

Исследование структуры и свойств

Физические методы исследования и контроля

УДК 621.762

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРОЧНОСТЬ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СПЛАВА Т15К6

© С. И. Богодухов, Е. С. Козик, Е. В. Свиденко¹

Статья поступила 9 июня 2015 г.

Представлены результаты исследования эксплуатационных свойств твердого сплава Т15К6 при его термической обработке в соляных ваннах различного состава. Температуры нагрева под закалку и отпуск составляли 1050 ± 100 и 400 ± 200 °С; закалку осуществляли в масле И20 или на воздухе. В экспериментах использовали резцы с быстросменными твердосплавными пластинами и штабики (ГОСТ 3882–74). Исследовали зависимости твердости по Виккерсу, износа при резании, параметров тонкой структуры, микроструктуры и излома поверхности сплава от режимов термической обработки. Микроструктуру материала после термообработки изучали на металлографическом микровизоре μ Vizo-MET-221 и растровом электронном микроскопе Jeol JCM-6000. Испытания на изгиб твердосплавных штабиков с целью определения предела прочности проводили на универсальной разрывной машине ИР 5047-50-10. Анализ степени дефектности структуры, напряженного состояния карбидной фазы и определение фазового состава осуществляли с помощью микродифрактометра МД-10.

Ключевые слова: твердый сплав; термическая обработка; твердость; износ; рентгеноструктурный анализ; микроструктура.

Эксплуатационные свойства спеченных твердых сплавов в основном определяются их износостойкостью и прочностью, причем последнее свойство определяющее (лимитирующее) [1–4].

Износостойкость твердых сплавов значительно выше, чем у быстрорежущей стали (особенно при скоростях резания 100 м/мин и более), в то же время прочность существенно ниже. Это накладывает определенные ограничения на режим резания металлов или силу удара при бурении и заставляет выбирать (подбирать) для каждой операции сплав, обладающий, прежде всего, минимально допустимой (необходимой) прочностью.

Для повышения эксплуатационных свойств существуют различные методы упрочнения твердых сплавов [5–13].

Цель работы — исследование возможности улучшения эксплуатационных свойств твердого сплава Т15К6 путем термической обработки (ТО) в соляных ваннах.

Исследовали резцы с быстросменными твердосплавными пластинами и штабики марки Т15К6

(ГОСТ 3882–74). Химический состав (%) и свойства твердого сплава Т15К6: TiC — 15, Co — 6, WC — 79; твердость — 1190 Н/мм², предел прочности при изгибе — 1176 Н/мм²; теплопроводность — 12,60 Вт/(м · °С).

Для улучшения эксплуатационных характеристик сплава Т15К6 проводили его термическую обработку в соляных ваннах. Нагрев под закалку осуществляли в электродных печах-ваннах С-35. Составы ванн и интервалы рабочих температур: 28 % NaCl + 72 % BaCl₂, $T = 800 - 1100$ °С; BaCl₂, $T = 900 - 1300$ °С; 45 % KNO₃ + 45 % NaNO₂ + 10 % NaOH, $T = 245 - 600$ °С. Температура нагрева под закалку $T_3 = 1050 \pm 10$ °С. Закалку проводили в масле И20 или на воздухе. Температуру отпуска (2-кратного) $T_{отп} = 400 \pm 200$ °С.

После ТО определяли твердость по Виккерсу, предел прочности при изгибе, исследовали микроструктуру.

Результаты испытаний на твердость осредняли по 8–10 измерениям. Микроструктуру изучали на металлографическом микровизоре μ Vizo-MET-221 ($\times 1000$) и растровом электронном микроскопе Jeol JCM-6000 ($\times 1000 - 3000$). Испытания на изгиб твердосплавных штабиков для определения предела проч-

¹ Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия.

ности проводили на универсальной разрывной машине ИР 5047-50-10.

Анализ степени дефектности структуры, напряженного состояния карбидной фазы и фазового состава проводили с помощью микроdifрактометра МД-10 [14].

На рис. 1 представлена дифрактограмма сплава Т15К6.

Каждая фаза в сплаве дает определенную совокупность отражений линии на дифрактограмме. Для нахождения местоположения такой линии определяли межплоскостные расстояния (d/n) и сравнивали их

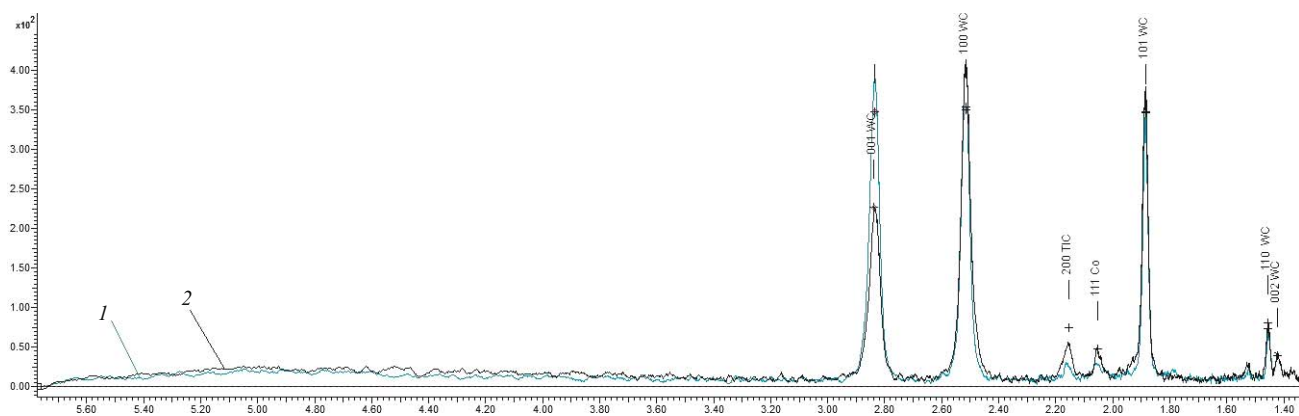


Рис. 1. Фрагмент дифрактограммы твердого сплава Т15К6 до (1) и после (2) ТО (диапазон углов 15 – 70°, цифры у пиков — межплоскостные расстояния)

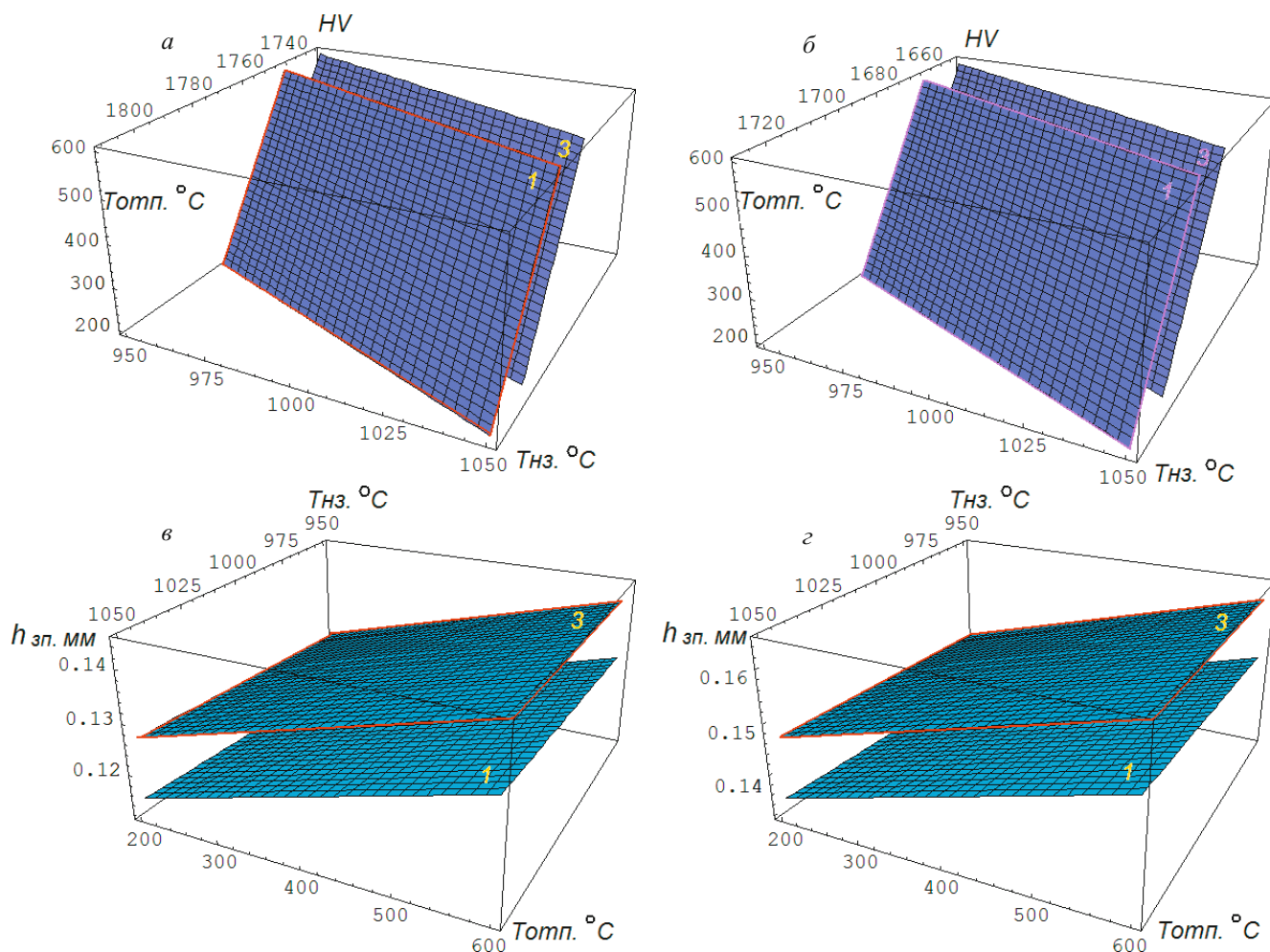


Рис. 2. Результаты моделирования зависимостей твердости (а, б) и износа (в, г) от режимов ТО (охлаждение — масло и воздух, кратность — 1,3 соответственно)

с литературными данными. Аналогично сопоставляли и полученные на дифрактограмме углы θ [14].

Интенсивность дифракционных линий пропорциональна количеству фазы в сплаве, т.е. чем больше площадь под кривой, тем больше структурной составляющей в материале. Со в Т15К6 мало (минимальное содержание, которое можно распознать, — 3%), его линии малоинтенсивные по сравнению с линиями WC и TiC.

Пластины после ТО и в исходном состоянии испытывали на резание на токарно-винторезном станке (модели 16К20 и 1А616) путем торцевого точения заготовки из стали 50 (отожженная феррито-перлитная структура, 156 – 197 HB).

После проверки значимости коэффициентов уравнения зависимостей твердости (HV), предела прочности при изгибе ($\sigma_{изг}$) и износа ($h_{задн}$) от режимов ТО имеют вид:

$$Y_{1HV} = 1726 + 34X_1 + 41X_2 - 16X_3 + 9X_4,$$

$$Y_{2\sigma_{изг}} = 1521 - 79X_1 - 56X_2 + 29X_3 - 46X_4,$$

$$Y_{3h_{задн}} = 0,14 + 0,03X_1 - 0,01X_2 + 0,009X_3 + 0,006X_4.$$

Видно, что твердость повышается с увеличением T_3 и снижением $T_{отп}$. Вместе с тем для повышения прочности необходимо понижать температуры нагрева под закалку и отпуска. Для уменьшения износа, напротив, следует повышать T_3 , $T_{отп}$ и время отпуска и снижать скорость охлаждения при закалке.

На рис. 2 представлены результаты моделирования зависимостей свойств сплава от режимов ТО.

По данным дифрактограммы проводили фазовый анализ — определяли фактическое расположение линий у исходного и термообработанного сплава Т15К6 (табл. 1). Видно, что после ТО линии смещаются в сторону больших углов.

В табл. 2 приведены данные по изменению структуры карбидов вольфрама и титана в сплаве Т15К6 после закалки для режима, обеспечивающего минимальный износ по задней поверхности (0,09 мм).

Рентгенографический анализ показал, что при ТО структура WC меняется, однако положение линий (001), (100), (101), (110) WC и, следовательно, сумма главных напряжений остаются прежними. Наблюдается увеличение периода решетки Co. Можно предположить, что идет дополнительное растворение WC и TiC

в кобальте. В образцах сплава ($T_3 = 1050$ °С, $T_{отп} = 400$ °С, 2-кратный) происходит уменьшение блоков мозаики WC и рост микроискажений решетки (см. табл. 2). Таким образом, при закалке наблюдается упрочнение сплава, выражающееся в дроблении блоков мозаики в зернах WC, росте микроискажений решетки и изменении свойств кобальтовой связующей. Эти факторы влияют на эксплуатационные характеристики Т15К6 (твердость, прочность и износостойкость).

Перед исследованием микроструктуры образцы травили царской водкой (на карбиды в твердых сплавах реактив не действует). Также можно проводить травление в кипящем 3 %-м растворе перекиси водорода в воде. Микроструктура твердого сплава Т15К6 представлена на рис. 3.

Величина зерна WC уменьшается при ТО (см. рис. 3), также меняется и его форма. В исходном состоянии зерна WC в основном имеют форму многогранников с четкими границами, после ТО они приобретают округлость и волнистость граней, увеличивается количество и продолжительность линий контакта между отдельными зернами. Можно заключить, что увеличение твердости происходит из-за изменения зернистости WC.

Излом сплава, полученный на электронном микроскопе Jeol JCM-6000, приведен на рис. 4. Видно, что появляется более резкая картина раздела карбидных

Таблица 1. Интенсивность линий рентгеновского спектра

Линия (hkl)	Фаза	Угол отражения 2θ , град.	
		Исходный	Режим ТО: $T_3 = 1050$ °С, $T_{отп} = 400$ °С (2-кратный)
(100)	WC	44,17	44,42
(101)	W ₂ C	52	52,21
(200)	TiC	54,58	54,67
(100)	Co	54,08	54,17
(101)	Co	60,67	60,88
(220)	TiC	77,08	77,38
(110)	W ₂ C	77,63	77,92
(110)	WC	95,80	96,17
(311)	TiC	95	95,21
(200)	W ₂ C	95,45	95,52
(111)	WC	95,83	96,19
(110)	Co	101,68	102,25
(222)	TiC	102,25	102,34

Таблица 2. Результаты рентгенографического анализа твердого сплава Т15К6 после закалки

Режим ТО	Фазовый состав	Период решетки a , нм	Размер блоков мозаики $D \cdot 10^{-7}$, м	Величина микроискажений $\Delta a/a \cdot 10^{-3}$	Плотность дислокации $\rho \cdot 10^3$, мм ⁻¹
Исходный	(W, Ti)C	0,36	0,54	2,11	1,47
	Co	0,2514	0,38	3,98	2,15
$T_3 = 1050$ °С, $T_{отп} = 400$ °С (2-кратный)	(W, Ti)C	0,39	0,38	4,29	2,89
	W ₂ C	0,34	0,29	4,20	2,65
	Co	0,2698	0,25	6,41	5,71

зерен, хотя характер излома вне зависимости от наличия ТО остается прежним (хрупким).

На основании проведенных исследований по термической обработке в соляных ваннах твердосплавных пластин Т15К6 установлено, что ТО приводит к изменению твердости и износа по задней поверхности. Увеличение твердости происходит при росте T_3 , $T_{отп}$, кратности отпуска и уменьшении зернистости WC, снижение износа — при увеличении T_3 , $T_{отп}$ и уменьшении кратности отпуска. Таким образом, при ТО происходит упрочнение сплава, выражающееся в дроблении блоков мозаики в зернах WC, росте микро-

искажений решетки и изменении свойств кобальтовой связующей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богодухов С. И., Козик Е. С. Материаловедение. — Старый Оскол: ТНТ, 2014. — 536 с.
2. Бондаренко В. А., Богодухов С. И. Обеспечение качества и улучшение характеристик режущих инструментов. — М.: Машиностроение, 2000. — 144 с.
3. Лошак М. Г. Прочность и долговечность твердых сплавов. — Киев: Наукова думка, 1984. — 326 с.
4. Богодухов С. И., Гарипов В. С., Козик Е. С., Соловьева Е. В. Термическая обработка твердого сплава Т14К8 / Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 12. С. 41 – 44.

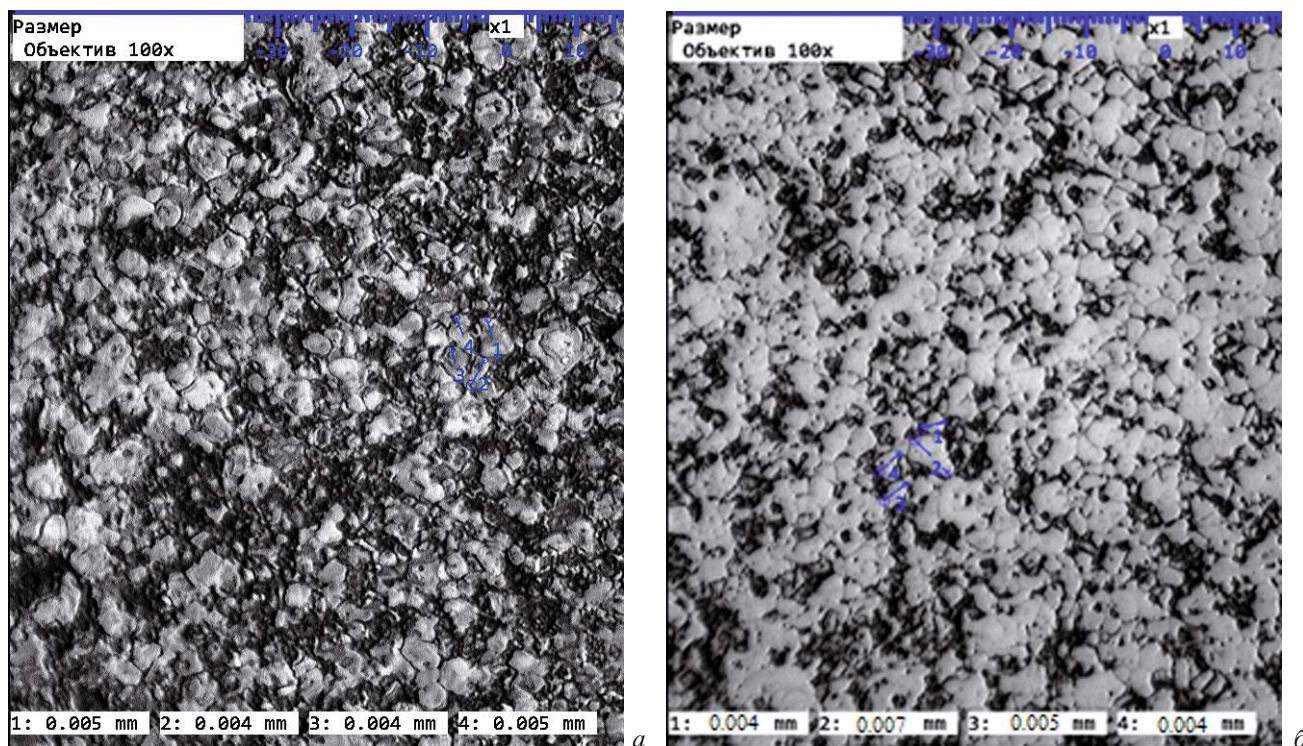


Рис. 3. Микроструктура сплава Т15К6 ($\times 1000$): *a* — исходный (4-й класс зернистости — размер зерна 5 мкм); *б* — нагрев под закалку в расплаве солей $T_3 = 1050$ °С, $T_{отп} = 400$ °С, 2-кратный) (3-й класс зернистости — размер зерна 4 мкм)

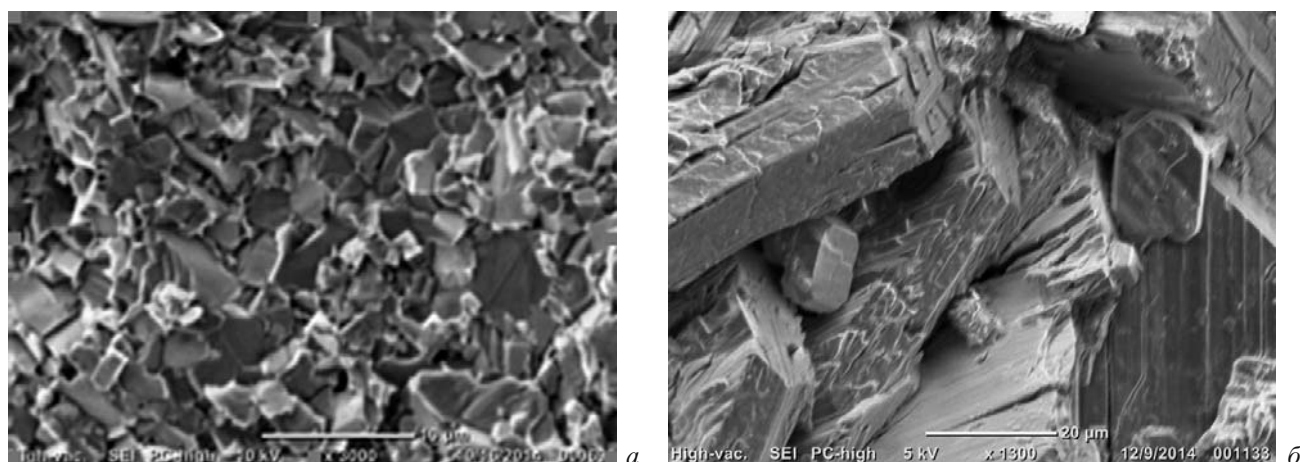


Рис. 4. Излом сплава Т15К6: *a* — исходный ($\times 3000$); *б* — нагрев под закалку в расплаве солей ($T_3 = 1050$ °С, $T_{отп} = 400$ °С, 2-кратный, $\times 1300$)

5. 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.
6. **Панов В. С., Чувилин А. М.** Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. — М.: МИСИС, 2001. — 428 с.
7. **Лошак М. Г.** Упрочнение твердых сплавов. — Киев: Наукова думка, 1977. — 148 с.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Пат. № 2355513 РФ, МПК В22 F 3/24, С22 С 29/08. 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.
12. 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.
13. **Guo Zhixing, Xiong Ji, Yang Mei, Jiang Cijin.** WC – TiC – Ni cemented carbide with enhanced properties / Alloys Compounds. 2008. Vol. 465. N 1 – 2. P. 157 – 162.
14. **Горелик С. С., Расторгуев Л. Н., Скаков Ю. А.** Рентгенографический и электронно-оптический анализ. — М.: МИСИС, 1994. — 328 с.
- alloy T14K8] / Zgotov. Proizv. Mashinost. 2012. N 12. P. 41 – 44 [in Russian].
5. RF Pat. N 2517093, MPK B22 F 3/24. Sposob termicheskoi obrabotki rezhushchego instrumenta s napayannoi tverdospлавnoi plastinoy [Method of heat treatment of cutting tools with soldered carbide plate: stalemate] / Bogodukhov S. I., Proskurin A. D., Kozik E. S., Sheinin B. M., Solosina E. V.; applicant and owner Orenburgskii gosudarstvennyi universitet. — N 2013014370/02; appl. 09.04.2013; publ. 27.05.2014. Byull. Otkryt. Izobret. N 15 [in Russian].
6. **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].
7. **Loshak M. G.** Uprochnenie tverdyykh splavov [Hardening of hard alloys]. — Kiev: Naukova dumka, 1977. — 148 p. [in Russian].
8. RF Pat. N 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 Sibirskii gosudarstvennyi industrial'nyi universitet. — N 2005118570/02; appl. 15.06.2005; publ. 27.02.2007. Byull. Otkryt. Izobret. N 6 [in Russian].
9. RF Pat. N 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 Sibirskii gosudarstvennyi industrial'nyi universitet. — N 2007139225/02; appl. 22.10.2007; publ. 27.05.2009. Byull. Otkryt. Izobret. N 15 [in Russian].
10. RF Pat. N 2392342, MPK B22 F 3/24. Sposob zakalki tverdogo splava na osnove karbida vol'frama [Method of hardening carbide based on tungsten carbide] / Oskolkova T. N.; applicant and owner Sibirskii gosudarstvennyi industrial'nyi universitet. — N 2009116915/02; appl. 04.05.2009; publ. 20.05.2011. Byull. Otkryt. Izobret. N 17 [in Russian].
11. RF Pat. N 2355513, MPK B22 F 3/24, C22 C 29/08. Sposob zakalki tverdogo splava na osnove karbida vol'frama [Method of hardening carbide based on tungsten carbide] / Oskolkova T. N., Shcheglova A. B.; applicant and owner Sibirskii gosudarstvennyi industrial'nyi universitet. — N 2007133961/02; appl. 11.09.2007; publ. 20.05.2009. Byull. Otkryt. Izobret. N 14 [in Russian].
12. RF Pat. N 2528539, MPK B22 F 3/24. Sposob polucheniya rezhushchego instrumenta iz karbidosoderzhashchikh splavov vol'framovoi (VK) i titano-vol'framovoi (TK) grupp [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 Orenburgskii gosudarstvennyi universitet. — N 2013121411/02; appl. 07.05.2013; publ. 20.09.2014. Byull. Otkryt. Izobret. N 26 [in Russian].
13. **Guo Zhixing, Xiong Ji, Yang Mei, Jiang Cijin.** WC – TiC – Ni cemented carbide with enhanced properties / Alloys Compounds. 2008. Vol. 465. N 1 – 2. P. 157 – 162.
14. **Gorelik S. S., Rastorguev L. N., Skakov Yu. A.** Rentgenograficheskii i élektronnoopticheskii analiz [X-ray and electron-optical analysis]. — Moscow: Izd. MISIS, 1994. — 328 p. [in Russian].

REFERENCES

1. **Bogodukhov S. I., Kozik E. S.** Materialovedenie [Materials Science]. — Staryi Oskol: TNT, 2014. — 536 p. [in Russian].
2. **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].
3. **Loshak M. G.** Prochnost' i dolgovechnost' tverdyykh splavov [The strength and durability of hard alloys]. — Kiev: Naukova dumka, 1984. — 326 p. [in Russian].
4. **Bogodukhov S. I., Garipov V. S., Kozik E. S., Solosina E. V.** Termicheskaya obrabotka tverdogo splava T14K8 [Thermal treatment of solid