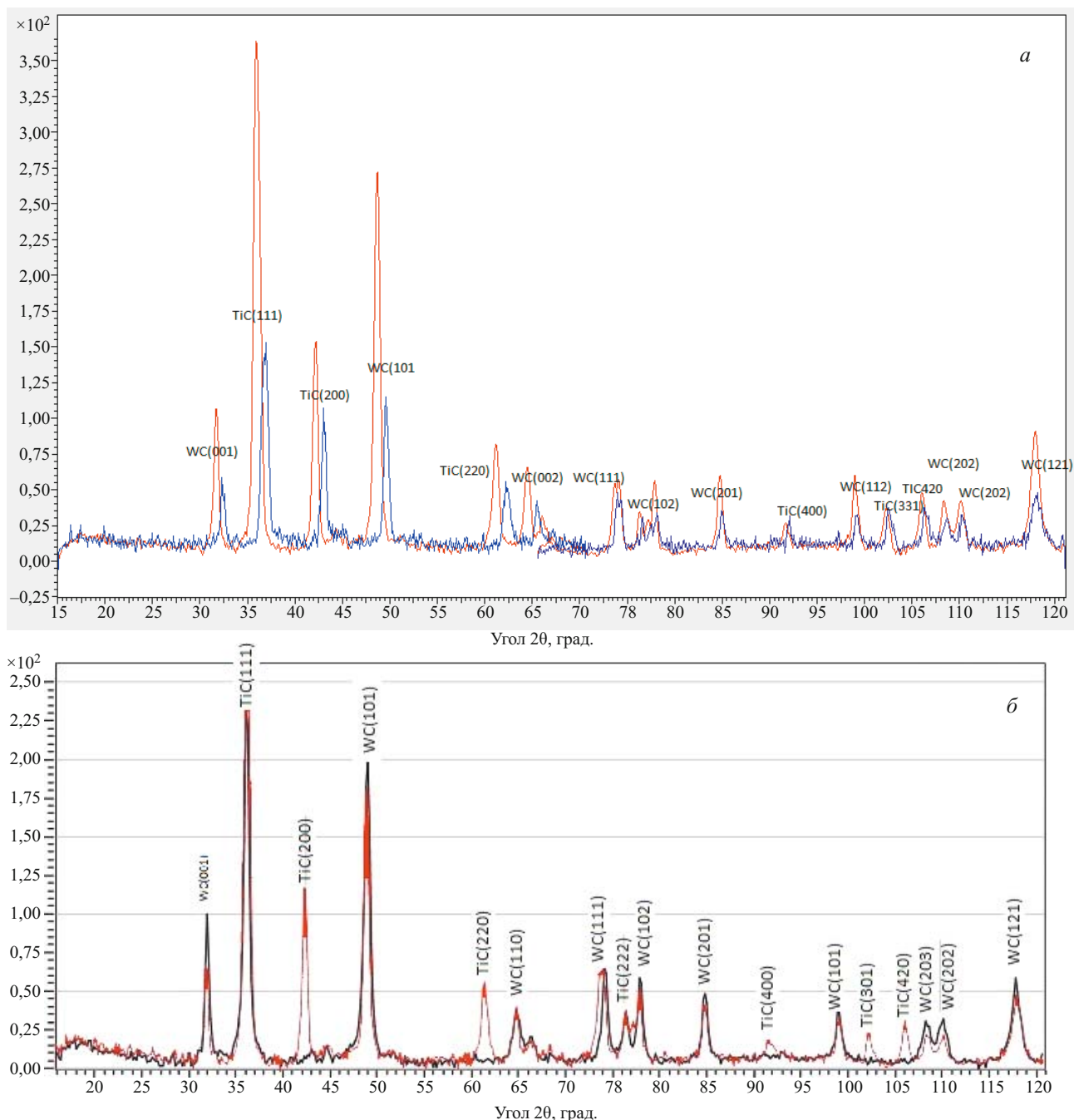


Рис. 5. Фрагменты наложенных дифрактограмм сплава Т15К6 после карбонитрации 30 мин (а) и ТО (б) (цифры у пиков — индексы интерференции (HKL))

Коэффициент трения $f_{тр}$ рассчитывали по формуле:

$$f_{тр} = \frac{M}{0,5bP},$$

где M — момент трения; b — ширина образца; P — нагрузка.

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Видно, что в результате карбонитрации коэффициент трения уменьшился на 8, а после ТО — на 15 %. Интенсивность изнашивания — на 31 и 44 % соответственно. Это объясняется ростом механических характеристик сплавов после химико-термической и термиче-

ческой обработки и структурными изменениями, которые можно проследить на фрактографиях излома (рис. 4).

Как видно из рис. 4, характер излома не меняется (хрупкий), однако после карбонитрации наблюдается уменьшение размеров карбидов вольфрама и титана по сравнению с изломами исходных образцов.

Фазовый состав сплавов определяли с помощью микродифрактометра МД-10 (диапазон регистрации — 16 – 120°, два поддиапазона одновременной регистрации спектра — 16 – 70° или 65 – 120°, интервал перекрытия поддиапазонов — 5°) [12]. Среднеквадратич-

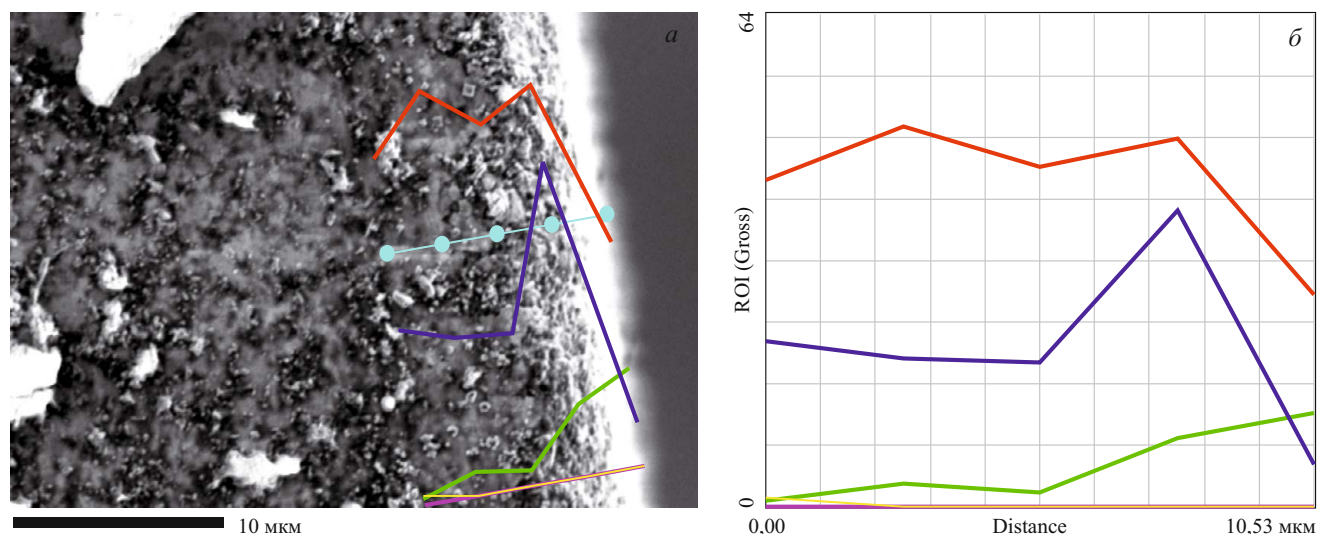


Рис. 6. Микроструктура поверхностного слоя (а) и элементный состав в пяти точках по глубине слоя (б) твердого сплава Т15К6 (красный — изменение массовой доли азота, синий — углерода, розовый — вольфрама, зеленый — титана, бирюзовый — кобальта)

ное отклонение определения угловой координаты одного и того же дифракционного пика составляло не более $0,02^\circ$.

На рис. 5 представлен результат рентгеноструктурного анализа сплава Т15К6 после карбонитрации (синяя линия — исходный образец, красная — после карбонитрации) и термообработки (черная линия — исходный образец, красная — после термообработки).

Результаты вычислений по дифрактограмме (см. рис. 3) параметров решетки (a , c), степени тетрагональности (c/a), величины блоков мозаики (D_{HKL}), максимального отклонения межплоскостного расстояния от среднего значения (Δd), микродеформации решетки (Δa), величины микроискажений ($\Delta a/a$) представлены в табл. 3.

Размеры блоков фаз WC и TiC после карбонитрации и закалки уменьшились на 43 и 40, 40 и 38 % соответственно. Микроискажения в фазе WC после карбонитрации увеличились в 8, а после термообработки в 10 раз. В фазе TiC они уменьшились в 2 и 4 раза соответственно.

Элементный анализ химического состава (азот, углерод, вольфрам, титан, кобальт) поверхностного слоя твердого сплава Т15К6 после карбонитрации 30 мин и в пяти точках по глубине образца проводили на электронном микроскопе JEOL JCM-6000 с использованием ЭДС спектрометра (рис. 6). Глубина карбо-

нитрированного слоя составила 2,5 мм. Содержание углерода и азота с глубиной уменьшилось на 18 и 10 %, вольфрама и кобальта — не изменилось, а титана — незначительно увеличилось (2 – 4 %).

Таким образом, результаты механических испытаний твердых сплавов Т14К8 и Т15К6 после различных видов химико-термической и термической обработки показали эффективность применения термической обработки для повышения их механических характеристик. Так, у образцов после карбонитрации и термической обработки абразивный износ уменьшился примерно в 2 раза, коэффициент трения — на 15, а интенсивность изнашивания — на 45 %, что объясняется повышением механических характеристик и структурными изменениями сплавов. При этом после карбонитрации наблюдается уменьшение размеров карбидов вольфрама и титана по сравнению с исходными образцами. Также меняется структура карбидов. Можно заключить, что при термической обработке идет упрочнение сплавов за счет дробления блоков мозаики в зернах WC и роста микроискажений решетки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лошак М. Г. Прочность и долговечность твердых сплавов. — Киев: Наукова думка, 1984. — 326 с.
2. Богодухов С. И., Гарипов В. С., Козик Е. С., Солосина Е. В. Термическая обработка твердого сплава Т14К8 / Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 12. С. 41 – 44.

Таблица 3. Результаты вычислений по дифрактограмме (сплав Т15К6)

Фаза	Режим ТО	a , Å	c , Å	c/a	Δd	Δa , Å	$\Delta a/a \cdot 10^{-3}$, %	D_{HKL} , нм
WC	Исходный	2,877	2,807	0,975	0,479	0,685	0,023	7,052
	Карбонитрация, 30 мин	2,869	2,756	0,974	1,836	0,490	0,170	4,224
	1150 °С (3 мин), закалка в масле	2,851	2,734	0,973	2,127	0,062	0,221	4,101
TiC	Исходный	4,314	—	—	0,096	0,166	0,038	10,616
	Карбонитрация, 30 мин	4,308	—	—	0,318	0,326	0,075	6,639
	1150 °С (3 мин), закалка в масле	4,299	—	—	0,360	0,624	0,145	6,16

3. Пат. № 2517093 РФ, МПК В22 F 3/24. Способ термической обработки режущего инструмента с напаянной твердосплавной пластиной / Богодухов С. И., Проскурин А. Д., Козик Е. С., Шейнин Б. М., Солосина Е. В.; заявитель и патентообладатель Оренбургский государственный университет. — № 2013014370/02; заявл. 09.04.2013; опубл. 27.05.2014. Бюл. № 15.
4. **Панов В. С., Чувилин А. М.** Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. — М.: МИСИС, 2001. — 428 с.
5. **Лошак М. Г.** Упрочнение твердых сплавов. — Киев: Наукова думка, 1977. — 148 с.
6. Пат. № 2294261 РФ, МПК В22 F 3/24, С22 С29/00. Способ закалки твердого сплава / Осолкова Т. Н.; заявитель и патентообладатель Сибирский государственный индустриальный университет. — № 2005118570/02; заявл. 15.06.2005; опубл. 27.02.2007. Бюл. № 6.
7. Пат. № 2356693 РФ, МПК В22 F 3/24, С22 С29/00. Способ закалки твердого сплава / Осолкова Т. Н.; заявитель и патентообладатель Сибирский государственный индустриальный университет. — № 2007139225/02; заявл. 22.10.2007; опубл. 27.05.2009. Бюл. № 15.
8. Пат. № 2392342 РФ, МПК В22 F 3/24. Способ закалки твердого сплава на основе карбида вольфрама / Осолкова Т. Н.; заявитель и патентообладатель Сибирский государственный индустриальный университет. — № 2009116915/02; заявл. 04.05.2009; опубл. 20.05.2011. Бюл. № 17.
9. Пат. № 2355513 РФ, МПК В22 F 3/24, С22 С29/08. Способ закалки твердого сплава на основе карбида вольфрама / Осолкова Т. Н., Щеглова А. Б.; заявитель и патентообладатель Сибирский государственный индустриальный университет. — № 2007133961/02; заявл. 11.09.2007; опубл. 20.05.2009. Бюл. № 14.
10. Пат. № 2528539 РФ, МПК В22 F 3/24. Способ получения режущего инструмента из карбидосодержащих сплавов вольфрамовой (ВК) и титано-вольфрамовой (ТК) групп / Богодухов С. И. и др.; заявитель и патентообладатель Оренбургский государственный университет. — № 2013121411/02; заявл. 07.05.2013; опубл. 20.09.2014. Бюл. № 26.
11. **Guo Zhixing, Xiong Ji, Yang Mei, Jiang Cijin.** WC — TiC — Ni cemented carbide with enhanced properties. / J. Alloys and Compounds. 2008. Vol. 465. № 1 — 2. P. 157 — 162.
12. **Горелик С. С., Расторгуев Л. Н., Скаков Ю. А.** Рентгенографический и электронно-оптический анализ. — М.: МИСИС, 1994. — 328 с.
13. **Богодухов С. И., Козик Е. С.** Материаловедение. — Старый Оскол: ТНТ, 2014. — 536 с.
14. **Бондаренко В. А., Богодухов С. И.** Обеспечение качества и улучшение характеристик режущих инструментов. — М.: Машиностроение, 2000. — 144 с.
15. **Козик Е. С., Шейнин Б. М., Стризов А. О., Свиденко Е. В.** Влияние режимов термической обработки на свойства твердосплавного режущего инструмента Т14К8 / Вестник ОГУ. 2015. № 1. С. 194 — 200.
3. RF Pat. 2517093, MPK B22 F 3/24. Sposob termicheskoi obrabotki rezhushchego instrumenta s napayannoi tverdosplavnoi plastinnoi [The method of heat treatment of cutting tools with carbide soldered plate] / Bogodukhov S. I., Proskurin A. D., Kozik E. S., Sheinin B. M., Solosina E. V.; applicant and owner Orenburg State University. — N 2013014370/02; appl. 09.04.2013; publ. 27.05.2014. Byull. Otkryt. Izobret. N 15 [in Russian].
4. **Panov V. S., Chuvilin A. M.** Tekhnologiya i svoystva spechennykh tverdyykh splavov i izdelii iz nikh [Technology and properties of sintered hard alloys and products from them]. — Moscow: Izd. MISIS, 2001. — 428 p. [in Russian].
5. **Loshak M. G.** Uprochnenie tverdyykh splavov [Hardening of hard alloys]. — Kiev: Naukova dumka, 1977. — 148 p. [in Russian].
6. RF Pat. 2294261, MPK B22 F 3/24, C22 C29/00. Sposob zakalki tverdogo splava [The process of hard alloy hardening] / Oskolkova T. N.; applicant and owner Siberian State Industrial University. — N 2005118570/02; appl. 15.06.2005; publ. 27.02.2007. Byull. Otkryt. Izobret. N 6 [in Russian].
7. RF Pat. 2356693, MPK B22 F 3/24, C22 C29/00. Sposob zakalki tverdogo splava [The process of hard alloy hardening] / Oskolkova T. N.; applicant and owner Siberian State Industrial University. — N 2007139225/02; appl. 22.10.2007; publ. 27.05.2009. Byull. Otkryt. Izobret. N 15 [in Russian].
8. RF Pat. 2392342, MPK B22 F 3/24. Sposob zakalki tverdogo splava na osnove karbida vol'frama [The process of hard alloy hardening based on tungsten carbide] / Oskolkova T. N.; applicant and owner Siberian State Industrial University. — N 2009116915/02; appl. 04.05.2009; publ. 20.05.2011. Byull. Otkryt. Izobret. N 17 [in Russian].
9. RF Pat. 2355513, MPK B22 F 3/24, C22 C29/08. Sposob zakalki tverdogo splava na osnove karbida vol'frama [A method of quenching method carbide based on tungsten carbide] / Oskolkova T. N., Shcheglova A. B.; applicant and owner Siberian State Industrial University. — N 2007133961/02; appl. 11.09.2007; publ. 20.05.2009. Byull. Otkryt. Izobret. N 14 [in Russian].
10. RF Pat. 2528539, MPK B22 F 3/24. Sposob polucheniya rezhushchego instrumenta iz karbidosoderzhashchikh splavov vol'framovoi (VK) i titano-vol'framovoi (TK) grupp [A method for producing cutting tools made of tungsten alloys karbidosoderzhashchih (VC) and titanium-tungsten (TC) groups stalemate] / Bogodukhov S. I. et al.; applicant and owner Orenburg State University. — N 2013121411/02; appl. 07.05.2013; publ. 20.09.2014. Byull. Otkryt. Izobret. N 26 [in Russian].
11. **Guo Zhixing, Xiong Ji, Yang Mei, Jiang Cijin.** WC — TiC — Ni cemented carbide with enhanced properties. / J. Alloys and Compounds. 2008. Vol. 465. N 1 — 2. P. 157 — 162.
12. **Gorelik S. S., Rastorguev L. N., Skakov Yu. A.** Rentgenograficheskii i elektronno-opticheskii analiz [X-ray and electron-optical analysis]. — Moscow: Izd. MISIS, 1994. — 328 p. [in Russian].
13. **Bogodukhov S. I., Kozik E. S.** Materialovedenie [Materials science]. — Staryi Oskol: TNT, 2014. — 536 p. [in Russian].
14. **Bondarenko V. A., Bogodukhov S. I.** Obespechenie kachestva i uluchshenie kharakteristik rezhushchikh instrumentov [Quality assurance and improved cutting tool performance]. — Moscow: Mashinostroenie, 2000. — 144 p. [in Russian].
15. **Kozik E. S., Sheinin B. M., Strizhov A. O., Svidenko E. V.** Vliyaniye rezhimov termicheskoi obrabotki na svoystva tverdosplavnogo rezhushchego instrumenta T14K8 [Effect of heat treatment on properties of carbide cutting tools T14K8] / Vestnik OGU. 2015. N 1. P. 194 — 200 [in Russian].

REFERENCES

1. **Loshak M. G.** Prochnost' i dolgovechnost' tverdyykh splavov [The strength and durability of hard alloys]. — Kiev: Naukova dumka, 1984. — 326 p. [in Russian].
2. **Bogodukhov S. I., Garipov V. S., Kozik E. S., Solosina E. V.** Termicheskaya obrabotka tverdogo splava T14K8 [Thermal treatment of solid alloy T14K8] / Zagotov. Proizv. Mashinostr. 2012. N 12. P. 41 — 44 [in Russian].