

DOI: 10.15593/2224-9877/2016.3.04

УДК 621.9

Т.Р. Абляз, С.А. Оглезнева, Н.Д. Оглезнев, А.О. ГришаринПермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия**МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОРФОЛОГИИ
ПРОДУКТОВ ЭРОЗИИ**

В процессе электроэрозионной обработки материал обрабатываемой заготовки подвергается воздействию электрических импульсов. Под действием высоких температур происходит фазовый переход обрабатываемого материала из твердого состояния в парообразное. Пары металла при взаимодействии с рабочей жидкостью, заполняющей межэлектродное пространство, твердеют и формируют электроэрозионный шлам. На основе литературного анализа показано, что в результате турбулентного движения частицы шлама соударяются, что приводит к возникновению вмятин и трещин на их поверхности. При столкновении сферических частиц большего размера с более мелкими частицами возникает структура включений. Наличие вязкой рабочей жидкости ведет к формированию конгломератов из частиц электроэрозионного шлама. Влияние режимов электроэрозионной обработки на формирование конгломератов из частиц шлама не изучено в полной мере. Цель работы – металлографический анализ морфологии продуктов эрозии при обработке титанового сплава ВТ1Л. Установлено, что электроэрозионный шлам состоит не только из частиц обрабатываемого сплава, но и из частиц электрода. Значение мощности импульса определяет размер частиц электроэрозионного шлама. Показано, что при минимальной мощности размер единичной частицы минимален. Отмечена интенсивная конгломерация мелких частиц, затрудняющая удаление продуктов эрозии из зоны обработки. Измерения показали, что конгломераты, полученные при режимах с меньшей мощностью (чистовые режимы), крупнее и состоят из большего числа мелких частиц, чем при режимах с большей мощностью. Установлено, что конгломераты состоят из частиц электрода-инструмента и электрода-детали. Показано, что при увеличении энергии импульса частицы электроэрозионного шлама не конгломерируются, шлам представляет собой отдельные элементы со средним размером 14 мкм.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, электрод-инструмент, электрод-деталь, производительность, электроэрозионный шлам, продукты эрозии, конгломераты, плазменный канал, точность, единичная лунка.

T.R. Abylaz, S.A. Oglezneva, N.D. Ogleznev, A.O. Grisharin

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**METALLOGRAPHIC ANALYSIS OF MORPHOLOGY
EROSION PRODUCTS**

During electric discharge machining of the workpiece material is subjected to electrical pulses. Under the action of high temperatures, the phase transition material being processed from a solid to a vapor. metal vapors in contact with the process fluid that fills the space between electrodes, harden and form EDM sludge. On the basis of literary analysis shows that result of the turbulent motion of sludge

particles collide, resulting in the occurrence of dents and cracks on their surface. The collision of the spherical particles are larger and smaller particles occurs inclusions structure. Furthermore, the presence of the viscous working fluid leads to the formation of conglomerates of particles EDM slurry. Influence of EDM mode on the formation of conglomerates of the sludge particles has not been studied fully. Objective - metallographic analysis of the morphology of erosion products in the processing of titanium alloy VT1L. It is found that the EDM sludge consists not only of the processed alloy particles, but also from the electrode particles. The value of output level determines the amount of electrical discharge of sludge particles. It is shown that the minimum power the unit particle size is minimal. It noted the intense conglomeration of small particles difficult to remove the products of erosion from the treatment zone. Measurements showed that the conglomerates obtained in the lower power modes (finishing modes), is larger and consists of a large number of small particles than the high-power mode. It is found that the particles conglomerates composed of the electrode-tool and electrode-piece. It is shown that with increasing pulse energy, the particles do not conglomerate EDM sludge, the sludge is individual elements with a mean size of 14 microns.

Keywords: EDM, electrode-tool, electrode-piece, productivity, EDM debris, erosion products, conglomerates, plasma channel, precision, single hole.

Введение

В процессе электроэрозионной обработки (ЭЭО) материал обрабатываемой заготовки подвергается воздействию электрических импульсов. Температура плазменного канала превышает 10 000 °С. Под действием температуры происходит фазовый переход обрабатываемого материала из твердого состояния в парообразное. Пары металла при взаимодействии с рабочей жидкостью, заполняющей межэлектродное пространство, твердеют и формируют электроэрозионный шлам [1, 2].

Изучению процесса формирования электроэрозионного шлама и его влияния на качество ЭЭО посвящен ряд работ [2–5].

При обработке деталей в условиях плохой промывки межэлектродного пространства (обработка глубоких отверстий, шлицевых пазов, крупногабаритные пресс-формы и т.д.) происходит скопление продуктов эрозии в зоне обработки, что приводит к возникновению вторичных структур на поверхностях электродов, в результате чего снижается качество и производительность обработки [2].

В работах [3, 4, 6–8] показано, что перемещение электроэрозионного шлама в зоне обработки зависит от процесса формирования и перемещения газовых пузырей. Для анализа дрейфа продуктов эрозии в межэлектродном пространстве предложены экспериментальные установки. Показано, что из-за вязкости диэлектрика (минеральное масло) электроэрозионный шлам перемещается в оболочке газового пузыря. Проведенные исследования позволили визуализировать процесс перемещения шлама в зоне обработки без предложения практических рекомендаций по повышению эффективности ЭЭО.

В работах [9–13] показано, что для повышения производительности процесса ЭЭО необходимо варьировать параметры высоты подъема электрода-инструмента (ЭИ) из зоны резанья и скорость этого подъема.

В работах [14, 15] описано различие в строении шлама, сформированного от разрушения заготовки и инструмента. Шлам с поверхности заготовки представляет собой сферические частицы (рис. 1, а). Формирование сферических частиц происходит в результате остывания металла, испаренного с поверхности заготовки под действием электрического импульса. Многие из сферических поверхностей имеют типичные дендритные структуры, указывающие на достаточно низкую скорость охлаждения. Шлам, сформированный из материала электрода-инструмента, получается посредством термического выкрашивания (рис. 1, б).

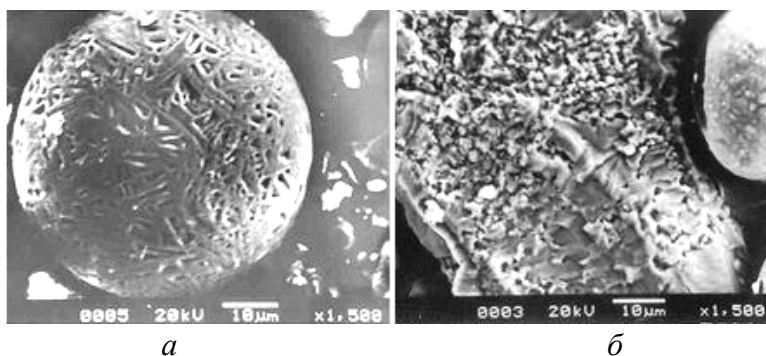


Рис. 1. Электроэрозионный шлам ($\times 1500$): а – с поверхности заготовки; б – с поверхности электрода-инструмента

При увеличении энергии импульса сферические частицы шлама разрушаются. На их поверхности формируются зоны выкрашивания, вмятины и трещины (рис. 2).

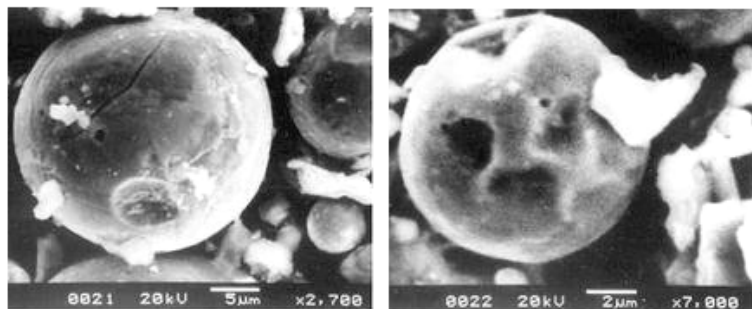


Рис. 2. Разрушение на поверхности сферических частиц

Показано, что при увеличении энергии импульса средний размер частиц сформированного шлама увеличивается.

В работах [14, 15] сформулирована гипотеза, о том, что местное возникновение высоких температур вызывает расплавление и испарение металлической фазы в местах воздействия, термическое разложение боридной фазы, а также испарение и разложение диэлектрической среды. Поскольку диэлектрическая среда пребывает в постоянной циркуляции, электроды охлаждаются, но поток паров становится турбулентным. Ввиду турбулентности поток паров будет распадаться на более мелкие фракции и каждая фракция будет склонна к конденсированию в жидкость (жидкий металл и рабочая жидкость), а затем в твердые частицы. Пары рабочей жидкости снижают скорость охлаждения капли жидкого металла, которая способствует сфероидизации частиц, а также их дендритной ликвации. При низкой входящей энергии снижается содержание паров металла и рабочей жидкости, что ведет к снижению количества частиц с меньшим средним размером. Шлам, сформированный при низких энергиях импульса, затвердевает быстрее и в результате становится более твердым. При увеличении входной энергии увеличивается поток паров металла и рабочей жидкости. В результате турбулентного движения частицы шлама соударяются, что приводит к возникновению вмятин и трещин на их поверхности. При столкновении сферических частиц большего размера с более мелкими частицами возникает структура включений. Кроме того, наличие вязкой рабочей жидкости ведет к формированию конгломератов из частиц электроэрозионного шлама. Влияние режимов ЭЭО на формирование конгломератов из частиц шлама не изучено в полной мере.

Цель работы – металлографический анализ морфологии продуктов эрозии при обработке титанового сплава ВТ1Л.

Материалы и методы исследования

Эксперименты проводились на копировально-прошивном электроэрозионном станке Electronica Smart CNC. Электрод-инструмент изготовлен из композиционного материала «медь – 0,4 об. % графита (ТРГ)». Электрод инструмент выполнен в виде цилиндра диаметром 5 мм. В качестве рабочей жидкости использовано масло EDM Oil – IPOLE SEO 450. В качестве заготовки применялась титановая пластина

из сплава ВТ1Л толщиной 6 мм. Режимы электроэрозионной обработки представлены в табл. 1.

Таблица 1

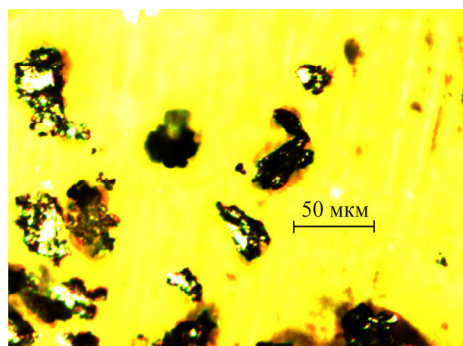
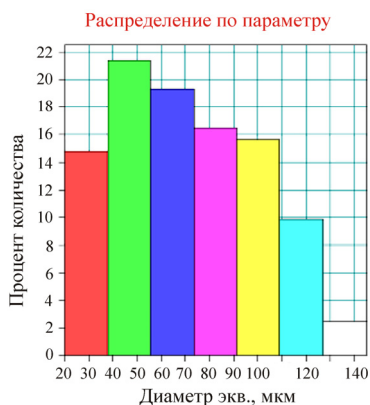
Режимы электроэрозионной обработки

Параметры	Кодированное значение режима		
	Е13 (чистовой)	Е34 (получистовой)	Е54 (черновой)
Время включения импульсов T_{on} , мкс	1	50	50
Время выключения импульсов T_{off} , мкс	32	32	32
Средний ток I , А	0,5	1,2	3
Среднее напряжение U , В	50	50	50
Полярность VE , E_{pol}	+	+	+
Мощность, Вт·с	0,025	0,3	7,5

Металлографический анализ морфологии продуктов эрозии изучали на оптическом микроскопе AXIOVERT 40 mat с использованием программы цифровой обработки данных «ВидеоТест4».

Результаты исследования и обсуждение

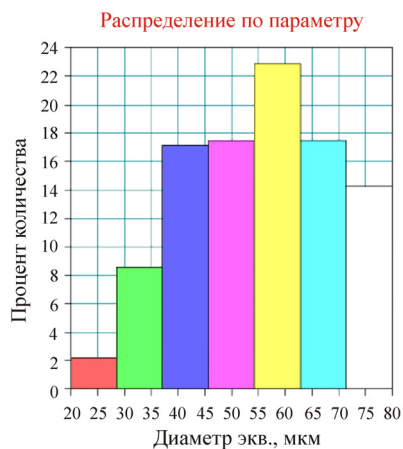
Установлено, что частицы удаленного с поверхности заготовки металла представляют собой конгломераты, состоящие из мелких фрагментов (рис. 3–5).



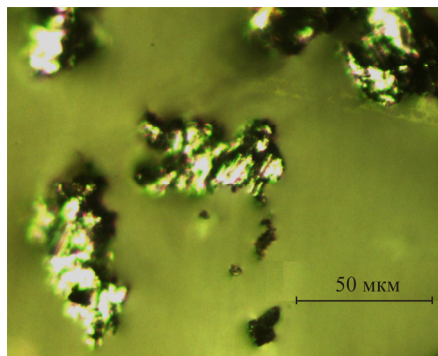
а

б

Рис. 3. Размер конгломератов при ЭЭО на чистовом режиме: а – гистограмма распределения размеров конгломератов; б – общий вид конгломератов

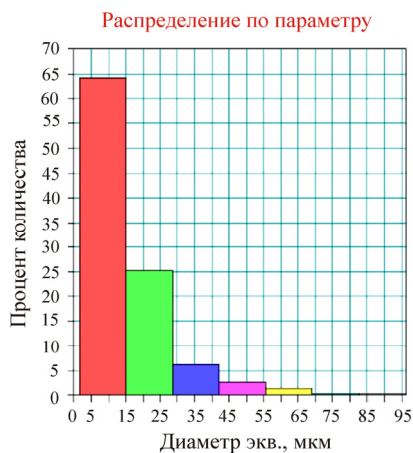


a

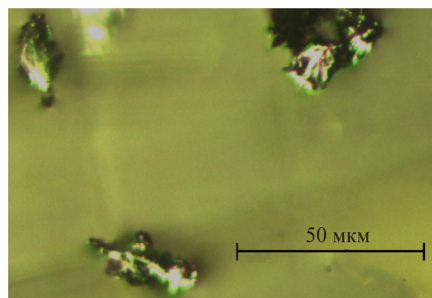


б

Рис. 4. Размер конгломератов при ЭЭО на полуцистовом режиме: *a* – гистограмма распределения размеров конгломератов; *б* – общий вид конгломератов



a



б

Рис. 5. Размер конгломератов при ЭЭО на черновом режиме: *a* – гистограмма распределения размеров конгломератов; *б* – общий вид конгломератов

Значения средних размеров конгломератов и частиц в их составе представлены в табл. 2.

Измерения показали, что конгломераты, полученные при обработке титана ВТ1Л на режимах с меньшей мощностью (чистовые режимы), крупнее и состоят из большего числа мелких частиц, чем при режимах с большой мощностью (табл. 2).

Таблица 2

Размеры частиц продуктов эрозии

Режимы	Средний размер конгломератов, мкм	Средний размер частиц в конгломератах, мкм
Е13 (чистойой)	72	2
Е34 (получистойой)	55	5
Е54 (черновой)	–	14

Установлено, что конгломераты состоят из частиц электрода-инструмента и электрода-детали.

Анализ полученных данных подтверждает гипотезу формирования конгломератов из частиц электроэрозионного шлама, предложенную в работах [6, 7].

Показано, что при увеличении энергии импульса (при обработке титана ВТ1Л) частицы электроэрозионного шлама не конгломерируются (см. табл. 2), шлам представляет собой отдельные элементы со средним размером 14 мкм.

Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Значение мощности импульса определяет размер частиц электроэрозионного шлама при обработке титана ВТ1Л. При минимальной мощности размер единичной частицы минимален, их конгломерация затрудняет удаление продуктов эрозии из зоны обработки.

2. При электроэрозионной обработке титана ВТ1Л на режиме с максимальной мощностью электроэрозионный шлам представляет собой отдельные частицы со средним размером 14 мкм.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 02.G25.31.0134 от 01.12.2015 в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).

Список литературы

1. Cetin S., Okada A., Uno Y. Effect of debris distribution on wall concavity in deep-hole EDM // JSME International Journal Series C. – 2004. – № 47. – P. 553.
2. Schumacher B.M. After 60 years of EDM the discharge process remains still disputed // J. Matl. Proc. Tech. – 2004. – № 149. – P. 376–381.
3. Abbas N.M., Solomon D.G., Bahari Md.F. A review on current research trends in electrical discharge machining (EDM) // Int. J. Mach. Tools Manuf. – 2007. – № 47. – P. 1214–1228.
4. Relationship between occurrence of material removal and bubble expansion in electrical discharge machining / S. Hayakawa, Y. Sasaki, F. Itoigawa, T. Nakamura // Proc. of the 17th CIRP Conf. on Electro Physical and Chemical Machining (ISEM). – 2013. – P. 174–179.
5. Liao Y.S., Wu P.S., Liang F.Y. Study of debris exclusion effect in linear motor equipped die-sinking EDM process // Procedia CIRP 6. – 2013. – P. 123–128.
6. Thermal and fluid field simulation of single pulse discharge in dry EDM / T. Wang, J. Zhe, Y.Q. Zhang, Y.L. Li, X.R. Wen // Procedia CIRP. – 2013. – № 6. – P. 428–432.
7. Jin Wang, Fuzhu Han. Simulation model of debris and bubble movement in electrode jump of electrical discharge machining // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2014. – № 74. – P. 591–598.
8. Dong J.R. Debris removal mode of die sinking electro discharge machining and its wave train analysis and application. Doctoral Dissertation / Institute of Mechanical Engineering of National Taiwan University. – 2006.
9. Takeuchi H., Kunieda M. Effects of volume fraction of bubbles in discharge gap on machining phenomena of EDM // Proceedings of the 15th International Symposium on Electromachining. – 2007. – P. 63.
10. Research on the influence of dielectric characteristics on the EDM of titanium alloy / Xiangzhi Wang, Zhidong Liu, Rongyuan Xue, Zongjun Tian, Yinhui Huang // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2014. – № 72. – P. 979–987.
11. Modeling of workpiece removal rate on EDM / F.Z. Han, J. Zhang, G. Cheng, I. Takahito // Proceedings of the 16th International Symposium on Electromachining (ISEM XVI). – Shanghai, 2010. – P. 101–104.

12. Wear resistance of copper EDM tool electrode electroformed from copper sulfate baths and pyrophosphate baths / P. Ming, D. Zhu, Y. Zeng, Y. Hu // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* – 2010. – № 50(5–8). – P. 635–641.

13. Accuracy improvement in nanographite powder-suspended dielectric fluid for micro-electrical discharge machining processes / G. Prihandana, M. Mahardika, M. Hamdi, Y.S. Wong, K. Mitsui // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* – 2011. – № 56(1–4). – P. 143–149.

14. Khanra A.K., Pathak L.C., Godkhindi M.M. Microanalysis of debris formed during electrical discharge machining (EDM) // *J. Mater. Sci.* – 2007. – № 42. – P. 872–877. DOI: 10.1007/s10853-006-0020-0

15. Wang J., Han F.Z. Simulation model of debris and bubble movement in consecutive-pulse discharge of electrical discharge machining // *Int. J. Mach. Tools. Manuf.* – 2013. – № 77. – P. 56–65.

Referencis

1. Cetin S., Okada A., Uno Y. Effect of *debris* distribution on wall concavity in deep-hole EDM. *JSME International Journal Series C*, 2004, no. 47, p. 553.

2. Schumacher B.M. After 60 years of EDM the discharge process remains still disputed. *Journal Matl. Proc. Tech.*, 2004, vol. 149, pp. 376–381.

3. Abbas N.M., Solomon D.G., Bahari Md.F. A review on current re-search trends in electrical discharge machining (EDM). *International Journal Mach. Tools Manuf.*, 2007, no. 47, pp. 1214–1228.

4. Hayakawa S., Sasaki Y., Itoigawa F., Nakamura T. Relationship between occurrence of material removal and bubble expansion in electrical discharge machining. *Proccesing of the 17th CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining (ISEM)*, 2013, pp. 174–179.

5. Liao Y.S., Wu P.S., Liang F.Y. Study of debris exclusion effect in linear motor equipped die-sinking EDM process. *Procedia CIRP* 6, 2013, pp. 123–128.

6. Wang T., Zhe J., Zhang Y.Q., Li Y.L., Wen X.R. Thermal and fluid field simulation of single pulse discharge in dry EDM. *Procedia CIRP*, 2013, no. 6, pp. 428–432.

7. Jin Wang, Fuzhu Han. Simulation model of debris and bubble movement in electrode jump of electrical discharge machining. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2014, no. 74, pp. 591–598.

8. Dong J.R. Debris removal mode of die sinking electro discharge machining and its wave train analysis and application. Doctoral Dissertation. Institute of Mechanical Engineering of National Taiwan University, 2006.

9. Takeuchi H., Kunieda M. Effects of volume fraction of bubbles in discharge gap on machining phenomena of EDM. *Proceedings of the 15th International Symposium on Electromachining*. 2007, pp. 63.

10. Xiangzhi Wang, Zhidong Liu, Rongyuan Xue, Zongjun Tian, Yin-hui Huang. Research on the influence of dielectric characteristics on the EDM of titanium alloy. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2014, no. 72, pp. 979-987.

11. Han F.Z., Zhang J., Cheng G., Takahito I. Modeling of workpiece removal rate on EDM. *Proceedings of the 16th International Symposium on Electromachining (ISEM XVI)*. Shanghai, 2010, pp. 101-104.

12. Ming P., Zhu D., Zeng Y., Hu Y. Wear resistance of copper EDM tool electrode electroformed from copper sulfate baths and pyrophosphate baths. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2010, no. 50(5-8), pp. 635-641.

13. Prihandana G., Mahardika M., Hamdi M., Wong Y.S., Mitsui K. Accuracy improvement in nanographite powder-suspended dielectric fluid for micro-electrical discharge machining processes. *International Journal Advance Manuf. Technology*, 2011, no. 56(1-4), pp. 143-149.

14. Khanra A.K., Pathak L.C., Godkhindi M.M. Microanalysis of debris formed during electrical discharge machining (EDM). *Journal Materials Science*, 2007, no. 42, pp. 872-877. DOI: 10.1007/s10853-006-0020-0

15. Wang J., Han F.Z. Simulation model of debris and bubble movement in consecutive-pulse discharge of electrical discharge machining. *International Journal Mach. Tools. Manuf.*, 2013, no. 77, pp. 56-65.

Получено 1.06.2016

Об авторах

Абляз Тимур Ризович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материалы, технологии и конструирование машин» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: lowrider11-13-11@mail.ru.

Оглезнева Светлана Аркадьевна – доктор технических наук, профессор кафедры «Материалы, технологии и конструирование машин» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: osa@pm.pstu.ac.ru.

Оглезнев Никита Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материалы, технологии и конструирование машин» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: fastrex@mail.ru.

Гришарин Антон Олегович – ведущий инженер кафедры «Сварочное производство и технология конструкционных материалов» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: lowrider11-13-11@mail.ru.

About the authors

Timur R. Abliaz (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Materials, Technologies and Constructions of Machines, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: lowrider11-13-11@mail.ru.

Svetlana A. Oglezneva (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Science, Professor, Department of Materials, Technologies and Constructions of Machines, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: osa@pm.pstu.ac.ru.

Nikita D. Ogleznev (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Materials, Technologies and Constructions of Machines, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: fastrex@mail.ru.

Anton O. Grisharin (Perm, Russian Federation) – Leading Engineer, Department of Welding Production and Structural Materials Technology, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: lowrider11-13-11@mail.ru.