

Струйная электрохимическая обработка стали 110Г13Л

Х.М. Рахимьянов^a, В.В. Янпольский^b, А.С. Юсупов^c

Новосибирский государственный технический университет, пр. К. Маркса 20, Новосибирск, Россия

^akharis51@mail.ru, ^byanpolskiy@corp.nstu.ru, ^cyusupovalexey@gmail.com

Статья поступила 12.12.2015, принята 28.02.2016

Рассмотрен вопрос обработки стали 110Г13Л. Показано, что применение традиционных методов формообразования для изготовления деталей неэффективно, поскольку стойкость режущего инструмента при обработке данной стали крайне низка из-за ее склонности к значительному самоупрочнению. В процессе обработки сталь 110Г13Л приобретает высокие вторичные механические свойства вследствие деформационного воздействия, снижение которого возможно за счет применения электрохимических методов формообразования, таких как струйная электрохимическая обработка. С целью реализации процесса струйной электрохимической обработки была разработана и изготовлена экспериментальная установка, позволяющая изменять давление электролита от 1 до 10 МПа. В качестве электролита при проведении исследований применяли водный раствор NaNO₃. Величина напряжения составляла 12 В, а время обработки одной поверхности — 1 мин. Зазор (Δ) между катодом-инструментом и обрабатываемой поверхностью составлял 0,1 мм. Глубина растворенного слоя и диаметры полученных отверстий измерялись при помощи инструментального микроскопа Nikon MM-400. На основании проведенных экспериментальных исследований по оценке влияния давления электролита на производительность процесса растворения стали 110Г13Л в водном растворе NaNO₃ было установлено, что с повышением давления электролита от 1 до 10 МПа наблюдается увеличение глубины растворения материала. Установлено, что при давлении 1 МПа происходит значительное растворение кромки отверстия; с повышением давления до 2 МПа наблюдается уменьшение величины растравливания границы отверстия. Показано, что увеличение давления электролита способствует уменьшению диаметра формируемого отверстия. Так, при давлении 1 МПа диаметр отверстия составляет 1,7 мм, а при давлениях 4, 6, 8 и 10 МПа — 1,02 мм.

Ключевые слова: электрохимическое растворение; струйная электрохимическая обработка; электролит; давление; сталь 110Г13Л.

Jet electrochemical machining of the steel 110G13L

Kh.M. Rakhimyanov^a, V.V. Yanpolskiy^b, A.S. Yusupov^c

Novosibirsk State Technical University; 20, K. Marks ave., Novosibirsk, Russia

^akharis51@mail.ru, ^byanpolskiy@corp.nstu.ru, ^cyusupovalexey@gmail.com

Received 12.12.2015, accepted 28.02.2016

The article deals with the question of the machining of the steel 110G13L. It has been shown that traditional formation methods for parts manufacture are inefficient due to the fact that the cutting tool durability, while machining this steel, is very low because of its propensity to significant self-hardening. During machining, the steel 110G13L receives high secondary mechanical properties due to deformation influence. Reducing deformation influence is possible by using electrochemical formation methods such as jet electrochemical machining. In order to realize the process of jet electrochemical machining, experimental assembly has been designed and manufactured. The assembly allows to vary the pressure of the electrolyte from 1 to 10 MPa. The electrolyte has been aqueous solution of NaNO₃. The voltage has been 12 V, and the machining time for a surface has been 1 min. Clearance (Δ) between the cathode-tool and the machining surface has been 0.1 mm. The dissolved layer depth and hole diameters have been measured with the help of instrumentally microscope Nikon MM-400. On the basis of the experiments conducted, it has been found that the depth of material dissolution increases with the increase of electrolyte pressure from 1 MPa to 10 MPa. It has also been found that when the electrolyte pressure is 1 MPa, there is a significant dissolution of the hole edge. When the pressure is 2 MPa, the border of hole dissolution is decreased. It has been shown that the increase of the electrolyte pressure reduces the diameter of the holes. When the pressure is 1 MPa, the hole diameter is 1.7 mm, and when the pressure is 4, 6, 8 or 10 MPa, the hole diameter is 1.02 mm.

Key words: electrochemical dissolution; jet electrochemical machining; electrolyte; pressure; steel 110G13L.

Введение

Сталь 110Г13Л нашла широкое применение при изготовлении таких деталей, как щеки дробилок, траки гусеничных машин, железнодорожные крестовины, стрелочные переводы, и других тяжело нагруженных деталей, работающих на износ в условиях скольжения и трения, под действием статических и высоких динамических нагрузок. В исходном состоянии, после осу-

ществления закалки, сталь приобретает аустенитную структуру с твердостью 250 HB и обладает высокой вязкостью. Под воздействием динамических нагрузок при холодной деформации твердость стали повышается до 600 HB [1–3]. Вместе с тем, при увеличении твердости возникают определенные сложности с механической обработкой данной стали. Применение традиционных методов формообразования для изготовления

деталей малопроизводительно вследствие того, что стойкость режущего инструмента при обработке данной стали крайне низка из-за ее склонности к значительному самоупрочнению.

Как известно, сталь 110Г13Л имеет сравнительно невысокие исходные механические характеристики, но в процессе обработки приобретает высокие вторичные механические свойства, в основном деформационной природы. В связи с этим для обработки стали с высокой производительностью и требуемым качеством поверхностного слоя необходимо уменьшить деформационное воздействие на материал. Решение этого вопроса возможно за счет применения электрофизических методов обработки [4–11].

В работах [12; 13] установлено, что формообразование стали 110Г13Л с высокой производительностью возможно при использовании комбинированных методов обработки, в частности электроалмазного шлифования. Однако применение указанного метода ограничивается лишь обработкой наружных поверхностей деталей, и его использование для изготовления внутренних поверхностей в сплошном металле невозможно. Альтернативой является струйная электрохимическая обработка [14–17].

Для эффективного применения струйной электрохимической обработки при изготовлении внутренних поверхностей в деталях из стали 110Г13Л необходимо определить рациональные режимы формообразования.

Методика проведения экспериментов. Влияние давления электролита на производительность процесса растворения исследовалось на экспериментальной установке для струйной электрохимической обработки (рис. 1).

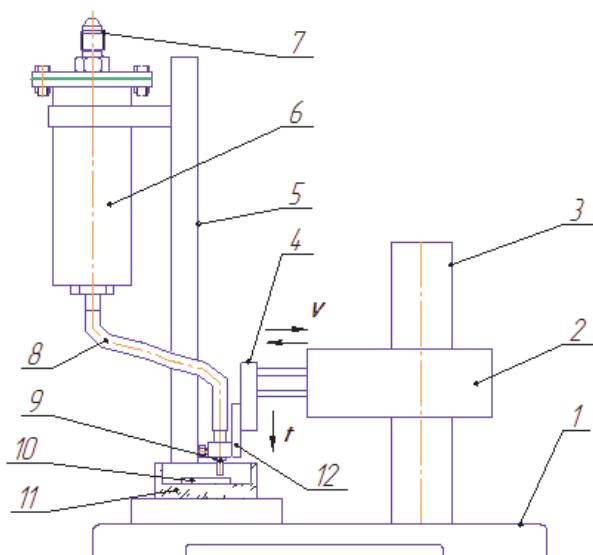


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для электрохимической струйной обработки: 1 — основание; 2 — приводной блок; 3 — стойка; 4 — каретка продольного хода; 5 — штатив; 6 — емкость для электролита; 7 — штуцер для подачи воздуха; 8 — шланг; 9 — катод-инструмент; 10 — деталь; 11 — электрохимическая ячейка; 12 — каретка вертикального перемещения

Электролит заливался в емкость 6 и подавался под давлением по шлангу 8 в зону обработки через катод-инструмент 9. Подача электролита осуществлялась через отверстие диаметром 0,5 мм в катоде. Наружный диаметр катода составлял 0,8 мм. Регулирование давления электролита происходило за счет изменения давления воздуха, подающегося в емкость 6 через штуцер 7 от пневмокомпрессора. При проведении экспериментов подача электролита в зону обработки производилась с давлениями 1, 2, 4, 6, 8 и 10 МПа.

Продольное перемещение катода-инструмента относительно обрабатываемой поверхности осуществлялось посредством движения каретки продольного хода 4 от приводного блока 2. Катод-инструмент совершал возвратно-поступательные движения со скоростью 150 мм/мин. Длина продольного перемещения катода-инструмента относительно обрабатываемой поверхности ограничивалась концевыми переключателями, размещенными в приводном блоке 2.

Вертикальное перемещение каретки 12 позволяло настраивать величину исходного зазора (Δ) между катодом-инструментом и обрабатываемой поверхностью, который составлял 0,1 мм (рис. 2). Катод-инструмент и обрабатываемая деталь подключались к источнику напряжения 3. Величина напряжения при проведении экспериментов составляла 12 В, а время обработки — 1 мин. В качестве электролита применяли водный раствор NaNO_3 [18].

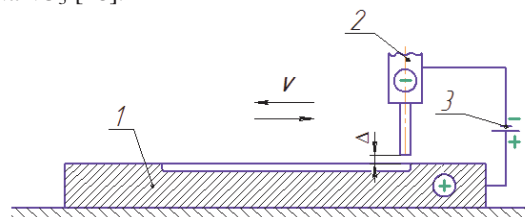


Рис. 2. Схема электрохимической струйной обработки: 1 — обрабатываемая деталь; 2 — катод-инструмент; 3 — источник напряжения

Глубина растворенного слоя и диаметры полученных отверстий измерялись при помощи измерительного микроскопа Nikon MM-400.

Результаты и обсуждение. Результаты проведения эксперимента по электрохимической струйной обработке стали 110Г13Л представлены на рис. 3–5. С повышением давления электролита от 1 до 10 МПа наблюдается увеличение глубины растворения (рис. 3).

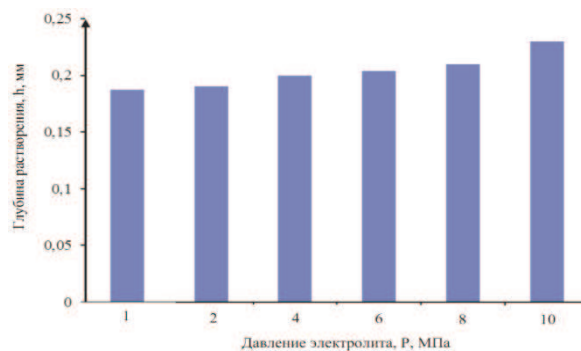


Рис. 3. График зависимости глубины растворения стали 110Г13Л от величины давления электролита

При электрохимическом растворении исследуемого материала с давлением электролита 1 МПа (рис. 4 а, б) наблюдается значительное растворение кромки отверстия. Вероятно, это связано с действием электрических силовых линий в объеме электролита, образовавшегося вокруг катода-инструмента, и гидродинамикой процесса [19–22]. С повышением давления до 2 МПа (рис. 4 б) происходит уменьшение величины растравливания границы отверстия.

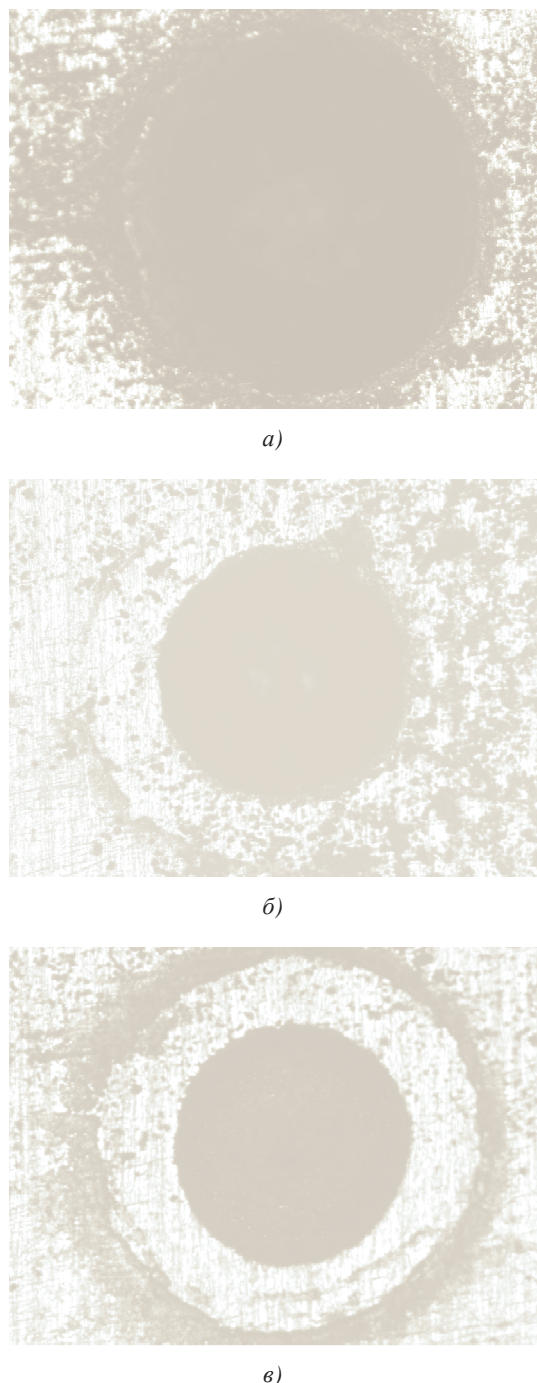


Рис. 4. Внешний вид полученных при электрохимической струйной обработке отверстий в стали 110Г13Л: а) $P = 1$ МПа; б) $P = 2$ МПа; в) $P = 4$ МПа

Последующее увеличение давления электролита до 10 МПа при электрохимической обработке стали

110Г13Л способствует снижению величины растравливания границ полученных отверстий (рис. 5).

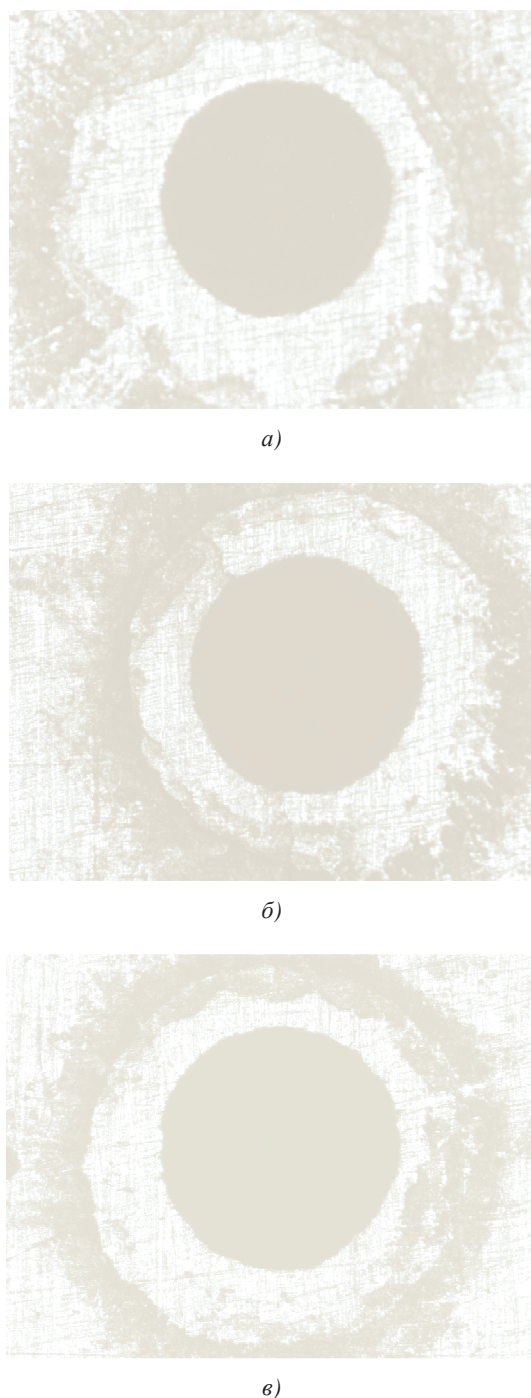


Рис. 5. Внешний вид полученных при электрохимической струйной обработке отверстий в стали 110Г13Л: а) $P = 6$ МПа; б) $P = 8$ МПа; в) $P = 10$ МПа

Следует отметить, что диаметр отверстия, полученного при электрохимической струйной обработке стали 110Г13Л с давлением электролита 1 МПа (рис. 4 а), составляет 1,7 мм, что значительно превышает диаметр катода-инструмента. Повышение давления электролита при электрохимической струйной обработке приводит к уменьшению диаметра получаемого отверстия в стали 110Г13Л до 1,02 мм. Однако на поверхности образца вокруг полученного отверстия при давлениях элек-

тролита 4, 6, 8 и 10 МПа происходит образование контура со следами растравливания обрабатываемой поверхности диаметром 1,7-1,8 мм, что снижает качество формообразования. Уменьшение величины растравливания обрабатываемой поверхности наблюдается при электрохимическом формообразовании стали 110Г13Л при включении продольного перемещения катода-инструмента (рис. 5). Ширина сформированного паза составляет $\delta = 0,83$ мм, что соответствует наружному диаметру катода-инструмента.



Рис. 6. Внешний вид кромки отверстия при $P = 1$ МПа

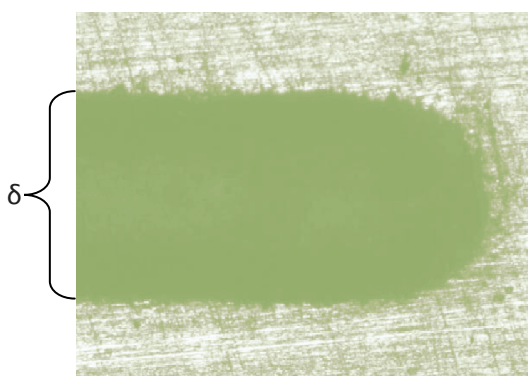


Рис. 7. Внешний вид полученного при электрохимической струйной обработке паза в стали 110Г13Л при $V = 150$ мм/мин, $P = 8$ МПа

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что повышение давления электролита до значения 10 МПа при струйной электрохимической обработке стали 110Г13Л не приводит к значительному повышению глубины растворения. Однако растворение указанной стали с малыми давлениями электролита, 1–2 МПа, сопровождается значительными участками растравливания границ формируемых отверстий. Повышение давления электролита снижает растравливание самих границ отверстий, однако приводит к образованию контура со следами растравливания диаметром 1,7-1,8 мм. Струйная электрохимическая обработка стали 110Г13Л с продольным перемещением катода-инструмента снижает величину растравливания границ формируемого паза и способствует уменьшению ширины растворения до $\delta = 0,83$ мм, что соответствует диаметру катода-инструмента.

1. Черняк С.С., Бройдо В.Л. Повышение эксплуатационной стойкости конструкций и деталей горных машин для работы в условиях Севера. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2001. 353 с.

2. Nikulina, A.A., Smirnov, A.I., Velikosel'skaya, E.Y. Structural changes in Hadfield steel under cold deformation // Journal of Surface Investigation. 2013. Vol. 7 (1). P. 172-177.

3. Korshunov, L.G., Sagaradze, V.V., Chernenko, N.L., Shabashov, V.A. Friction-induced structural transformations of the carbide phase in Hadfield steel // Physics of Metals and Metallography. 2015. Vol. 116 (8). P. 823-828.

4. Kozak, J., Skrabalak, G. Analysis of abrasive electrochemical grinding process (AECG) // Lecture Notes in Engineering and Computer Science. 2014. Vol. 2. P. 1147-1152.

5. Arkhipov, P.V., Yanyushkin, A.S., Lobanov, D.V., Petrushin, S.I. The effect of diamond tool performance capability on the quality of processed surface // Applied Mechanics and Materials. 2013. Vol. 379. P. 124-130.

6. Рахимьянов Х.М., Красильников Б.А., Еремина А.С. Модернизация оборудования для электроалмазного шлифования изделий из аморфных и нанокристаллических сплавов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2012. № 3. С. 37-39.

7. Lobanov, D.V., Yanyushkin, A.S. Influence of sharpening on the quality of hard-alloy tools for the cutting of composites // Russian Engineering Research. 2011. Vol. 31 (3). P. 236-239.

8. Рахимьянов Х.М., Рахимьянов К.Х., Гаар Н.П. Активация анодного растворения аморфных и нанокристаллических сплавов непрерывным обновлением поверхности // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2010. № 1. С. 35-38.

9. Mogilnikov V.A., Chmir M.Ya., Timofeev Yu.S., Poluyanov V.S. Diamond - ECM grinding of ceramic-metal tungsten // Procedia CIRP. 2013. Vol. 6. P. 407-409.

10. Рахимьянов Х.М., Янпольский В.В., Моисеенко А.Н. Электроалмазная обработка напыленных износостойких покрытий // Материалы международной научно-практической конференции "Инженерия поверхностного слоя деталей машин". Кемерово, 2009. С. 365-368.

11. Рахимьянов Х.М., Янпольский В.В., Моисеенко А.Н. Размерная обработка деталей с покрытиями из наноструктурированных порошковых материалов // Обработка металлов. 2010. № 4 (49). С. 22 – 26.

12. Рахимьянов Х.М., Красильников Б.А., Янпольский В.В., Марфелев А.А., Конев А.Ю. Электрохимическое растворение стали 110Г13Л // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2012. № 3. С. 40-41.

13. Янпольский В.В., Конев А.Ю. Особенности электрохимического растворения стали 110Г13Л в водных растворах электролитов // Материалы 11 Всероссийской научно-практической конференции (Новосибирск, 27 марта 2013 г.) «Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе». Новосибирск, 2013. С. 135-136.

14. Yanpolsky V.V., Krasilnikov B.A., Rakhimyanov K.Kh. Electrolyte pressure influence on the speed of steel 110G13L electrochemical dissolution during electrochemical jet machining // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 698. С. 321-325.

15. Hackert-Oschätzchen M., Paul R., Martin A., Meichsner G., Lehnert N., Schubert A. Study on the dynamic generation of the jet shape in Jet Electrochemical Machining // Journal of Materials Processing Technology. 2015. Vol. 223. P. 240-251.

16. Hackert-Oschätzchen M., Martin A., Meichsner G., Schubert A. Analysis of strategies for gap control in jet electrochemical machining // Conference Proceedings - 14th International Conference of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology, EUSPEN 2014. 2014. Vol. 2. P. 439-442.

17. Clerc C., Datta M., Romankiw L. High speed maskless patterning by electrolytic jet // Proceedings - The Electrochemical Society. 1989. Vol. 90 (1). P. 152-159.

18. Mizugai K., Shibuya N., Kunieda M. Study on electrolyte jet machining of cemented carbide // Proceedings of the 37th International MATADOR 2012 Conference. 2012. P. 83-86.

19. Kai S., Sai H., Kunieda M., Izumi H. Study on electrolyte jet cutting. Procedia CIRP. 2012. Vol. 1 (1). P. 627-632.

20. Krasilnikov B.A., Vasilevskaya S.I. Anode dissolution localization of copper in water electrolytes // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 788. C. 11-16.

21. Aul'chenko S.M., Kaledin V.O., Anikina Yu.V. Modeling a mechanism of decreasing the drag of a shell of revolution streamlined by a viscous fluid // Technical Physics Letters. 2007. Vol. 33. (9). C. 755-757.

22. Воронкова А.И., Котляр Л.М. Математическая модель задачи о профилировании инструмента при электрохимической обработке // Вестн. Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. 2011. Т. 15., № 2 (42). С. 88-92.

References

1. Chernyak S.S., Broido V.L. Improved operational stability of structures and parts of mining machines to work in the North. Irkutsk: Izd-vo Irkut. gos. un-ta, 2001. 353 p.

2. Nikulina A.A., Smirnov A.I., Velikosl'skaya E.Y. Structural changes in Hadfield steel under cold deformation // Journal of Surface Investigation. 2013. Vol. 7 (1). P. 172-177.

3. Korshunov L.G., Sagaradze V.V., Chernenko N.L., Shabashov V.A. Friction-induced structural transformations of the carbide phase in Hadfield steel // Physics of Metals and Metallography. 2015. Vol. 116 (8). P. 823-828.

4. Kozak J., Skrabalak G. Analysis of abrasive electrochemical grinding process (AECG) // Lecture Notes in Engineering and Computer Science. 2014. Vol. 2. P. 1147-1152.

5. Arkhipov P.V., Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Petrushin S.I. The effect of diamond tool performance capability on the quality of processed surface // Applied Mechanics and Materials. 2013. Vol. 379. P. 124-130.

6. Rakhimyanov Kh.M., Krasil'nikov B.A., Eremina A.S. Modernization of equipment for electrodiamond grinding of products of amorphous and nanocrystalline alloys // Obrabotka Metallov (Metal Working and Material Science). 2012. № 3. P. 37-39.

7. Lobanov, D.V., Yanyushkin, A.S. Influence of sharpening on the quality of hard-alloy tools for the cutting of composites // Russian Engineering Research. 2011. Vol. 31 (3). P. 236-239.

8. Rakhimyanov Kh.M., Rakhimyanov K.Kh., Gaar N.P. Activation of anodic dissolution of amorphous and nanocrystalline alloys, continuous updating of the surface // Obrabotka Metallov (Metal Working and Material Science). 2010. № 1. P. 35-38.

9. Mogilnikov V.A., Chmir M.Ya., Timofeev Yu.S., Poluyaynov V.S. Diamond - ECM grinding of ceramic-metal tungsten // Procedia CIRP. 2013. Vol. 6. P. 407-409.

10. Rakhimyanov Kh.M., Yanpol'skii V.V., Moiseenko A.N. Electrodiamond processing sprayed wear resistant coatings // Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Inzheneriya poverkhnostnogo sloya detalei mashin". Kemerovo, 2009. P. 365-368.

11. Rakhimyanov Kh.M., Yanpol'skii V.V., Moiseenko A.N. Dimensional processing of details with coverings from nano powder materials // Obrabotka Metallov (Metal Working and Material Science). 2010. № 4 (49). P. 2-26.

12. Rakhimyanov Kh.M., Krasil'nikov B.A., Yanpol'skii V.V., Marfelev A.A., Konev A.Yu. Electrochemical dissolution of steel 110G13L // Obrabotka Metallov (Metal Working and Material Science). 2012. № 3. P. 40-41.

13. Yanpol'skii V.V., Konev A.Yu. Features steel 110G13L electrochemical dissolution in aqueous electrolyte solutions // Materialy 11 Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Novosibirsk, 27 marta 2013 g.) «Problemy povysheniya effektivnosti metalloobrabotki v promyshlennosti na sovremennom etape». Novosibirsk, 2013. P. 135-136.

14. Yanpolsky V.V., Krasilnikov B.A., Rakhimyanov K.Kh. Electrolyte pressure influence on the speed of steel 110G13L electrochemical dissolution during electrochemical jet machining // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 698. P. 321-325.

15. Hackert-Oschätzchen M., Paul R., Martin A., Meichsner G., Lehnert N., Schubert A. Study on the dynamic generation of the jet shape in Jet Electrochemical Machining // Journal of Materials Processing Technology. 2015. Vol. 223. P. 240-251.

16. Hackert-Oschätzchen M., Martin A., Meichsner G., Schubert A. Analysis of strategies for gap control in jet electrochemical machining // Conference Proceedings - 14th International Conference of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology, EUSPEN 2014. 2014. Vol. 2. P. 439-442.

17. Clerc C., Datta M., Romankiw L. High speed maskless patterning by electrolytic jet // Proceedings - The Electrochemical Society. 1989. Vol. 90 (1). P. 152-159.

18. Mizugai K., Shibuya N., Kunieda M. Study on electrolyte jet machining of cemented carbide // Proceedings of the 37th International MATADOR 2012 Conference. 2012. P. 83-86.

19. Kai S., Sai H., Kunieda M., Izumi H. Study on electrolyte jet cutting. Procedia CIRP. 2012. Vol. 1 (1). P. 627-632.

20. Krasilnikov B.A., Vasilevskaya S.I. Anode dissolution localization of copper in water electrolytes // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 788. P. 11-16.

21. Aul'chenko S.M., Kaledin V.O., Anikina Yu.V. Modeling a mechanism of decreasing the drag of a shell of revolution streamlined by a viscous fluid // Technical Physics Letters. 2007. Vol. 33. (9). P. 755-757.

22. Voronkova A.I., Kotlyar L.M. Mathematical model one problem of the profiliation tools for electrochemical machining // Vestnik UGATU. 2011. Т. 15, № 2 (42). P. 88-92.