

АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Т.Р. Абляз

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь

В современном машиностроении технология электроэрозионной обработки находит широкое применение. Установлено, что процессы, сопровождающие электроэрозионную обработку, определяются физикой взаимодействия материала с концентрированным потоком энергии, инициированным искровым разрядом. В связи с тем, что поверхностный слой материала обрабатываемой заготовки подвергается интенсивному термическому воздействию, на его поверхности формируются вторичные структуры. В настоящее время не в полной мере изучен вопрос формирования вторичных структур на материалах с различными физико-механическими свойствами, на упрочненных поверхностях полученных методами лазерной наплавки и закалки. Актуальным является вопрос сохранения упрочненных и наплавленных поверхностных слоев своих свойств после обработки их методом проволочно-вырезной электроэрозионной резки. Показано, что при обработке закаленных и наплавленных поверхностей в первую очередь необходимо обеспечить минимальный температурный нагрев детали. Возникновение перегревов может способствовать снижению полученных физико-механических характеристик закаленного поверхностного слоя, что является недопустимым. Целью работы является изучение влияния режимов ПВЭЭО на возникновение изменений в поверхностном слое обработанных деталей. В работе проведено экспериментальное исследование процесса обработки материалов с разными физико-механическими свойствами. Показаны особенности формирования измененного слоя на обработанных деталях в зависимости от режимов электроэрозионной обработки. Установлено, что в процессе проволочно-вырезной электроэрозионной обработки экспериментальных образцов, с увеличением силы тока на обработанной поверхности происходит увеличение толщины измененного поверхностного слоя, при этом микротвердость слоя не изменяется. Показано, что сформированный слой не влияет на эксплуатационные характеристики обработанных деталей.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, поверхностный слой, микроструктура, качество, электрод-инструмент.

Введение. Технология электроэрозионной обработки (ЭЭО) токопроводящих материалов находит широкое применение в современном машиностроении.

Одним из направлений развития технологии ЭЭО является проволочно-вырезная электроэрозионная обработка (ПВЭЭО). В качестве электрода-инструмента при такой обработке используется латунная проволока. Проволочно-вырезная обработка применяется при вырезке деталей сложного профиля из труднообрабатываемых материалов. Благодаря тому, что диаметр проволоки может достигать 0,03 мм, данный способ обработки позволяет вырезать детали машин и механизмов минимальных размеров с высокой точностью.

Кроме промышленного применения технология ПВЭЭО широко используется в лабораторных условиях при подготовке экспериментальных образцов для исследований. Вырезание экспериментальных образцов из разнородных материалов с высокими физико-механическими свойствами, является одними из наиболее распространенных областей применения электроэрозионных технологий. Показана целесообразность применения именно ПВЭЭО при вырезании дефектов из сплошного материала с целью их дальнейшего металлографического исследования [1–5].

Несмотря на активное применение технологии электроэрозионной обработки, данный метод является неизученным в полной мере. Установлено, что процессы, сопровождающие электроэрозионную обработку, определяются физикой взаимодействия материала с концентрированным потоком энергии, инициированным искровым разрядом [2–4]. В связи с тем, что поверхностный слой материала обрабатываемой заготовки подвергается интенсивному термическому воздействию, на его поверхности формируются вторичные структуры.

В работах [1–9] показано, что свойства поверхностного слоя изменяются в результате ЭЭО. Однако не в полной мере изучен вопрос формирования вторичных структур на материалах с различными физико-механическими свойствами, на упрочненных поверхностях полученных методами лазерной наплавки и закалки. Актуальным является вопрос сохранения своих свойств упрочненных и наплавленных поверхностных слоев после обработки их методом ПВЭЭО. Показано, что при обработке закаленных и наплавленных поверхностей, в первую очередь, необходимо обеспечить минимальный температурный нагрев детали. Возникновение перегревов может способствовать снижению полученных физико-механических характеристик закаленного поверхностного слоя [9–12].

В теории электроэрозионной обработки измененный слой на поверхности заготовки условно разделяют на зоны [8, 10, 13–15]: 1 – зону насыщения элементами рабочей жидкости; 2 – зону отложения материала ЭИ; 3 – белый слой, образованный из расплавленного материала ЭД; 4 – зону термического влияния; 5 – зону пластической деформации. Последовательность образования зон, их количество, структура и свойства в значительной мере зависят от обрабатываемого материала, а так же от режима обработки, применяемой РЖ, материала ЭИ и условий ведения процесса. Между зонами, как правило, нет четкой разницы, а в большинстве случаев они перекрывают друг друга. Вместе с тем, каждая из перечисленных зон имеет свои особенности, влияющие на эксплуатационные свойства обработанной детали [4, 7, 11–20].

Целью работы является изучение влияния режимов ПВЭЭО на возникновение изменений в поверхностном слое обработанных деталей.

1. Материалы и методы исследования. В качестве экспериментальных образцов в работе выбраны материалы с разными физико-механическими свойствами. Проведено исследование образцов: выполненных из однородных материалов; заготовок полученных методом лазерной наплавки; поверхностей с упрочненным поверхностным слоем, полученным после плазменной закалки.

Обрабатываемые материалы заготовок и их описание представлено в табл. 1.

Таблица 1

Обрабатываемые материалы

№ заготовки	Материал заготовки	Описание заготовки
1	Сталь марки 65Г	ГОСТ 14959-70. Предварительно сталь марки 65Г подвергалась полной закалке с температуры 800 °С в масле и последующему среднему отпуску при температуре 450 °С в течение 3 ч. В результате получена структура троостита отпуска. Твердость заготовки составляет 50 HRC
2	Титан марки BT5	ГОСТ 19807-91.
3	Сталь марки У10 с наплавленным покрытием из стали марки 4Х5МФ1С	Основа – сталь марки У10 по ГОСТ 14959-70. Наплавляемый материал – сталь марки 4Х5МФ1С по ГОСТ 5950-2000. Высота наплавленного слоя 0,003 м

Электроэрозионная обработка проведена на проволочно-вырезном станке фирмы Electronica модель Ecoscut. В качестве рабочей жидкости использована дистиллированная вода. В качестве электрода-инструмента использована проволока из латуни марки Л68. Обработку проводили в соответствии с режимами, приведенными в табл. 2.

Таблица 2

Режимы обработки

Режим	max	min
Время действия импульса (ton), мкс	21	10
Время бездействия импульса (toff), мкс	60	21
Напряжение (U), В	50	50
Сила тока (I), А	1	0,5
Производительность (Q), мм/мин	3,1	1,5

Измененный поверхностный слой, образованный в результате электроэрозионной обработки, изучался методом металлографического анализа. Металлографический анализ проводился с использованием светового микроскопа Olympus GX 51 при увеличениях до 1000 крат на травленных микрошлифах.

Микрошлифы изготавливались в несколько этапов: предварительно образцы заливались в бакелит, далее на абразивных шкурках P240, P320, P600, P1200, P2000 последовательно сошлифовывался поверхностный слой до момента удаления следов от предыдущей шкурки со сменой направления шлифования на 90° . Полировка поверхности образца производилась на полировочном круге с использованием сукна и алмазной пасты. После полирования образец промывался водой, обезжиривается тампоном, смоченном в спирте, и сушится фильтровальной бумагой. Полированная поверхность образца подвергается травлению 4%-ном раствором азотной кислоты в этиловом спирте.

ДюрOMETрический анализ проводили с использованием микротвердомера DuraScan70 по методу восстановленного отпечатка вдавливанием четырехгранной алмазной пирамиды с квадратным основанием при нагрузке 25 г с шагом 35 мкм.

2. Экспериментальные исследования. Измененный поверхностный слой, сформированный на поверхности образцов из стали марки 65Г, обработанных на режимах ЭЭО (табл. 2) представлен рис. 1.

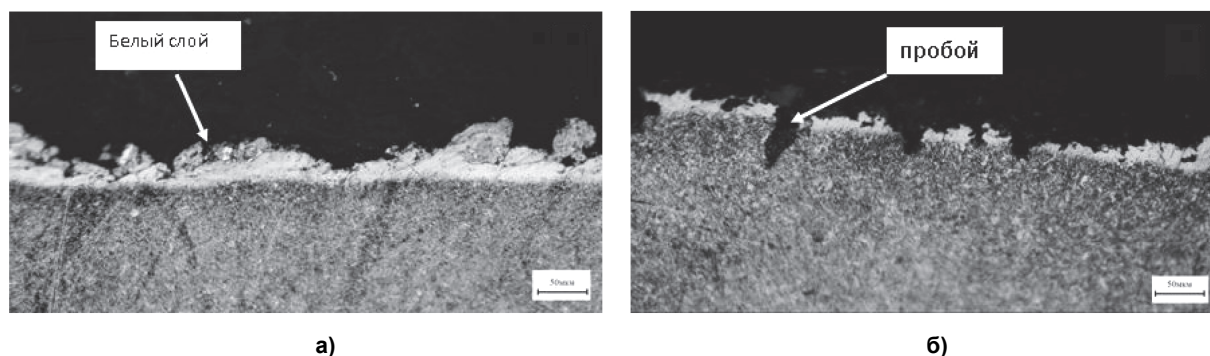


Рис. 1. Поверхностный слой стали марки 65Г после электроэрозионной обработки: а – максимальный режим; б – минимальный режим

Показано, что поверхностный слой стали марки 65Г после электроэрозионной обработки на максимальном режиме (рис. 1, а) качественно и количественно отличается от поверхностного слоя после обработки на минимальном режиме (рис. 1, б). Установлено, что при обработке заготовки на максимальных режимах толщина белого слоя больше, чем при обработке на минимальных. В результате металлографического исследования показано, что измененный поверхностный слой покрывает всю обработанную поверхность. В случае минимального режима белый слой имеет частые пробой по глубине превышающие слой, а сам белый слой выглядит равномерным по толщине без выраженных рыхлых наростов.

Проведенное металлографическое исследование заготовки с упрочненным поверхностным слоем (полученным методом плазменной закалки (табл. 1)) показало, что величина белого слоя, образовавшегося на поверхности заготовок прямопропорциональна режимам обработки – при увеличении режимов обработки, толщина белого слоя увеличивается. Наибольшая толщина белого слоя соответствует максимальному режиму и не превышает 3 мкм.

Из анализа обработанных поверхностей следует, что белый слой не равномерно покрывает обработанные поверхности и имеет неравномерную, прерывистую структуру. На большей части обработанной поверхности белого слоя не наблюдается. Установлено, что для исследуемых заготовок глубина белого слоя и характер его распределения по обработанной поверхности одинаковы.

Структура обработанных титановых заготовок представлена на рис. 2. Показано, что на обработанной титановой заготовке формируются 4 зоны: 1 – белый слой, 2 – зона термовлияния, 3 – зона структурных деформаций, 4 – исходный материал.

Установлено, что при увеличении энергии импульса происходит увеличение размеров зон поверхностного слоя.

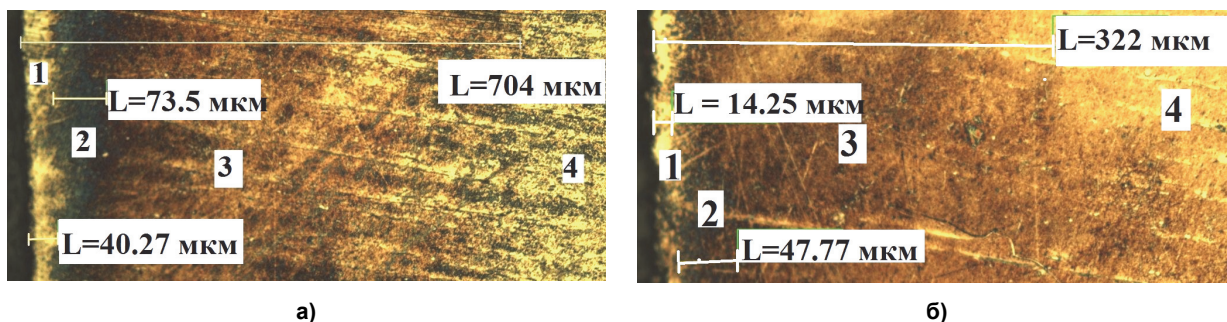


Рис. 2. Структура поверхностного слоя титана: а – режим I; б – режим II

При проведении металлографического анализа наплавленной поверхности установлено, что порядок возникновения структурных изменений соответствует обработанным образцам № 1 и 2 (табл. 1). Показано, что поверхностный слой стали и наплавки после электроэрозионной обработки на максимальных режимах (рис. 3, а) качественно и количественно отличается от поверхностного слоя после обработки на минимальных режимах (рис. 3, б). Аналогично обработанной поверхности заготовки № 1 (табл. 1) при обработке наплавленных поверхностей на максимальных режимах поверхностный слой более глубокий и на поверхности наблюдаются рыхлые наросты. Такой слой покрывает всю поверхность, а пробои и нарушения сплошности не наблюдаются.

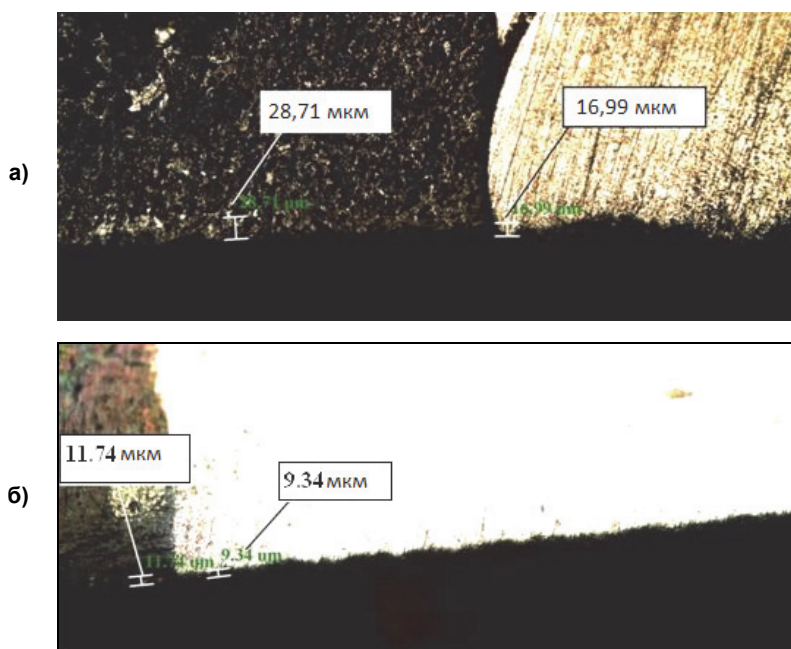


Рис. 3. Поверхностный слой стали марки У10 с наплавленным покрытием из стали марки 4Х5МФ1С после электроэрозионной обработки: а – максимальный режим; б – минимальный режим

По результатам металлографических исследований заготовки, полученной методом лазерной наплавки, сделан вывод, что наибольшая глубина поверхностного слоя на участке стали марки У10 и наплавленном материале достигнута в случае максимального режима. Показано, что величина сформированного белого слоя на материале основы и наплавленном материале различны. Размер измененного слоя на материале основы превышает размер слоя, сформированного на наплавленном материале.

По результатам проведенных экспериментов построен общий график (рис. 4) зависимости между глубиной измененного слоя и силой тока (табл. 2).

Согласно [3–7], поверхностный слой представляет собой дефектную структуру, при разработке технологии целесообразнее подбирать режимы, при которых его величина минимальна.

Однако при работе на минимальных режимах резания снижается производительность обработки. В ходе исследования установлено, что обработка на среднем режиме позволит обеспечить оптимальное соотношение между глубиной поверхностного слоя и производительностью.

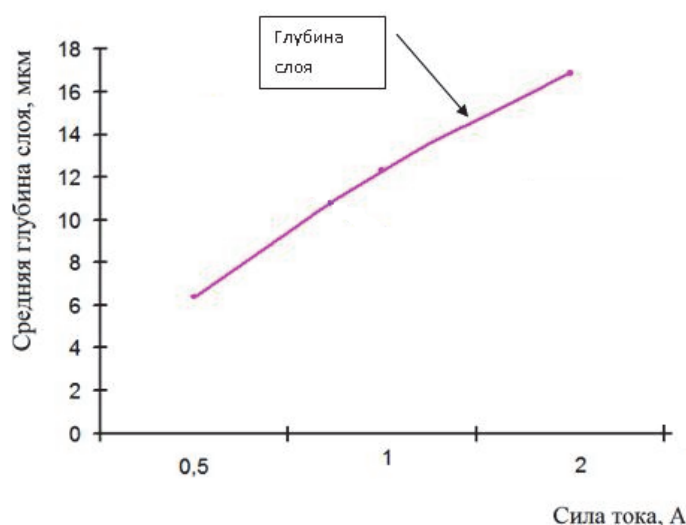


Рис. 4. Общий график зависимости глубины измененного слоя от силы тока

Для выявления влияния сформированного измененного слоя на эксплуатационные свойства обработанной детали применен метод дюрOMETрического анализа.

При проведении дюрOMETрического анализа поверхностей обработанных заготовок использовался метод восстановленного отпечатка.

Согласно результатам эксперимента, изменения микротвердости стальных заготовок, обработанных методом проволочно-вырезной ЭЭО поверхностей образцов не выявлено. Ввиду этого можно предположить, что зона термического влияния при проволочно-вырезной электроэрозионной обработке исследуемых заготовок отсутствует.

Выводы

1. Показано, что при электроэрозионной обработке материалов, не зависимо от их физико-механических свойств на поверхности образуется измененный поверхностный слой.
2. Установлено, что толщина измененного слоя увеличивается при увеличении энергии импульса. Показано, что минимальному значению толщины измененного слоя соответствуют режимы обработки $t_{on} = 10$ мкс, $t_{off} = 21$ мкс.
3. Зона термического влияния при проволочно-вырезной электроэрозионной обработке исследуемых заготовок отсутствует.
4. Установлено, что величина сформированного белого слоя, при обработке наплавленных поверхностей, на материале основы и наплавленном материале различны. Размер измененного слоя на материале основы превышает размер слоя, сформированного на наплавленном материале.

Обсуждение и применение

Полученные экспериментальные результаты исследования структурных изменений в поверхностном слое деталей после электроэрозионной обработки.

В ходе исследования установлено, что проволочно-вырезная электроэрозионная обработка, в исследуемом диапазоне режимов резания, не оказывает влияние на структурные изменения в поверхностном слое обрабатываемых заготовок. Показано, что в процессе проволочно-вырезной электроэрозионной обработки стали У10 и наплавленного материала стали 4Х5МФ1С сформированный измененный поверхностный слой не влияет на эксплуатационные свойства изготовленной детали.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по Государственному заданию (проектная часть) № 9.1570.2014/К.

Литература

1. Абляз, Т.Р. *Современные подходы к технологии электроэрозионной обработки материалов* / Т.Р. Абляз, А.М. Ханов, О.Г. Хурматуллин. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 112 с.
2. Артамонов, Б.А. *Анализ моделей процессов электрохимической и электроэрозионной обработки. Ч. 2: Модели процессов электроэрозионной обработки. Проволочная вырезка* / Б.А. Артамонов, Ю.С. Волков. – М.: ВНИИПИ, 1991. – 144 с.

3. Журин, А.В. Методы расчета технологических параметров и электродов-инструментов при электроэрозионной обработке: дис. ... канд. техн. наук / А.В. Журин. – Тула: ТГУ, 2005. – 132 с.
4. Кабалдин, Ю. Г. Повышение устойчивости процесса электроэрозионной обработки и качества обработанной поверхности на основе подходов искусственного интеллекта / Ю.Г. Кабалдин, М.Ю. Сарилов, С. В. Биленко. – Комсомольск-на-Амуре: КнАГТУ, 2007. – 191 с.
5. Лосев, В.А. Многофакторное планирование эксперимента / В.А. Лосев. – Пермь, 1985. – 28 с.
6. Серебrenицкий, П.П. Современные электроэрозионные технологии и оборудование: учеб. пособие / П.П. Серебrenицкий. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2007. – 228 с.
7. Соломенцев, Ю.Г. Адаптивное управление технологическими процессами / Ю.Г. Соломенцев, В.Г. Митрофанов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1980. – 536 с.
8. Схиртладзе, А.Г. Технологические процессы в машиностроении: учеб. / А.Г. Схиртладзе, С.Г. Ярушин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2006. – 496 с.
9. Съянов, С.Ю. Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя деталей при электроэрозионной обработке: дис. ... канд. техн. наук / С.Ю. Съянов. – Брянск: БГТУ, 2002. – 166 с.
10. Фотеев, Н.К. Управление качеством поверхности технологической оснастки при электроэрозионной обработке / Н.К. Фотеев // Электронная обработка материалов. – 1994. – № 2. – С. 5–7.
11. Wire analysis and control for precision EDM cutting / D.F. Dauw, H. Sthioul, R. Delpretti, C. Tricarico // Ann. CIRP. – 1989. – Vol. 38. – № 1. – P. 191–194.
12. Gibson, I. Additive Manufacturing Technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing / I. Gibson, D.W. Rosen, B. Stucker. – New York: Springer, 2010. – Ch. 9 – P. 237–258.
13. Justin, D. Improving implants using laser-based metal deposition technologies / D. Justin, B. Stucker // BONEZone. – 2006. – Spring. – P. 22–25.
14. Kinoshita N., Fukui M., Kimura Y. Study on wire-EDM: in process measurement of mechanical behaviour of electrode-wire // Ann. CIRP. – 1984. – № 33. – Iss. 1. – P. 89–92.
15. Kunieda, M. Study on wire electrode temperature in WEDM / M. Kunieda, S. Takeshita, K. Okumiya // Proceedings of international Symposium for Electromachining – ISEM XII. – 1998. – P. 151–161.
16. Liao, Y.S. A study on the machining-parameters optimization of wire electrical discharge machining / Y.S. Liao, J.T. Huang, H.C. Su // J. Mater. Process. Technol. – 1997. – № 71. – P. 487–493.
17. Rajurkar, K.P. Thermal modeling and on-line monitoring of wire-EDM / K.P. Rajurkar, W.M. Wang // J. Mater. Process. Technol. – 1993. – № 38. – Iss. 1–2. – P. 417–430.
18. Scott, D. Analysis and optimization of parameter combination in wire electrical discharge machining / D. Scott, S. Boyina, K.P. Rajurkar // Int. J. Prod. Res. – 1991. – № 29. – Iss. 11. – P. 2189–2207.
19. Spedding, T.A. Parametric optimization and surface characterization of wire electrical discharge machining process / T.A. Spedding, Z.Q. Wang // Precis. Eng. – 1997. – Vol. 20. – Iss. 1. – P. 5–15.
20. Tarng, Y.S. Determination of optimal cutting parameters in wire electrical discharge machining / Y.S. Tarng, S.C. Ma, L.K. Chung // Int. J. Mach. Tools Manuf. – 1995. – № 35. – Iss. 129. – P. 1693–1701.

Абляз Тимур Ризович. Кандидат технических наук, доцент, кафедры «Технологии, материалы и конструирование машин», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (г. Пермь), lowrider11-13-11@mail.ru.

Поступила в редакцию 2 апреля 2015 г.

ANALYSIS OF STRUCTURAL CHANGES IN THE PARTS SURFACE AFTER ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING

T.R. Ablyaz, lowrider11-13-11@mail.ru

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

In modern engineering EDM technology finds wide application. It was found that the processes accompanying electrical discharge machining, determined by physics of interaction of the material with concentrated energy flux initiated by spark discharge. Due to the fact that the surface layer of the workpiece material is subjected to intense thermal stresses on its surface to form secondary structures. Currently not fully explored the formation of secondary structures in materials with different physical and mechanical properties on the surface hardening by means of laser welding and hardening. Relevant is the question of conservation and hardened surface layers deposited their properties after processing them by wire-wire electric discharge cutting. It is proved that when machining hardened and weld surfaces is first necessary to ensure a minimum temperature heating parts. Excessive temperatures can reduce the received physical and mechanical properties of the hardened surface layer, which is not acceptable. The aim is to study the influence of modes PVEEO the occurrence of changes in the surface layer of machined parts. In this paper an experimental study of the processing of materials with different mechanical and physical properties. The features of the formation of the modified layer on the machined parts, depending on the cutting conditions. It is established that during the wire-wire electric discharge machining test specimens with increasing current on the treated surface is altered increasing the thickness of the surface layer, wherein the microhardness of the layer is not changed. It is shown that the formed layer does not affect the performance of the treated parts.

Keywords: electrical discharge machining, surface layer, microstructure, quality, electrode-tool.

References

1. Ablyaz T., Khanov A., Hurmatullin O. *Sovremennyye podkhody k tekhnologii elektroerozionnoy obrabotki materialov* [Modern Approaches to the Technology of Electrical Discharge Machining of Materials]. Perm, Perm National Research Polytechnic University Publ., 2012. 112 p.
2. Artamonov B., Volkov Y. *Analiz modeley protsessov elektrokhimicheskoy i elektroerozionnoy obrabotki. Ch. 2: Modeli protsessov elektroerozionnoy obrabotki. Provolochnaya vyrezka* [Analysis of Models of Processes of Electrochemical and Electrical Machining. Ch. 2: Models of Processes of EDM. Wire Cutting]. Moscow, 1991. 144 p.
3. Jurin A. *Metody rascheta tekhnologicheskikh parametrov i elektrodov-instrumentov pri elektroerozionnoy obrabotke* [Methods of Calculation of Technological Parameters and Tool Electrode in EDM Process. Diss. Kand. (Tech.)]. Tula, 2005. 132 p.
4. Kabaldin G., Sarilov M., Bilenko S. *Povyshenie ustoychivosti protsessa elektroerozionnoy obrabotki i kachestva obrabotannoy poverkhnosti na osnove podkhodov iskusstvennogo intellekta* [Improving the Sustainability of the Process of Electrical Discharge Machining and Quality of Treated Surface Based on Artificial Intelligence Approaches]. Komsomolsk-on-Amur, 2007. 191 p.
5. Losev V. *Mnogofaktornoe planirovanie eksperimenta* [Multi-Factorial Experiment Planning]. Perm, 1985. 28 p.
6. Serebrenitsky P. *Sovremennyye elektroerozionnyye tekhnologii i oborudovanie* [Electro-Technology and Modern Equipment]. St. Petersburg, Baltic State Technical University, 2007. 228 p.
7. Solomentsev Y., Mitrofanov V. *Adaptivnoye upravlenie tekhnologicheskimi protsessami* [Adaptive Control of Technological Processes]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980. 536 p.
8. Skhirtladze A., Yarushin S. *Tekhnologicheskyye protsessy v mashinostroenii* [Technological Processes in Mechanical Engineering]. Perm, Perm State Technical University, 2006. 496 p.

9. Syanov S. *Tekhnologicheskoe obespechenie kachestva poverkhnostnogo sloya detaley pri elektroerozionnoy obrabotke* [Technological Support of Surface Layer Quality of Parts at EDM Processing. Diss. Kand. (Tech.)]. Bryansk, 2002. 166 p.
10. Foteev N. [Quality Control of Technological Surface Tooling at Electro Erosion Processing]. *Electron material processing*, 1994, no. 2, pp. 5–7. (in Russ.)
11. Dauw D., Sthioul H., Delpretti R., Tricarico C. Wire Analysis and Control for Precision EDM Cutting. *Ann. CIRP*, 1989, no. 38, iss. 1, pp. 191–194. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)62682-1
12. Gibson I., Rosen D., Stucker B. *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototype into Direct Digital Manufacturing*. New York: Springer. 2010. Ch. 9. DOI: 10.1007/978-1-4419-1120-9_14
13. Justin D., Stucker B. Improving Implants Using Laser-Based Metal Deposition Technologies. *BONEZone*. Spring, 2006, pp. 22–25.
14. Kinoshita N., Fukui M., Kimura Y. Study on Wire-EDM: in Process Measurement of Mechanical Behavior of Electrode-Wire. *Ann. CIRP*. 1984, no. 33, iss. 1, pp. 89–92. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)61386-9
15. Kunieda M., Takeshita S., Okumiya K. Study on Wire Electrode Temperature in WEDM. *Proceedings of international Symposium for Electromachining – ISEM XII*, 1998, pp. 151–161.
16. Liao Y., Huang J., Su H. A Study on the Machining-Parameters Optimization of Wire Electrical Discharge Machining. *J. Mater. Process. Technol.*, 1997, vol. 71, pp. 487–493. DOI: 10.1016/S0924-0136(97)00117-9
17. Rajurkar K., Wang W. Thermal Modeling and On-Line Monitoring of Wire-EDM. *J. Mater. Process. Technol.*, 1993, vol. 1–2, iss. 38, pp. 417–430. DOI: 10.1016/0924-0136(93)90214-Q
18. Scott D., Boyina S., Rajurkar K. Analysis and Optimization of Parameter Combination in Wire Electrical Discharge Machining. *Int. J. Prod. Res.*, 1991, vol. 29, iss. 11, pp. 2189–2207. DOI: 10.1080/00207549108948078
19. Spedding T., Wang Z. Parametric Optimization and Surface Characterization of Wire Electrical Discharge Machining Process. *Precis. Eng.*, 1997, vol. 20, iss. 1, pp. 5–15. DOI: 10.1016/S0141-6359(97)00003-2
20. Tarng Y., Ma S., Chung L. Determination of Optimal Cutting Parameters in Wire Electrical Discharge Machining. *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 1995, vol. 35, iss. 129, pp. 1693–1701. DOI: 10.1016/0890-6955(95)00019-T

Received 2 April 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Абляз, Т.Р. Анализ структурных изменений в поверхностном слое деталей после электроэрозионной обработки / Т.Р. Абляз // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2015. – Т. 15, № 4. – С. 62–69. DOI: 10.14529/engin150407

FOR CITATION

Ablyaz T.R. Analysis of Structural Changes in the Parts Surface after Electrical Discharge Machining. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2015, vol. 15, no. 4, pp. 62–69. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin150407
