

DOI: 10.26896/1028-6861-2017-83-12-38-42

УДК (UDC) 621.762

ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ ТВЕРДОГО СПЛАВА T15K6

© **Станислав Иванович Богодухов, Елена Станиславовна Козик, Екатерина Валерьевна Свиденко**

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия.

Статья поступила 14 апреля 2017 г.

Рассмотрены процессы термического упрочнения и влияние лазерной импульсной обработки на структуру и эксплуатационные характеристики двухкарбидных твердых сплавов. Определены оптимальные режимы лазерного импульсного воздействия, при которых достигается наименьший износ режущей кромки упрочненного инструмента. Установлена взаимосвязь между длительностью лазерного воздействия и глубиной упрочненного слоя с измененной структурой, износом, структурно-фазовыми изменениями в зоне лазерной обработки, фрактографией излома, параметрами структуры упрочненного сплава. Проведенные исследования показали, что повышение микротвердости поверхностного слоя сплава T15K6 после импульсно-лазерного воздействия составило в среднем 150 – 200 единиц. Упрочнение связано со структурными и фазовыми превращениями на этапе импульсно-лазерного воздействия: с образованием W_2C , насыщением кобальтовой связки карбидами вольфрама и титана. Упрочняющий фактор — высокая скорость кристаллизации в оплавленной зоне, приводящая к образованию структуры, обладающей высокой твердостью. Лазерная термическая обработка повышает эксплуатационные характеристики твердого сплава T15K6 в 2 – 3 раза.

Ключевые слова: термическое упрочнение; лазерная импульсная обработка; твердый сплав; износ; микротвердость; микроструктура.

THERMAL HARDENING OF HARD ALLOY T15K6

© **Stanislav I. Bogodukhov, Elena S. Kozik, and Ekaterina V. Svidenko**

Submitted April 14, 2017.

The impact of thermal hardening and pulse laser treatment on the structure and operational characteristics two-carbide hard alloys is considered. The optimal regimes of laser pulse treatment which provided the lowest wear of the cutting edge of hardened tool are specified. Correlations between the duration of laser exposure and depth of structural changes in the hardened, wear and structural-phase changes attributed to laser treatment, fracture fractography and structural parameters of the hardened hard alloy are determined. An increase (on an average by 150 – 200 units) in the microhardness of the surface layer of T15K6 alloy is observed after pulsed laser treatment. The hardening trend is attributed to structural and phase transformations at the stage of pulse-laser exposure: formation of W_2C carbide, saturation of the cobalt bond with tungsten and titanium carbides. A high rate of crystallization in the fused zone promotes formation of the structure with a high hardness. Laser heat treatment increases the performance of T15K6 hard alloy by 2 – 3 times

Keywords: thermal hardening; laser pulse treatment; hard alloy; wear; microhardness; microstructure.

Лазерное упрочнение твердых сплавов не получило широкого практического применения ввиду большой стоимости оборудования, а также неизученности процессов структурообразования и их влияния на эксплуатационные свойства материалов [1 – 6]. Вместе с тем исследование процессов, приводящих к упрочнению твердых сплавов, оптимизации режимов упрочняющей обработки в целях получения свойств поверхности с необходимыми характеристиками, представляет большой практический интерес [7 – 12].

Термическое упрочнение материала лазерным излучением основано на локальном нагреве участка поверхности под воздействием излучения и последующем его охлаждении. При этом поверхностное упроч-

нение характеризуется таким преимуществом, как упрочнение локальных (по глубине и ширине) объемов деталей в местах их износа.

Цель работы — исследование влияния лазерной обработки на эксплуатационные свойства твердосплавных пластин марки T15K6.

Исследовали четырехгранные пластины твердого сплава T15K6 размером $12,70 \times 12,70 \times 4,76$ мм [13]. Исходные физико-механические свойства сплава: прочность на изгиб — 1200 Н/мм², твердость — 90 HV, плотность — 11,5 г/см³, теплопроводность — 12,6 Вт/(м · °C). Лазерную обработку пластин проводили на установке LRS-150A (длительность импульса воздействия лазера $\tau = 10 - 20$ мс, энергия

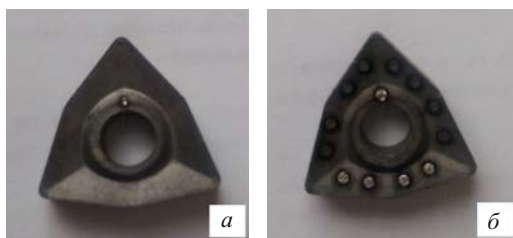


Рис. 1. Внешний вид пластин твердого сплава Т15К6 после лазерной обработки при длительности импульса 10 (а) и 16 мс (б)

излучения в импульсе $E = 8,0 \pm 0,2$ Дж, диаметр пятна фокусировки $(2 - 3) \pm 0,1$ мм, длина волны излучения $\lambda = 1,06$ мкм). Внешний вид пластин после обработки по различным режимам представлен на рис. 1.

Структуру исследовали на электронном микроскопе JEOI JCM-6000 и мультивизоре μ Vizo-MET-221. Перед исследованием образцы полировали и протравливали (в течение 30 с) в реактиве, содержащем красную кровяную соль, едкий калий и дистиллированную воду в соотношении (%) 50:15:35.

Балл зерна микроструктуры, который определяли в соответствии с [14], возрастал от 1 (исходные) до 4,5 мкм ($\tau = 20$ мс).

Микротвердость поверхности и приповерхностного слоя измеряли с помощью микротвердомера ПМТ-3 при нагрузке 1,96 Н. Значение величины микротвердости рассчитывали как среднее по трем отпечаткам.

Микрошлифы для определения зоны повышенной твердости и глубины ее залегания готовили по следующей методике: поверхность шлифа выравнивали шлифовальным кругом из карбида кремния (марка К325МЗ СМ1К) [15] с обильным охлаждением 5 %-

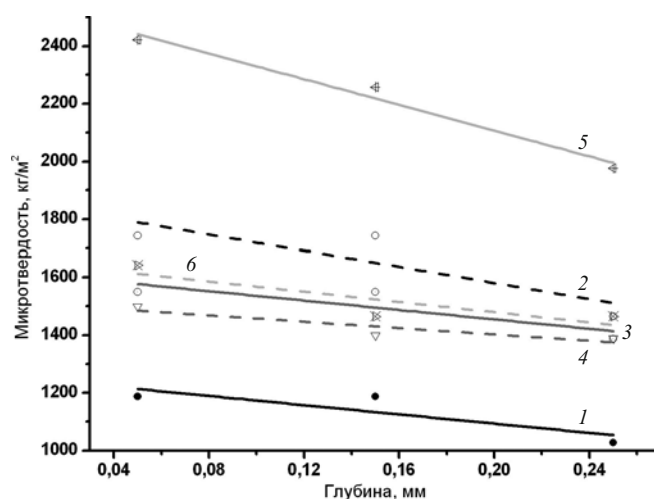


Рис. 3. Изменение микротвердости образцов исходного (1) твердого сплава Т15К6 и после лазерного воздействия при длительности импульса 10 (2), 12 (3), 14 (4), 16 (5) и 20 мс (6)

ным раствором эмульсионной жидкости, шлифовку осуществляли с применением алмазного порошка АСМ14 [16], полировку — алмазного порошка АСМ3-5, нанесенного на диск, обтянутый фетровой тканью.

Глубину проникновения лазерной обработки и структуру определяли на мультивизоре μ Vizo-MET-221 ($\times 1000$). Фазовый состав — с помощью микродифрактометра МД-10 [17] (диапазон регистрации — $16 - 120^\circ$, два поддиапазона одновременной регистрации спектра — $16 - 70^\circ$ и $65 - 120^\circ$, интервал перекрытия поддиапазонов — 5°). Среднеквадратичное отклонение определения угловой координаты одного и того же дифракционного пика — не более $0,02^\circ$.

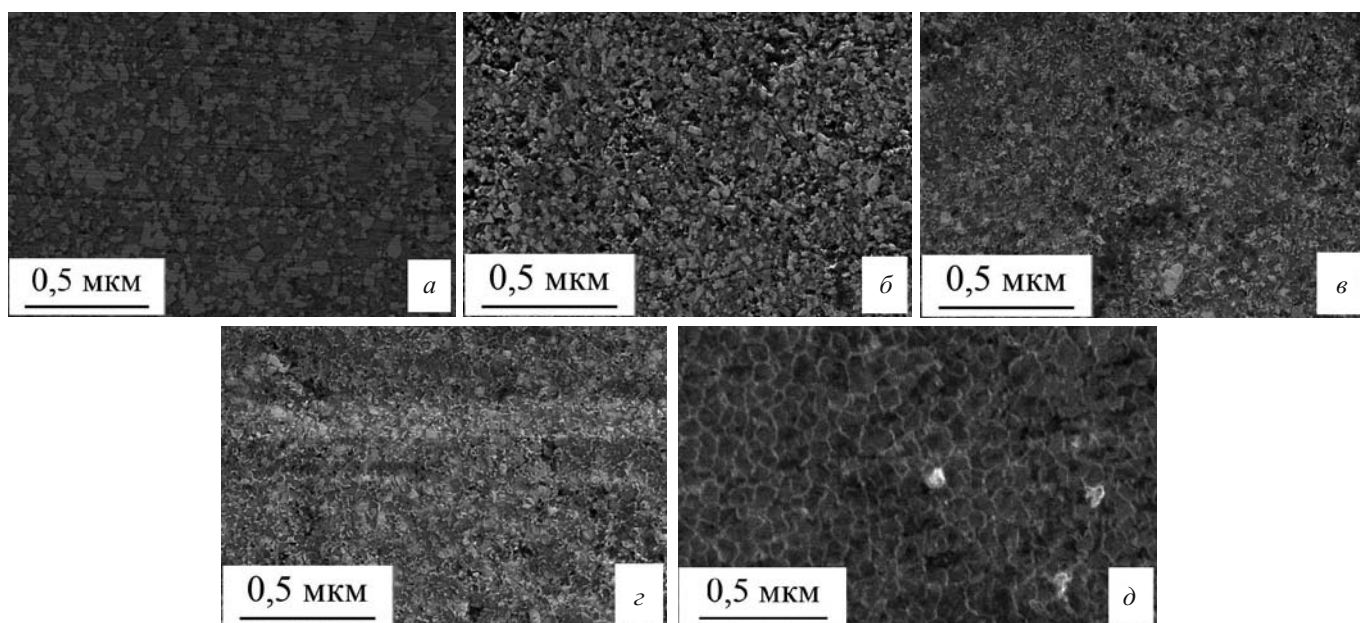


Рис. 2. Микроструктуры образцов исходного (а) твердого сплава Т15К6 и после лазерного воздействия при длительности импульса 10 (б), 12 (в), 14 (г) и 20 мс (д) (средний размер зерна 1,5, 1,5, 2,0, 3,2 и 4,5 мкм соответственно)

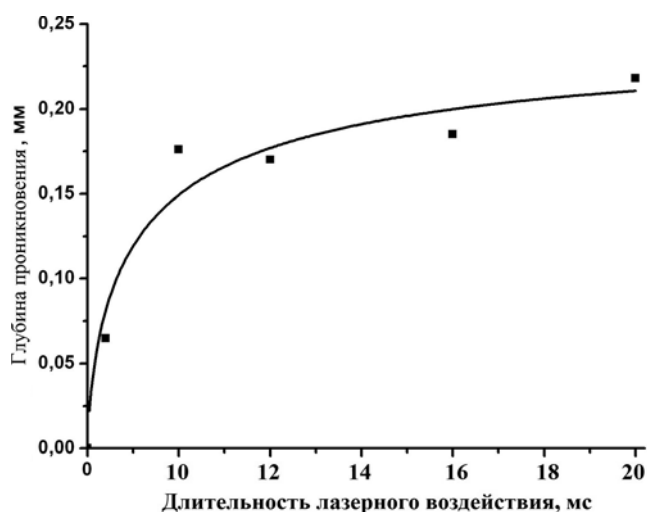


Рис. 4. Изменение глубины проникновения лазерного излучения в зависимости от длительности воздействия

Износ спеченного твердого сплава и после импульсно-лазерного воздействия оценивали точением пяти образцов (выполняли по пять проходов режущего инструмента на каждом образце) на токарно-винторезном станке 16К20. Заготовки изготавливали из круглого проката стали марки 45 (частота вращения заготовки — 400 мин^{-1} , глубина резания — 1 мм, подача — 0,1 мм/об.).

Микроструктура образцов твердого сплава Т15К6 после различных режимов лазерного воздействия представлена на рис. 2 (JEOL JCM-6000, $\times 1500$).

Видно, что с ростом длительности лазерного воздействия средний размер зерна увеличивается.

Результаты испытаний сплава на микротвердость (H_{μ}) в зависимости от длительности воздействия приведены на рис. 3.

Видно, что микротвердость по глубине поверхностного слоя уменьшается (на 20 %) при всех длительностях лазерного воздействия.

Однако на поверхности образца при лазерном воздействии длительностью 10 мс микротвердость увеличивается в 1,5, а при 16 мс — в 2 раза. Затем (при 20 мс) она уменьшается до уровня исходного сплава. Повышение микротвердости с ростом длительности лазерного воздействия обусловлено структурными изменениями поверхностного слоя за счет существенного (в 3 раза) увеличения среднего размера зерна.

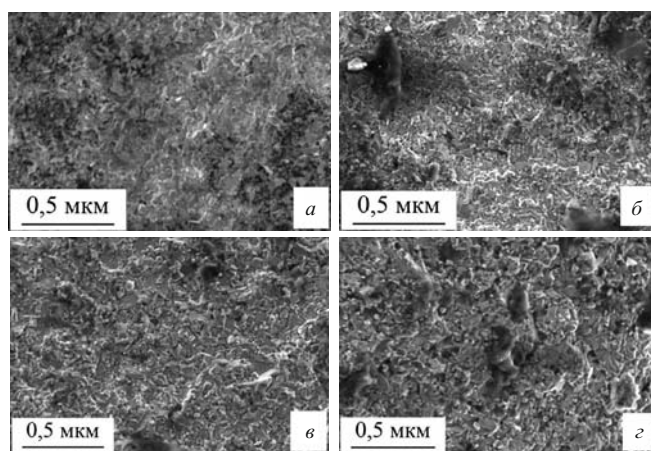


Рис. 5. Фактографии изломов штабиков исходного (а) твердого сплава Т15К6 и после лазерного воздействия при длительности импульса 10 (б), 14 (в) и 20 мс (г)

Изменение глубины проникновения лазерного излучения в зависимости от длительности воздействия приведено на рис. 4.

Видно, что глубина упрочненного слоя с измененной структурой увеличивается от 0,13 ($\tau = 10 \text{ мс}$) до 0,208 мм ($\tau = 20 \text{ мс}$).

Изломы сплава после различных режимов лазерного воздействия представлены на рис. 5 (JEOL JCM-6000).

В исходном образце преобладает разрушение микросколом зерен (TiW)C. Причем скол переходит из зерна в зерно вследствие их срастания в процессе спекания, а после термообработки характер излома практически не меняется (хрупкий излом проходит по границам зерен).

На рис. 6 представлены результаты рентгеноструктурного анализа.

Напряженное состояние в поверхностных слоях твердосплавных образцов исследовали рентгеноструктурным методом (аналогично определению термических напряжений). Зафиксировали наличие микронапряжений значительной величины и изменение тонкой структуры карбида вольфрама (областей когерентного рассеивания рентгеновских лучей и микроискажений), а также изменение фазового состава связующей фазы (увеличение доли гексагональной модификации) (табл. 1).

Импульсно-лазерное воздействие увеличивает периоды решетки. С ростом длительности импульса

Таблица 1. Параметры тонкой структуры фаз твердого сплава Т15К6 после лазерного воздействия

Вид термической обработки	Фазовый состав	Кристаллографическое направление	
		001 Размер блоков D, нм	001, 002 Микроискажения $\Delta d/d \cdot 10^{-3}$
Сплав после спекания	WC, W ₂ C, TiC, Co	11,50	4,12
Импульсная лазерная обработка ($\tau = 10 \text{ мс}$)	TiC, Co WC, W ₂ C	7,2	5,63
Импульсная лазерная обработка ($\tau = 20 \text{ мс}$)	TiC, Co WC, W ₂ C, Co _{1-x} W _x C _{1-y}	4,0	7,12

Таблица 2. Износ образцов сплава Т15К6 после резания

Образец	Длительность импульсов, мс	Износ, мм	
		по передней поверхности	по задней поверхности
1 (исходный)	—	0,3	0,3
2	10	0,28	0,2
3	12	0,2	0,18
4	14	0,18	0,1
5	16	0,15	0,1
6	20	0,1	0,06

микроискажения увеличиваются примерно в 1,5–2 раза, а размеры блоков уменьшаются в 2–2,5 раза.

Результаты испытаний образцов после обработки резанием приведены в табл. 2.

Видно, что с увеличением длительности лазерного импульсного воздействия износ уменьшается в 3–4 раза.

Таким образом, рост микротвердости поверхностного слоя сплава Т15К6 после импульсно-лазерного воздействия составляет в среднем 150–200 единиц. Упрочнение связано со структурными и фазовыми превращениями (происходит увеличение (в 3 раза) среднего размера зерна и насыщение кобальтовой связки карбидами вольфрама и титана). При этом высокая скорость кристаллизации в оплавленной зоне (упрочняющий фактор) приводит к образованию высокотвердой структуры, а продукты разложения монокарбида WC (гранецентрированные, двойные и сложные карбиды типа $Co_xW_yC_z$) обогащают связующий слой кобальта и уменьшают износ. В исходном сплаве преобладает разрушение микросколом зерен (TiW)C, переходящем из зерна в зерно вследствие их срастания в процессе спекания. После термообработки характер излома не меняется. Анализ данных по резанию образцов сплава после лазерного импульсного воздействия показал, что износ уменьшился в 3–4 раза.

ЛИТЕРАТУРА

- Богодухов С. И., Козик Е. С. Материаловедение. — Старый Оскол: ТНТ, 2014. — 536 с.
- Бондаренко В. А., Богодухов С. И. Обеспечение качества и улучшение характеристик режущих инструментов. — М.: Машиностроение, 2000. — 144 с.
- Лошак М. Г. Прочность и долговечность твердых сплавов. — Киев: Наукова думка, 1984. — 326 с.
- 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.
- Пат. 2517093 РФ, МПК В22 F3/24. 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.
- Панов В. С., Чувилин А. М. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. — М.: МИСИС, 2001. — 428 с.
- Лошак М. Г. Упрочнение твердых сплавов. — Киев: Наукова думка, 1997. — 148 с.

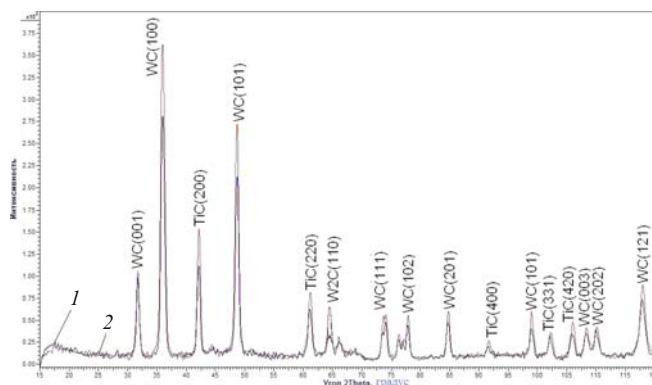


Рис. 6. Фрагмент дифрактограммы сплава Т15К6 до (1) и после (2) термообработки ($\tau = 10$ мс, диапазон углов — 15–120°, цифры у пиков — межплоскостные расстояния)

- Пат. 2294261 РФ, МПК В22 F 3/24, C22, C29/00. 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.
- Пат. 2356693 РФ, МПК В22 F 3/24, C22, C29/00. 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.
- 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.
- Пат. 2355513 РФ, МПК В22 F 3/24, C22, C29/08. 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.
- 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.
- ГОСТ 19052–80. Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные квадратной формы с отверстием и стружколомающими канавками на одной стороне. — М.: Стандартиформ, 2006. — 11 с.
- ГОСТ 9391–80. Сплавы твердые спеченные. Методы определения пористости и микроструктуры. — М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1985. — 30 с.
- ГОСТ 3647–71. Материалы шлифовальные. Классификация, зернистость и зерновой состав. Методы контроля. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2006. — 19 с.
- ГОСТ 9206–80. Порошки алмазные. — М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1981. — 15 с.
- Горелик С. С., Расторгуев Л. Н., Скаков Ю. А. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. — М.: МИСИС, 1994. — 328 с.

REFERENCES

- Bogodukhov S. I., Kozik E. S. Materials science. — Staryi Oskol: TNT, 2014. — 536 p. [in Russian].
- Bondarenko V. A., Bogodukhov S. I. Quality assurance and improvement in performance of cutting tools. — Moscow: Mashinostroenie, 2000. — 144 p. [in Russian].
- Loshak M. G. The Strength and durability of tungsten carbide. — Kiev: Naukova dumka, 1984. — 326 p. [in Russian].
- Bogodukhov S. I., Garipov V. S., Kozik E. S., Solosina E. V. Thermal treatment of hard alloys T14K8 / Zagotov. Proizv. Mashinostr. 2012. N 12. P. 41–44 [in Russian].
- RF Pat. No. 2517093, MPK B22 F3/24. The 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 Orenburg state university. — N 2013014370/02; appl. 09.04.2013; publ. 27.05.2014. Byull. Otkryt. Izobret. 2014. N 15 [in Russian].
6. **Panov V. S., Chuvilin A. M.** Technology and properties of sintered hard alloys and products from them. — Moscow: Izd. MISIS, 2001. — 428 p. [in Russian].
 7. **Loshak M. G.** Strengthening of hard alloys. — Kiev: Naukova dumka, 1997. — 148 p. [in Russian].
 8. RF Pat. No. 2294261, MPK B22 F 3/24, C22, C29/00. 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. 2007. N 6 [in Russian].
 9. RF Pat. No. 2356693, MPK B22 F 3/24, C22, C29/00. Method of carbide 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. 2009. N 15 [in Russian].
 10. RF Pat. No. 2392342, MPK B22 F 3/24. Method of hardening carbide 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. 2011. N 17 [in Russian].
 11. RF Pat. No. 2355513, MPK B22 F 3/24, C22, C29/08. A method of quenching 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. 2009. N 14 [in Russian].
 12. RF Pat. No. 2528539, MPK B22 F 3/24. A method for producing cutting tools made of tungsten alloys karbidosoderzhaschih (VC) and titanium-tungsten (TC) groups stalemate / Bogodukhov S. I. et al.; applicant and owner Orenbur state university. — N 2013121411/02; appl. 07.05.2013; publ. 20.09.2014. Byull. Otkryt. Izobret. 2014. N 26 [in Russian].
 13. State Standard GOST 19052–80. utting inserts, replaceable carbide faceted square shape with a hole and a chip breaking grooves on one side. — Moscow: Standartinform, 2006. — 11 p. [in Russian].
 14. State Standard GOST 9391–80. The sintered hard alloys. Methods of determination of porosity and microstructure. — Moscow: Goskomitet SSSR po standartam, 1985. — 30 p. [in Russian].
 15. State Standard GOST 3647–71. Material grinding. Classification, gran size and grain composition. Control methods — Moscow: IPK Izd. standartov, 2006. — 19 p. [in Russian].
 16. State Standard GOST 9206–80. Diamond powders. — Moscow: Goskomitet SSSR po standartam, 1981. — 15 p. [in Russian].
 17. **Gorelik S. S., Rastorguev L. N., Skakov Yu. A.** Radiographic and electrontoptical analysis. — Moscow: Izd. MISIS, 1994. — 328 p. [in Russian].