

УДК 621.762

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНОВОЛЬФРАМОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ**

© 2016 С.И. Богодухов, Е.С. Козик, Е.В. Свиденко

Оренбургский государственный университет

Статья поступила в редакцию 21.10.2016

Проведены исследования влияния лазерной импульсной обработки на структуру и эксплуатационные характеристики вольфрамокобальтовых твердых сплавов. Установлены оптимальные режимы лазерного воздействия при которых достигается наибольшее увеличение стойкости упрочненного инструмента. Установлена взаимосвязь между глубиной упрочненного слоя с измененной структурой, стойкостью и структурно-фазовыми изменениями в зоне лазерной обработки. Лазерная термическая обработка повышает эксплуатационные характеристики твердого сплава Т15К6 в 1,5 – 2 раза.

**Ключевые слова:** лазерная импульсная обработка, твердый сплав, износ, микротвердость, микроструктура.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Исследование процессов, приводящих к упрочнению твердых сплавов, оптимизации режимов упрочняющей обработки с целью получения комплекса свойств поверхности, обеспечивающих указанные характеристики, представляют большой практический интерес [1-6].

Среди существующих методов поверхностной обработки, лазерное упрочнение твердых сплавов не получило широкого практического применения. Причиной является большая стоимость оборудования и неизученность процессов структурообразования и влияния их на эксплуатационные свойства твердых сплавов [7-15].

Термическое упрочнение материалов и сплавов лазерным излучением основано на локальном нагреве участка поверхности под воздействием излучения и последующем охлаждении этого участка. Поверхностное упрочнение деталей лучом лазера характеризуется рядом преимуществ, а именно: упрочнением локальных (по глубине и ширине) объемов деталей в местах их износа. Износ является главной эксплуатационной характеристикой твердых сплавов. Поэтому актуальность темы исследования очевидна.

Целью работы является изучение влияния лазерной обработки на эксплуатационные свойства твердосплавных пластин марки Т15К6 и технические рекомендации для промышленного внедрения.

*Богодухов Станислав Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail:ogi@mailgate.ru*

*Козик Елена Станиславовна, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: ele57670823@yandex.ru*

*Свиденко Екатерина Валерьевна, преподаватель кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: tzvetkova.katia2016@yandex.ru*

### **МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА**

В качестве объекта исследования применяли четырехгранные пластины твердого сплава Т15К6, размером 12,70×12,70×4,76 мм, ГОСТ 19052-80 и его исходные физико-механические свойства представлены в табл. 1.

Лазерную обработку твердосплавных пластин марки Т15К6 проводили на установке LQ-191 при этом изменялось количество импульсов в точку от 100 до 3000 и плотность энергии Е от 50 до 140 Дж/см<sup>2</sup>.

Внешний вид пластин твердого сплава Т15К6 после лазерной обработки по различным режимам, представлен на рис. 1.

Провели исследование структуры на электронном микроскопе JEOL JCM-6000 и на мультивизоре µVizo - MET-221 .

Перед исследованием образцы были отполированы и протравлены в реактиве, содержащем красную 50% кровяную соль, едкий калий и дистиллированную воду в соотношении, %: 30 : 15 : 55. Твердый сплав травили в течение 30 с.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

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

По ГОСТ 9391- 80 определяли балл зерна микроструктуры твердого сплава Т15К6 после лазерного воздействия от 500 до 3000 импульсов. Балл зерна возрастает от 1 мкм (исходные) до 4,5 мкм (3000 импульсов).

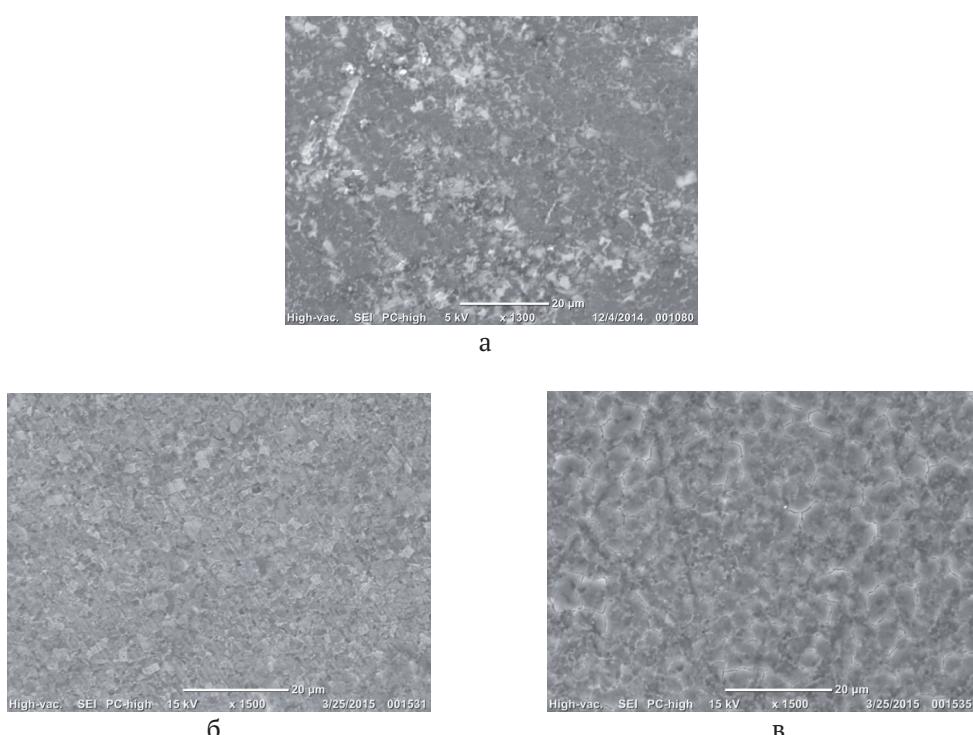
Определение микротвердости поверхности и приповерхностного слоя до и после упрочнения проводили с помощью микротвердомера ПМТ-3, при нагрузке 1,96 Н. Значение величины микротвердости рассчитывали, как среднее, по 3 отпечаткам.

**Таблица 1.** Физико-механические свойства исходного твердого сплава T15K6

Марка сплава	WC, %	TiC, %	Co, %	Прочность на изгиб ( $\sigma_{изг}$ ), Н/мм <sup>2</sup>	Твёрдость, HV	Плотность ( $\rho$ ), г/см <sup>3</sup>	Тепло-проводность ( $\lambda$ ), Вт/(м·°C)
T15K6	79	15	6	1200	90	11,5	12,6



**Рис. 1.** Внешний вид пластин твердого сплава T15K6 после лазерной обработки:  
а – 500 импульсов в точку, фокусировка 1 мм; б – 2000 импульсов в точку



**Рис. 2.** Микроструктуры Т15К6 после лазерного воздействия  
(Электронный микроскоп JEOL ISM – 6000):  
а – исходный; б – 500 импульсов; в – 1000 импульсов; г – 2000 импульсов; д – 3000 импульсов

Микрошлифы для установления зоны повышенной твердости и глубины ее залегания подготавливали по следующей методике: поверхности шлифа выравнивались шлифовальным кругом из карбида кремния марки К325М3 СМ1К по ГОСТ 3647-71 с обильным охлаждением 5% раствором эмульсионной жидкости; шлифование образцов осуществлялось с применением алмазного порошка ACM14 по ГОСТ 9206-70; полировку шлифа проводили алмазным порошком ACM3-5, нанесенным на диск обтянутый фетровой тканью.

Результаты испытаний на микротвердость ( $H_u$ ) твердого сплава Т15К6 приведены на рис. 3.

## ОБСУЖДЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ рис. 3 показал, что происходит уменьшение микротвердости по глубине поверхностного слоя на 20 %. Уменьшение  $H_u$  обусловлено повышением микротвердости поверхностного слоя за счет лазерного воздействия.

При лазерном воздействии от 100 до 1000 импульсов происходит увеличение в 1,5 микротвердости, при 2000 импульсах - в 2 раза, а затем скачок микротвердости при 3000 импульсах до уровня микротвердости исходного твердого сплава.

Микроанализ, с целью выявления глубины проникновения лазерной обработки и структуры различных слоев проводили на мультивизоре  $\mu$ Vizo - МЕТ-221 с увеличением  $\times 1000$ .

Глубина упрочненного поверхностного слоя твердых сплавов Т15К6 после лазерного воздействия приведена на рис. 4.

Глубина упрочненного слоя с измененной структурой увеличивается от 0,088 мм (500 импульсов) до 0,131 мм (300 импульсов). Линейная зависимость увеличения упрочненного слоя с измененной структурой от количества импульсов явно прослеживается на рисунке 4.

Определение фазового состава проводили с помощью микродифрактометра МД – 10 [14]. Диапазон регистрации дифрактометра от 16° до 120° двумя поддиапазонами одновременной регистрации спектра от 16° до 70° или от 65° до 120° с интервалом перекрытия поддиапазонов 5°. Среднеквадратичное отклонение определения угловой координаты одного и того же дифракционного пика не более 0,02°.

На рис. 5-6 представлен рентгеноспектральный анализ твердого сплава Т15К6.

Изучение изменений напряженного состояния в поверхностных слоях твердосплавных изделий проводили рентгеноструктурным методом аналогично определению термических напряжений.

Было показано наличие микронапряжений значительной величины, обнаружены изменения тонкой структуры карбида вольфрама (областей когерентного рассеивания рентгеновских лучей и микроискажений), а также изменения фазового состава связующей фазы (увеличение доли гексагональной модификации) (табл. 2).

Для оценки износа спеченного твердого сплава при обработке резанием проводили точение 5 образцов на токарно-винторезном станке 16К20, при этом выполняли по 5 проходов режущего инструмента на каждом образце. Заготовки были изготовлены из круглого проката стали марки

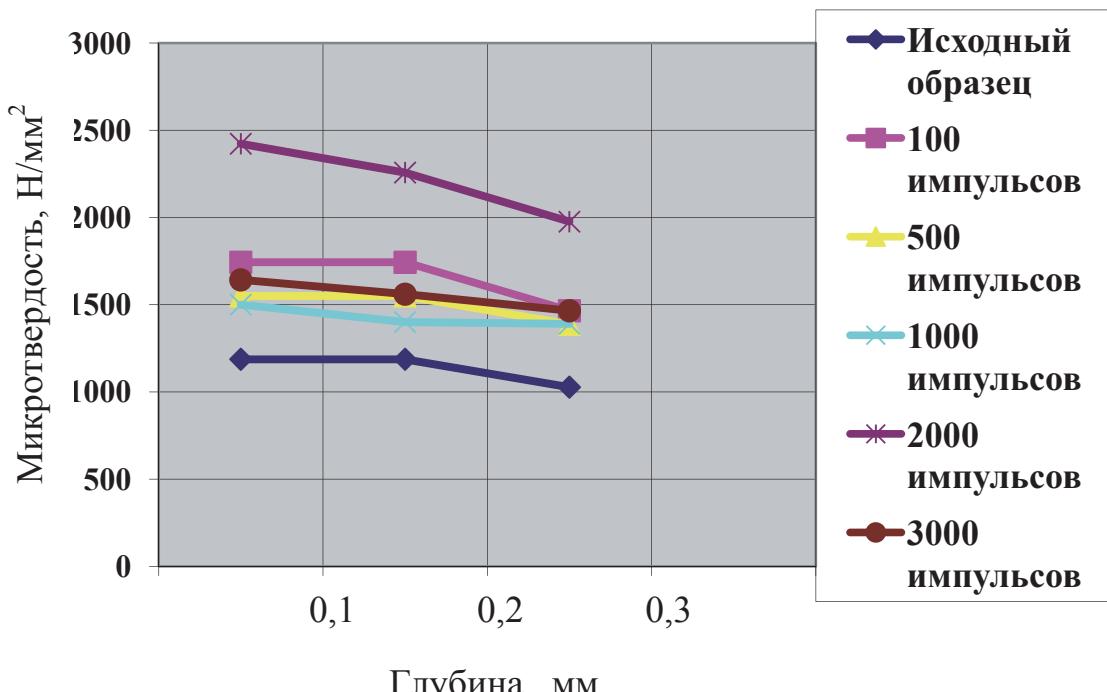
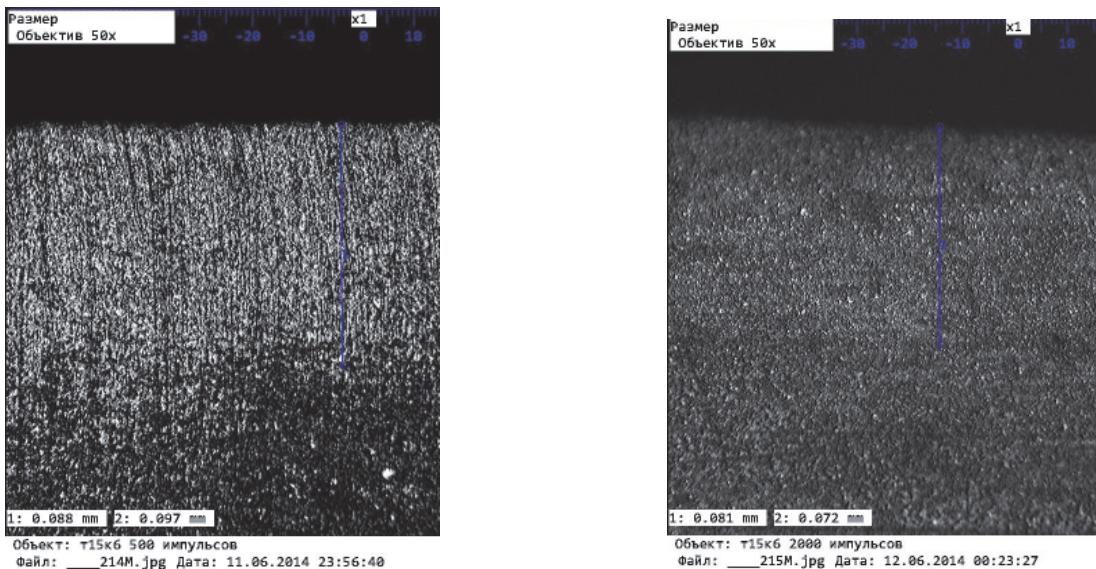


Рис. 3. Изменение микротвердости твердого сплава Т15К6 после лазерного воздействия

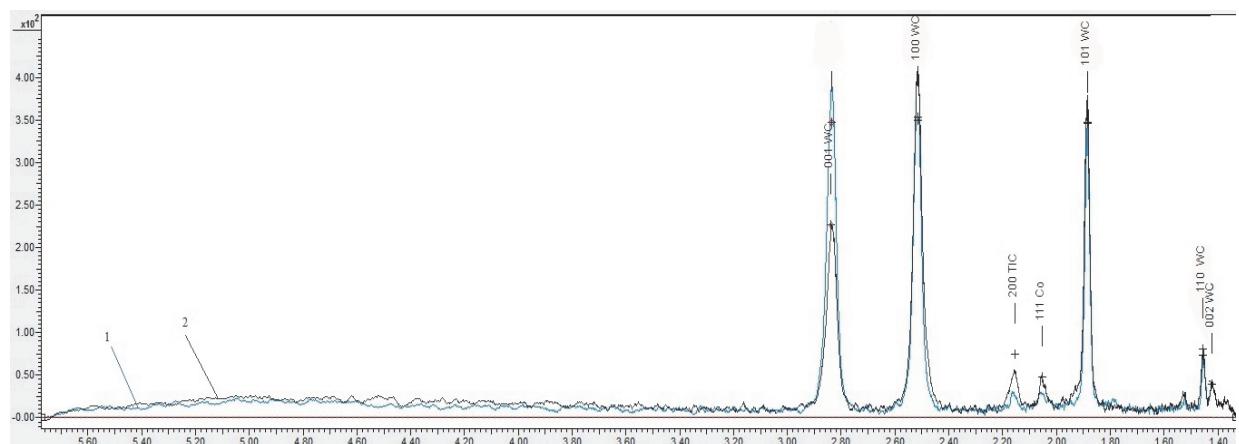


а

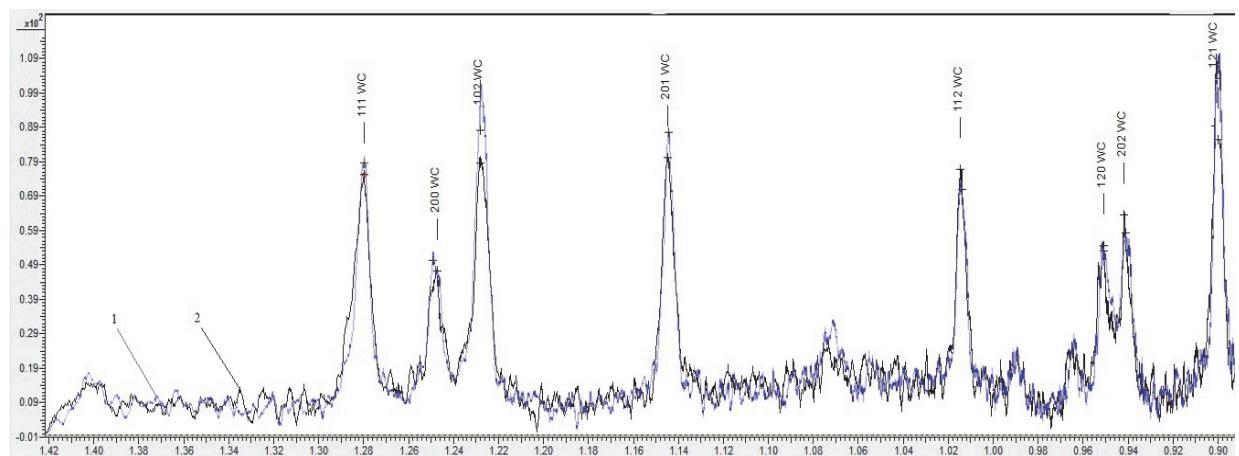
б

**Рис. 4.** Микроструктуры поверхностного слоя твёрдого сплава Т15К6  
после лазерного воздействия, ×1300, (Мультивизор µVizo - MET-221):

а – микроструктура поверхностного слоя твердого сплава Т15К6 после лазерного воздействия 500 импульсов;  
б – микроструктура поверхностного слоя твердого сплава Т15К6 после лазерного воздействия 2000 импульсов



**Рис. 5.** Фрагмент дифрактограммы Т15К6 ,диапазон углов от 15° до 70°,  
цифры у пиков – межплоскостные расстояния:  
1 – до термообработки, 2 – после термообработки (режим 4)



**Рис. 6.** Фрагмент дифрактограммы чащечных резцов Т14К8, диапазон углов от 65° до 120°,  
цифры у пиков – межплоскостные расстояния:  
1 – до термообработки, 2 – после термообработки (режим 4)

**Таблица 2.** Параметры тонкой структуры WC и TiC фазы сплава T15K6 после лазерного воздействия

Вид термической обработки	Фазовый состав	Индекс кристаллографического направления	
		001	001, 002
		D, нм	$\Delta d/d \cdot 10^{-3}$
Сплав после спекания	WC - ГПУ TiC, Co-ГЦК	7,50	4,12
Импульсная лазерная обработка (100 импульсов)	TiC, Co-ГЦК WC, W <sub>2</sub> C -ГПУ	5,2	5,63
Импульсная лазерная обработка (3000 импульсов)	TiC, Co-ГЦК WC, W <sub>2</sub> C, Co <sub>1-x</sub> W <sub>x</sub> C <sub>1-y</sub> -ГПУ	12,0	7,12

**Таблица 3.** Износ сплавов T15K6 после резания

№ образца	Материал	Количество импульсов, N	Износ, мм	
			по передней поверхности, h <sub>p</sub>	по задней поверхности, h <sub>s</sub>
1 (исходный)	T15K6	–	0,24	0,1
2		100	0,3	0,14
3		500	0,2	0,18
4		1000	0,06	0,16
5		2000	0,04	0,2
6		3000	0,04	0,04

45 ГОСТ 1050-88 ( $\varnothing_{\text{внеш.}} = 200$  мм,  $\varnothing_{\text{внут.}} = 25$  мм, L = 200 мм). Частота вращения заготовки составляла 400 мин<sup>-1</sup>, глубина резания - 1 мм, подача - 0,1 мм/об. Результаты испытаний твёрдого сплава после обработки резанием приведены в табл. 3.

## ВЫВОДЫ

1. Для повышения износостойкости твердого сплава T15K6 плотность энергии лазерного излучения должно составлять от 100 до 120 Дж/см<sup>2</sup>. При более низкой энергии излучения агрегатное состояние практически не меняется.

2. Установлено, что продуктами разложения монокарбида WC являются гранецентрированные карбиды WC, двойные карбиды и сложные карбиды типа Co<sub>x</sub>W<sub>y</sub>C<sub>z</sub>, которые обогащают связующий слой кобальта и увеличивают износ.

3. Лазерная термическая обработка повышает эксплуатационные характеристики твердого сплава T15K6 в 1,5 – 2 раза.

4. Из анализа данных по резанию твердого сплава T15K6 после лазерного воздействия получили, что износ по передней поверхности для сплава T15K6 уменьшился на 33 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Лошак М.Г. Прочность и долговечность твердых сплавов. Киев: Наук. Думка. 1984. 326 с.

2. Термическая обработка твердого сплава T14K8 / С.И. Богодухов, В.С. Гарипов, Е.С. Козик, Е.В. Солосина // Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 12. С. 41-44.
3. Способ термической обработки режущего инструмента с напаянной твердосплавной пластины: пат. № 2517093 Российская Федерация МПК B22 F 3/24 / С.И. Богодухов, А.Д. Проскурин, Е.С. Козик, Б.М. Шейнин, Е.В. Солосина // заявитель и патентообладатель Оренбургский государственный университет (RU). № 2013014370/02; заявл. 09.04.2013. опубл. 27.05.2014; БИ № 15. 5 с.
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. Способ закалки твердого сплава: пат. № 2294261 Российская Федерация, МПК B22 F 3/24, C 22 C29/00 / Осколкова Т.Н.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный индустриальный университет». № 2005118570/02; заявл. 15.06.2005; опубл. 27.02.2007; БИ № 6. 5 с.
7. Способ закалки твердого сплава: пат. № 2356693 Российская Федерация, МПК B22 F 3/24, C 22 C29/00 / Осколкова Т.Н.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный индустриальный университет». № 2007139225/02; заявл. 22.10.2007; опубл. 27.05.2009; БИ № 15. 5 с.

8. Способ закалки твердого сплава на основе карбида вольфрама: пат. № 2392342 Российская Федерация, МПК B22 F 3/ 24 / Осколкова Т.Н.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный индустриальный университет». № 2009116915/02; заявл. 04.05.2009; опубл. 20.05.2011; БИ № 17. 5 с.
9. Способ закалки твердого сплава на основе карбида вольфрама: пат. № 2355513 Российской Федерации, МПК B22 F 3/ 24, C 22 C 29/08 / Осколкова Т.Н., Щеглова А.Б.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный индустриальный университет».- № 2007133961/02; заявл. 11.09.2007; опубл. 20.05.2009; БИ № 14. 3 с.
10. Способ получения режущего инструмента из карбидосодержащих сплавов вольфрамовой (ВК) и титано-вольфрамовой (ТК) групп: пат. № 2528539 Российской Федерации, МПК B22 F 3/ 24 / Богодухов С.И. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Оренбургский государственный университет (ОГУ). № 2013121411/02; заявл. 07.05.2013; опубл. 20.09.2014; БИ № 26. 6 с.
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. *Вейко В.П., Шахно Е.А. Сборник задач по лазерным технологиям. Изд. 3-е, испр. и дополн. СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. 67 с.*
13. *Богодухов С.И., Козик Е.С. Материаловедение. Стартовый 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. *Влияние режимов термической обработки на свойства твердосплавного режущего инструмента Т14К8 / Е.С. Козик, Б.М. Шейнин, А.О. Стрижков, Е.В. Свиденко // Вестник ОГУ. 2015. № 1. С. 194–200.*

## PERFORMANCE PRODUCTS TITANOMAGHEMITE HARD ALLOYS

© 2016 S.I. Bogoduhov, E.S. Kozik, E.V. Svidenko

Orenburg State University

The effect of pulsed laser treatment on the structure and operational characteristics wolframkarbid hard alloys. The optimal regimes of laser action in which achieved the greatest increase in resistance of the hardened tool. The relationship between the depth of the hardened layer with the changed structure, durability and structural-phase changes in the area of laser processing. Laser heat treatment improves the operating characteristics of hard alloy T15K6 in 1,5 – 2 times.  
*Keywords:* laser pulse processing, hard alloy, wear, microtower-ness, microstructure.

*Stanislav Bogoduhov, Doctor of Technics, Professor at the Materials Science and Technology of Materials Department.  
E-mail: ogu@mailgate.ru*

*Elena Kozik, Candidate of Technics, Associate Professor at the Materials Science and Technology of Materials Department.  
E-mail: ele57670823@yandex.ru*

*Ekaterina Svidenko, Lecturer at the Materials Science and Technology of Materials Department.  
E-mail: tzvetkova.katia2016@yandex.ru*