

УДК 621.9.047
DOI: 10.12737/22578

Х.М. Рахимьянов, д.т.н.,
Н.П. Гаар, к.т.н.,
А.А. Локтионов, старший преподаватель
(Новосибирский государственный технический университет,
630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20)
E-mail: kharis51@mail.ru

Особенности активации анодного растворения при лазерно-электрохимической обработке безвольфрамового твердого сплава КНТ-16 в 10%-ном водном растворе нитрата натрия

Рассмотрены особенности электрохимического растворения безвольфрамового твердого сплава КНТ-16 в водном растворе нитрата натрия без наложения лазерного излучения и при воздействии лазерного излучения с длинами волн 1,06 мкм и 0,53 мкм. Установлено, что наложение лазерного излучения обеих длин волн (1,06 мкм и 0,53 мкм) в зону обработки при использовании частоты следования импульсов равной 10 кГц позволяет повысить плотность тока по сравнению с растворением без наложения излучения в 3 и 5 раз, соответственно.

Ключевые слова: лазерно-электрохимическая обработка; электролит; лазерное излучение; безвольфрамовый твердый сплав.

Kh.M. Rakhimyanov, D.Eng.,
N.P. Gaar, Can.Eng.,
A.A. Loktionov, Senior lecturer
(Novosibirsk State Technical University,
20, K. Marx Avenue, Novosibirsk, 630073)

Peculiarities of anodic dissolution activation at laser-electrochemical treatment of KNT-16 no-tungsten hard alloy in 10 % water solution of sodium nitrate

The peculiarities of an electrochemical dilution of KNT-16 tungstenless hard alloy in the water solution of sodium nitrate without laser emission imposition and at the impact of laser emission with wave lengths of 1.06 mcm and 0.53 mcm have been considered. It is established that the imposition of laser emission of both wave lengths (1.09 mcm and 0.53 mcm) in the area of treatment with the use of the frequency of pulse sequence equal to 10 kHz allows increasing current density as compared with the dilution without emission imposition three – five times more.

Keywords: laser-electrochemical treatment; electrolyte; laser emission; tungstenless hard alloy.

Безвольфрамовые твердые сплавы находят все большее применение в инструментальном производстве и в качестве конструкционных материалов как альтернатива традиционно ис-

пользуемым вольфрамо-кобальтовым, титано-кобальтовым модификациями твердых сплавов. Однако их относительно невысокая ударная вязкость, низкая теплопроводность и зна-

чительный коэффициент термического расширения накладывают определенные ограничения к теплонапряженности в процессе обработки.

При традиционных методах механической обработки (шлифование) наблюдается склонность безвольфрамовых твердых сплавов к трещинообразованию [1]. В связи с этим для обработки данного класса материалов привлекательным представляется использование электрофизических технологий и, в первую очередь, электрохимической размерной обработки (ЭХРО), исключаяющей как силовое, так и температурное воздействие на обрабатываемый материал.

Независимость обрабатываемости материалов при электрохимической обработке от их физико-механических свойств, обеспечение высокой точности и качества обрабатываемых поверхностей, возможность получения сложных геометрических форм изделия при использовании простых схем движения инструмента сделали данный вид обработки одним из основных для широкого класса материалов, в том числе и труднообрабатываемых. Однако невысокая производительность электрохимической размерной обработки накладывает определенные ограничения на ее использование для решения ряда технологических задач.

В настоящее время разработаны способы интенсификации процессов электрохимического растворения материалов, подробно описанные авторами в работах [2, 3]. Одним из перспективных путей повышения производительности обработки является электрохимическое растворение материала в условиях лазерного воздействия, получившего название лазерно-электрохимической размерной обработки (ЛЭХРО) [4].

Данный способ основан на введении импульсного лазерного излучения в зону электрохимического растворения, причем его мощность ограничивается температурой кипения электролита [5]. Использование лазерного излучения в электрохимических процессах позволяет задействовать различные механизмы их активации в зависимости от его параметров (длина волны, частота следования импульсов, мощность).

Настоящее исследование посвящено изучению влияния параметров лазерного излучения на характер анодного растворения безвольфрамового твердого сплава КНТ-16 в 10 %-ном водном растворе нитрата натрия. Используемый в экспериментах электролит относится к пассивирующим электролитам, для кото-

рых характерны низкая скорость электрохимического растворения. Выбор состава электролита и его концентрации основан на рекомендациях работы [6].

В таблице приведен химический состав безвольфрамового твердого сплава марки КНТ-16.

Химический состав безвольфрамового твердого сплава КНТ-16 по ГОСТ 26530-85

Состав, %		
Карбонитрид титата, TiCN	Никель, Ni	Молибден, Mo
74	19,5	6,5

Исследование влияния лазерного излучения на процесс электрохимического растворения обрабатываемого материала проводилось на специально разработанной установке, схема и внешний вид которой представлены на рис. 1, 2.

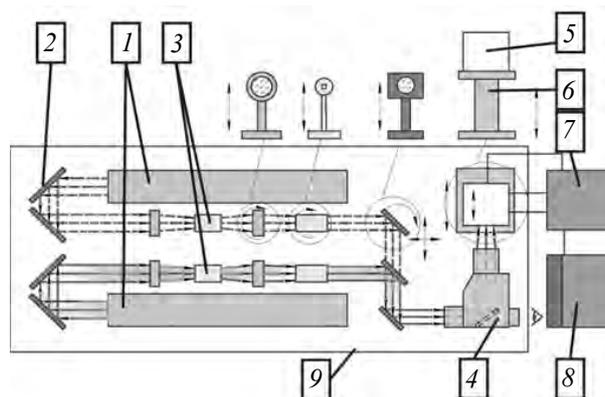


Рис. 1. Схема установки для поляризационных исследований лазерной активации электрохимических процессов:

1 – импульсный лазерный излучатель с перенастраиваемой частотой; 2 – поворотные зеркала; 3 – нелинейный преобразователь; 4 – система оптическая комбинированная (СОК); 5 – электрохимическая ячейка; 6 – предметный столик; 7 – потенциостат; 8 – персональный компьютер; 9 – оптическая скамья

Подробное описание работы установки и ее конструктивные особенности даны в статье [7]. Установка предназначена для проведения поляризационных исследований (потенциодинамических, потенциостатических) как в условиях электрохимического растворения, так и при введении лазерного излучения в зону обработки.

Наличие в составе установки системы оптической комбинированной (СОК) позволяет

осуществлять плавную регулировку размера зоны лазерного воздействия с возможностью визуального контроля процесса, а при оснащении установки фоторегистратором – производить съемку быстропротекающих процессов в приэлектродных областях.

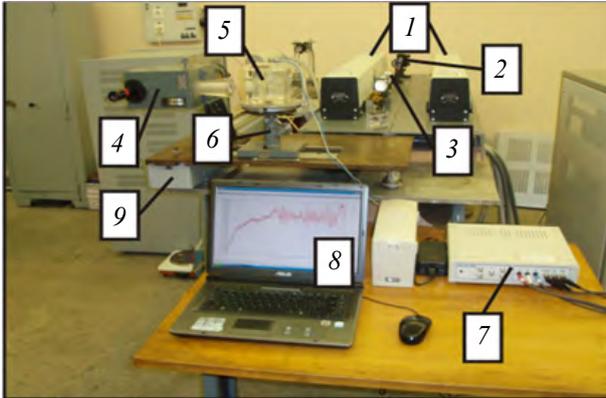


Рис. 2. Внешний вид установки для поляризационных исследований лазерной активации электрохимических процессов:

1 – импульсный лазерный излучатель с перенастраиваемой частотой; 2 – поворотные зеркала; 3 – нелинейный преобразователь; 4 – система оптическая комбинированная (СОК); 5 – электрохимическая ячейка; 6 – предметный столик; 7 – потенциостат; 8 – персональный компьютер; 9 – оптическая скамья

Использование в составе экспериментальной установки специально разработанного и изготовленного импульсного лазера с перенастраиваемой частотой позволяет исследовать влияние лазерного излучения в определенном диапазоне длин волн (1,32 мкм; 1,06 мкм; 0,63 мкм; 0,53 мкм) с регулируемой частотой следования импульсов (от 1 Гц до 30 кГц) на процессы электрохимического растворения токопроводящих материалов.

В настоящем исследовании были использованы длины волн в разном спектре лазерного излучения (1,06 мкм; 0,53 мкм). Так длина волны равная 1,06 мкм, относящаяся к диапазону инфракрасного излучения, совпадает с частотами собственных колебаний молекул растворов [8]. Предполагается, что сообщение молекулам дополнительной энергии от лазерного излучения позволит вывести их на более высокий энергетический уровень, что обеспечит повышение их реакционной способности в электрохимических процессах. Использование лазерного излучения в спектре коротковолнового диапазона (0,53 мкм) может быть перспективным с позиций возбуждения электронного состояния и фотоионизации атомов и молекул [8].

Уровень плотности мощности излучения, связанный с ограничениями по нагреву электролита, был определен по результатам математического моделирования процесса, описанного в работе [5].

В качестве прибора, задающего развертку потенциала и регистрирующего установившееся значение тока при потенциодинамических исследованиях процесса, в экспериментальной установке использовался потенциостат модели IPC-Pro-M. Развертка потенциала осуществлялась автоматически от 0 до 5 В со скоростью 0,2 В/с.

Электродом сравнения в поляризационных исследованиях являлся платиновый электрод. Для исключения влияния лазерного излучения на результаты регистрации, предварительной юстировкой исключалось его попадание на электрод сравнения. Конструктивные особенности электрохимической ячейки, предназначенной для лазерной активации процесса, подробно описаны в работе [9].

Результаты поляризационных исследований анодного поведения сплава КНТ-16 в условиях электрохимического растворения и при лазерной активации процесса представлены на рис. 3.

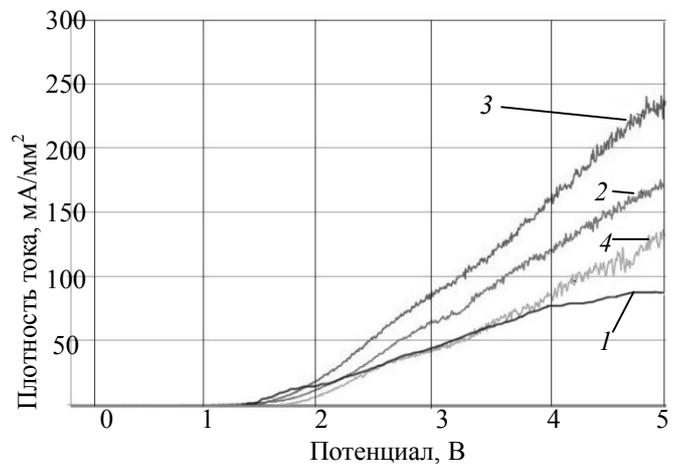


Рис. 3. Поляризационные кривые, полученные потенциодинамическим методом при обработке твердого сплава КНТ-16 в 10%-ном водном растворе нитрата натрия:

1 – электрохимическая обработка (ЭХРО); 2, 3, 4 – лазерно-электрохимическая обработка (ЛЭХРО) с длиной волны лазерного излучения 1,06 мкм; плотностью мощности $1,06 \cdot 10^6$ Вт/м²; частотой следования импульсов 5 кГц (кривая 2), 10 кГц (кривая 3), 15 кГц (кривая 4)

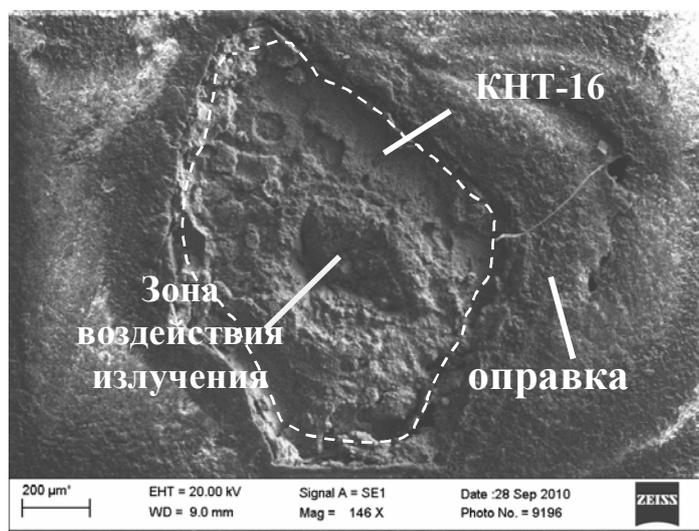
Анализ поляризационной кривой 1 (см. рис. 3), соответствующей электрохимическому растворению твердого сплава в растворе нитрата

натрия, свидетельствует о растворении материала в диапазоне потенциалов свыше 1,5 В. Повышение потенциала до 5 В сопровождается ростом плотности тока до 80 мА/мм².

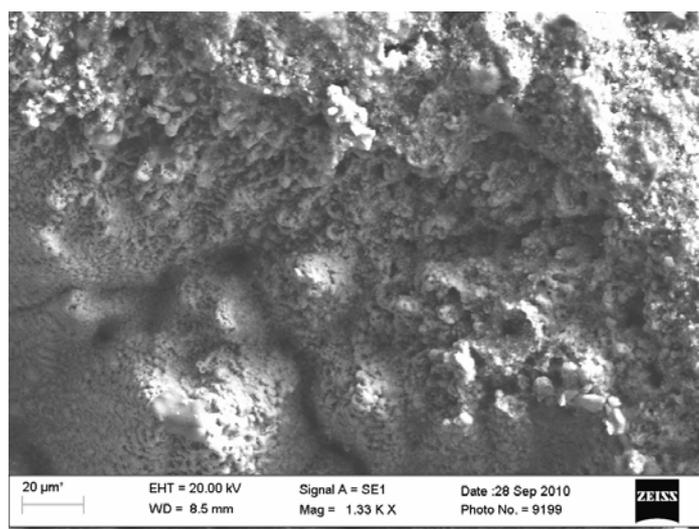
Характер кривой свидетельствует о наличии пассивационных явлений, связанных с образованием различного рода окисных и окисных пленок [1]. Введение лазерного излучения с длиной волны 1,06 мкм во всем диапазоне частот следования импульсов сопровождается увеличением плотности тока, что отражает интенсификацию процесса анодного растворения обрабатываемого материала. При этом максимальное значение плотности тока, равное 240 мА/мм², достигается на 10 кГц частоте следования импульсов.

Интенсификация процесса электрохимического растворения других материалов в 10 %-ном водном растворе нитрата натрия лазерным излучением с отмеченными параметрами подтверждается результатами исследований, полученных в работе [10].

На рис. 4 показан внешний вид и морфология зоны обработки сплава КНТ-16 после ЛЭХРО. Видно, что наиболее интенсивное электрохимическое растворение обрабатываемого материала в виде углубления наблюдается в области фокусировки лазерного излучения (рис. 4, а). Морфология поверхности, представленная на рис. 4, б подтверждает электрохимический характер удаления материала.



а)



б)

Рис. 4. Поверхность твердого сплава КНТ-16 после электрохимической обработки в 10 %-ном водном растворе нитрата натрия с наложением лазерного излучения с длиной волны 1,06 мкм:

а – зона обработки; б – морфология поверхности

Внешний осмотр поверхности сплава КНТ-16 после электрохимической обработки позволяет наблюдать наличие на ней окисной пленки, которая сохраняется на поверхности после снятия потенциала. Несмотря на наличие пассивирующей пленки, образующейся в процессе электрохимического растворения, введение лазерного излучения данной длины волны интенсифицирует процесс, приводя к трехкратному увеличению плотности тока.

Введение лазерного излучения с длиной волны 0,53 мкм в зону электрохимического растворения сопровождается еще большим увеличением плотности тока до 425 мА/мм² (кривая 1, рис. 5). При этом не наблюдается заметного влияния на характер поляризационной кривой частоты следования импульсов лазерного излучения. Значительная разница в реализуемых плотностях тока при различных длинах волн лазерного излучения (1,06 мкм – 240 мА/мм²; 0,53 мкм – 425 мА/мм²) свидетельствует о преобладающем действии механизмов активации, характерных коротковолновому спектру лазерного излучения.

Анализ морфологии поверхности сплава после ЛЭХРО с длиной волны излучения 0,53 мкм (рис. 6) указывает на отсутствие ярко выраженного углубления, характерного для обработки с излучением инфракрасного спектра (см. рис. 4, а). Вероятно, это можно объяснить усилением эффекта расфокусировки при действии коротковолнового излучения.

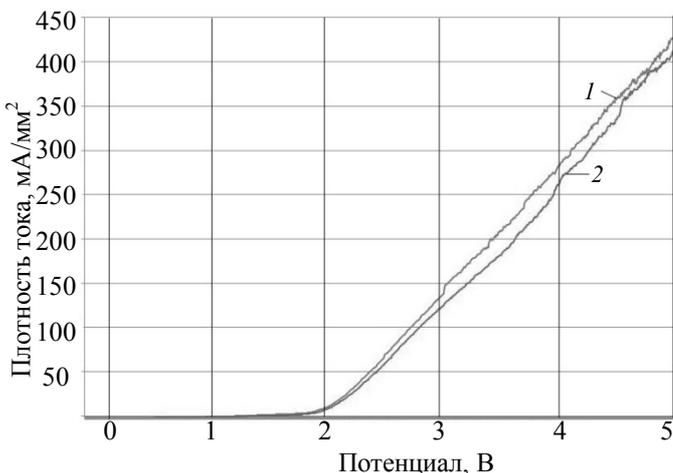


Рис. 5. Поляризационные кривые, полученные потенциодинамическим методом при обработке твердого сплава КНТ-16 в 10 %-ном водном растворе нитрата натрия при ЛЭХРО с длиной волны лазерного излучения 0,53 мкм; плотностью мощности $1,95 \cdot 10^6$ Вт/м² и частотой следования импульсов: 10 кГц (1); 15 кГц (2)

Как и при воздействии инфракрасного излучения на обрабатываемую поверхность после ЛЭХРО с длиной волны 0,53 мкм наблюдается наличие окисных пленок. Замечено, что окисные пленки, полученные при различных длинах волн лазерного излучения, имеют отличающийся внешний вид. Можно предположить, что реализация различных механизмов активации электрохимического растворения твердого сплава КНТ-16 при исследованных длинах волн лазерного излучения приводит к образованию отличающихся по химическому составу окисных пленок. Однако данное утверждение требует экспериментального подтверждения при дальнейших исследованиях в данном направлении.

Выводы

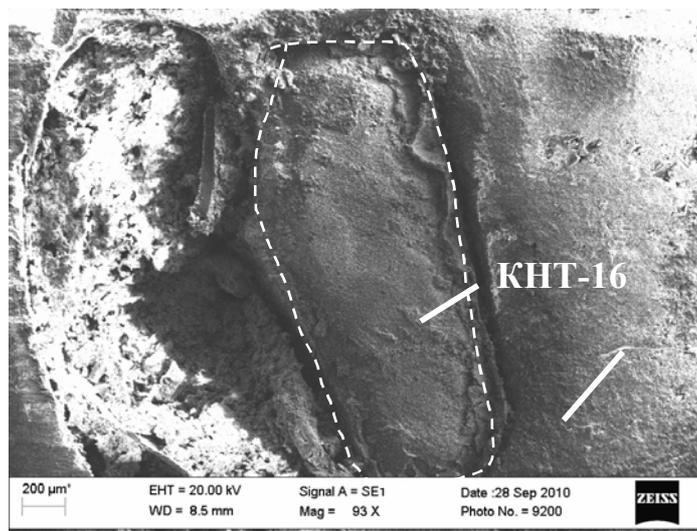
Характер поляризационной кривой электрохимического растворения сплава КНТ-16 в 10 %-ном водном растворе нитрата натрия свидетельствует о наличии пассивационных явлений при обработке, что связано с образованием окисных пленок.

Экспериментально подтверждена эффективность использования лазерно-электрохимической обработки (ЛЭХРО) безвольфрамового твердого сплава КНТ-16.

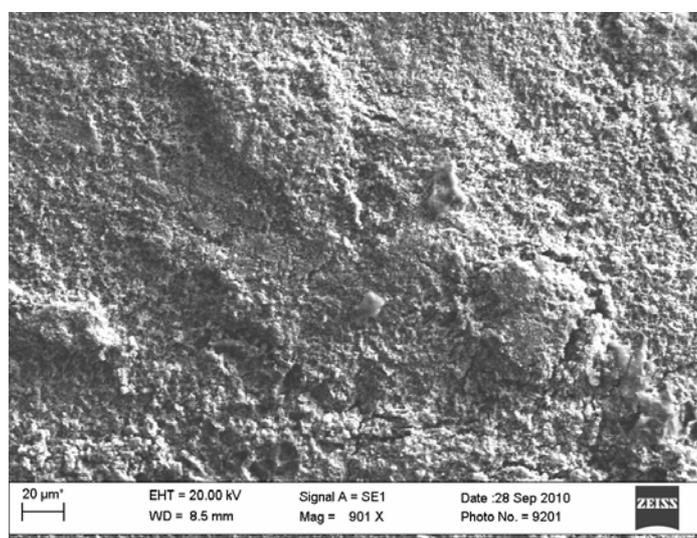
Потенциодинамические исследования показали на увеличение плотности тока при электрохимическом растворении материала за счет интенсификации процесса лазерным воздействием в исследуемом спектре излучения. Использование инфракрасного излучения с длиной волны 1,06 мкм позволило повысить плотность тока до 240 мА/мм², что в 3 раза превышает его значение при электрохимической обработке. Установлено, что максимальный эффект достигается при частоте следования импульсов излучения, равной 10 кГц.

Введение в процесс электрохимической обработки сплава КНТ-16 лазерного излучения длиной волны 0,53 мкм обеспечило интенсификацию электрохимического растворения с увеличением плотности тока в 5 раз.

Анализ обработанных поверхностей показал на наличие окисных пленок, различающихся по внешнему виду при введении лазерного излучения исследованных длин волн. Сделано предположение, что действие различных механизмов активации приводит к образованию отличающихся по химическому составу пленок.



а)



б)

Рис. 6. Поверхность твердого сплава КНТ-16 после электрохимической обработки в 10 %-ном водном растворе нитрата натрия с наложением лазерного излучения с длиной волны 0,53 мкм: а – зона обработки; б – морфология поверхности

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рахимьянов, Х.М., Красильников, Б.А., Янпольский, В.В., Красильников, Д.Б. Электрохимическая обработка безвольфрамовых твердых сплавов // *Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты.* – 2010. – № 3(48). – С. 3–7.

2. Rakhimyanov H.M., Gaar N.P. Possible ways for intensification of dimensional electrochemical machining (DECM) // *IFOST. Novosibirsk- Tomsk, Russia, June 23–29, 2008 -Proceedings of the 3rd International Forum on Strategic Technologies.* – Novosibirsk. – 2008. – P. 106–107.

3. Гаар, Н.П., Рахимьянов, Х.М. Пути интенсификации электрохимической размерной обработки // *Ползуновский альманах.* – 2008. – № 4. – С. 191 – 192.

4. Рахимьянов, Х.М., Журавлев, А.И., Гаар, Н.П., Локтионов, А.А. Способ размерной обработки металлов и сплавов: Патент Рос. фед. № 2451582. 2010. Заявл. 07.07.2010 № 2010128204/02. Оpubл. 27.05.2012, Бюл. № 15. 11 с.

5. Рахимьянов, Х.М., Гаар, Н.П. Математическое моделирование при лазерной термоактивации электрохимической размерной обработке // *Современные технологические системы в машиностроении: Сб. тез. докл. Междунар. науч.-техн. конфер.* – Барнаул: АлтГТУ. – 2006. – С.45–47.

6. Рахимьянов Х.М., Красильников Б.А., Гаар Н.П., Журавлев А.И., Локтионов А.А. Методика выбора электролита для лазерно-электрохимической обработки // *Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты.* – 2012. – № 2(55). – С. 18–21.

7. Рахимьянов Х.М., Красильников Б.А., Гаар Н.П., Журавлев А.И., Локтионов А.А. Установка для исследования материалов в условиях лазерно-электрохимической обработки комбинированным излучением // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. - 2012. - № 3 (56). - С. 30-32.

8. Летохов, В.С. Селективное действие лазерного излучения на вещество // Успехи физических наук. - 1978. - Т. 125, вып. 1. - С. 57-94.

9. Рахимьянов, Х.М., Гаар, Н.П. Электрохимическая ячейка для исследования интенсификации ЭХРО лазерным излучением // Современные пути развития машиностроения и автотранспорта Кузбасса: Труды первой всероссийской научно-технической конференции. Кемерово: КузГТУ. - 2007. - С. 251-254.

10. Gaar N.P., Zhuravlev A.I., Loktionov A.A. Increase of NaNO₃ electrolyte reaction capability by laser irradiation for electrochemical machining // Applied Mechanics and Materials. - 2014. - Т. 698. - С. 312-315.

REFERENCES

1. Rakhimyanov, H.M., Krasilnikov, B.A., Yanpolsky, V.V., Krasilnikov, D.B. Electro-chemical treatment of tungstenless hard alloys // Metal Working: Techniques, Equipment, Tools. - 2010. - № 3(48). - pp. 3-7.

2. Rakhimyanov H.M., Gaar N.P. Possible ways for intensification of dimensional electrochemical machining (DECM) // IFOST. Novosibirsk- Tomsk, Russia, June 23-29, 2008 - Proceedings of the 3rd International Forum on Strategic Technologies. - Novosibirsk. - 2008. - P. 106-107.

3. Gaar, N.P., Rakhimyanov, H.M. Ways for intensification of electrochemical dimensional treatment // Polzunov Almanac. - 2008. - № 4. - pp. 191 - 192.

4. Rakhimyanov, Kh.M., Zhuravlyov, A.I., Gaar, N.P., Loktionov. A.A. Method of Metal and Alloy Dimensional Machining: Patent RF. № 2451582. 2010. Applied. 07.07.2010 № 2010128204/02. Published. 27.05.2012, Bull. № 15. Pp. 11.

5. Rakhimyanov, Kh.M., Gaar, N.P. Mathematical modeling at laser thermo-activation of electrochemical dimensional treatment // Modern Technological Systems in Mechanical Engineering: Proceedings of Inter. Scientific-Tech. Conf. - Barnaul: AltSTU. - 2006. - pp. 45-47.

6. Rakhimyanov Kh.M., Krasilnikov B.A., Gaar N.P., Zhuravlyov A.I., Loktionov A.A. Procedure of electrolyte choice for laser electrochemical treatment // Metal Working: Technology, Equipment, Tools. - 2012. - № 2(55). - pp. 18-21.

7. Rakhimyanov Kh.M., Krasilnikov B.A., Gaar N.P., Zhuravlyov A.I., Loktionov A.A. Plant for materials analysis under conditions of laser electrochemical treatment with combined emission // Metals Working: Technology, Equipment, Tools. - 2012. - № 3 (56). - pp. 30-32.

8. Letokhov, V.S. Selective effect of laser emission upon substance // Progress of Physical Sciences. - 1978. - Vol. 125, Issue. 1. - pp. 57-94.

9. Rakhimyanov, Kh.M., Gaar, N.P. Electrochemical cell investigation of ECRE intensification with laser emission// Modern Ways in Development of Mechanical Engineering and Motor Transport of Kuzbass: Proceedings of the 1-st All-Russian Sc.-Tech. Conf. Kemerovo: KuzSTU. - 2007. - pp. 251-254.

10. Gaar N.P., Zhuravlev A.I., Loktionov A.A. Increase of NaNO₃ electrolyte reaction capability by laser irradiation for electrochemical machining // Applied Mechanics and Materials. - 2014. - Т. 698. - С. 312-315.

Рецензент д.т.н А.И. Болдырев

