

УДК 621.923.74-408

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ПРОШИВКИ СТАЛИ 40X НА МИКРОСТРУКТУРУ И ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРОВ ОТВЕРСТИЙ

Оглезнев Н.Д., Абляз Т.Р.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, lowrider11-13-11@mail.ru

Исследовано влияние энергии импульсов электроэрозионной обработки при прошивке отверстий в стали 40X на микроструктуру стали в зоне обработки, размеры, форму и шероховатость поверхности отверстия в процессе электроэрозионной обработки стали. Методами металлографии и микродюрометрии идентифицированы зоны в дефектном слое. Установлено, что глубина дефектного слоя при чистовых и прецизионных режимах составляет не более 1 мм, но при увеличении энергии импульса возрастает микротвердость в зонах белого слоя и упрочнения, а также возрастает ширина зоны отпуска при электроэрозионной прошивке стали 40X. Выявлено, что при минимальных значениях энергии импульса обеспечивается максимальная точность и минимальные значения параметров шероховатости. Причиной снижения точности обработки являются боковые разряды от продуктов эрозии, которые не успевают удаляться из зоны обработки. Найдены оптимальные режимы электроэрозионной обработки и даны практические рекомендации, учитывающие величины силы тока, напряжения, времени импульса, а также расхода жидкости.

Ключевые слова: копировально-прошивная электроэрозионная обработка, микроструктура, дефектный слой, электрод-инструмент, отклонение от размера, шероховатость.

EFFECT OF CONDITIONS ELECTRICAL DISCHARGE TUFTING OF STEEL 40X TO MICROSTRUCTURE AND DIMENSIONAL ACCURACY OF HOLES

Ogleznev N.D., Ablyaz T.R.

Perm national research polytechnic university, Russia, Perm, 614990, Komsomolsky Av. 29, lowrider11-13-11@mail.ru

The influence of energy pulses for electrical discharge machining of steel 40X on microstructure steel in the treatment zone, the size, shape and surface roughness of the holes in the electrical discharge machining. It has been identified zones in the defective layer by the metallographic methods and microhardness measurement. It has been found that the depth of the defect layer with finishing and precision modes is less than 1 mm, but with increasing pulse energy are increases the micro-hardness in the white layer and in the area of hardening and the width of area heat treatment of steel 40X. It was revealed that the minimum values of the energy pulses ensures maximum accuracy and minimum values of the roughness parameters. The reason for reducing the machining accuracy is on the side of the level of erosion products, which do not have time to be removed from the treatment area. The optimal regimes of electrical discharge machining and practical recommendations that take into account the magnitude of current, voltage, pulse time, and flow rate.

Keywords: key-tufting spark machining, microstructure, defect layer, the electrode tool, the deviation of size, roughness.

Введение

Выполнение отверстий методом электроэрозионной обработки (ЭЭО) является незаменимым при обработке современных машиностроительных материалов с повышенными физико-механическими свойствами, особенно при получении глубоких отверстий, так как данный вид является бесконтактным и в отличие от лезвийных методов обработки способствует получению более качественных деталей с низкой шероховатостью и точностью размеров.

Основными требованиями, определяющими выбор режима ЭЭО, являются максимальная производительность процесса при условии обеспечения заданной точности и шероховатости обработанной поверхности, а также сохранение микроструктуры и свойств обрабатываемого материала в зоне обработки.

Производительность ЭЭО возрастает с увеличением энергии единичного импульса, зависящая от среднего тока и длительности импульса, но снижается точность обработки и возрастает износ электрода-инструмента [1]. Данная взаимосвязь обусловлена тем, что при кратковременных импульсах длительностью 10^{-4} – 10^{-8} с эрозии подвергается небольшой участок детали. При более длительных электрических импульсах (10^{-8} с и выше) обрабатываемый материал нагревается далеко за пределами участка поверхности детали, на которую воздействует теплота канала сквозной проводимости. В связи с этим становится невозможным получение точных размеров.

При назначении режимов ЭЭО для современных станков используются таблицы стандартизованных режимов обработки, названных «Е» коды. Данный код включает в себя комплексный набор параметров, подобранных под конкретный тип электродов для обеспечения заданной шероховатости обработанной поверхности. Таким образом, выбор «Е» кода при программировании процесса ЭЭО обусловлен требованиями по шероховатости получаемой поверхности, однако «Е» код не позволяет оценить влияние заложенных в них режимов на точность получения заданного размера. Кроме того, зависимости большинства технологических характеристик ЭЭО от длительности импульсов тока имеет экстремумы, причем, положение экстремума определяется не только характеристиками процесса, но и свойствами материалов электрода и детали.

Таким образом, в настоящее время не существует однозначных методик по оценке влияния режимов ЭЭО на точность обработки, в связи с чем исследуемая в данной работе проблема актуальна.

Целью работы является исследование влияния параметров ЭЭО, заложенных в «Е» код на микроструктуру стали в зоне обработки, размеры и форму отверстия, а также на шероховатость поверхности отверстия в процессе электроэрозионной обработки.

В качестве экспериментального образца выбрана сталь 40Х по ГОСТ 4543-71.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на прошивном электроэрозионном станке Electronica Smart CNC. Рабочая жидкость – масло EDM Oil – IPOL SEO 450.

Режимы обработки приведены в табл.1. Режимы с E code 54 и 64 в данной работе относятся к прецизионным, остальные – к чистовым.

Таблица 1. Режимы электроэрозионной обработки

№	E code	T_{on} , мкс	T_{off} , мкс	I , А	V , В
1	54	50	32	3	50
2	64	50	32	6	50
3	74	150	32	10	50
4	84	300	32	15	50
5	94	300	32	20	50
6	104	400	32	25	50
7	114	500	32	30	50
8	124	500	32	35	50
9	134	500	32	40	50
10	144	1000	32	45	50
11	174	1500	32	70	50

Электрод-инструмент выполнен из меди марки М1 по ГОСТ 859-2001. Диаметр рабочей части равен 8 мм. В процессе работы в заготовке прошивались отверстия на глубину 20 мм.

В качестве контролируемых параметров выбраны диаметры электрода-инструмента и обработанного отверстия.

Энергию импульса $W_{и}$ рассчитывали как [1-4]:

$$W_{и} = IUt_{on}, (1)$$

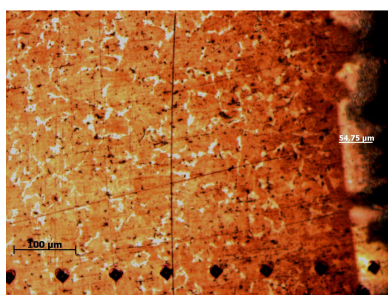
где I – сила тока, А, U – напряжение, В, t_{on} – длительность импульса, с.

Величины параметров I , U , t_{on} подбирались таким образом, чтобы обеспечить варьирование $W_{и}$ от максимального до минимального значений.

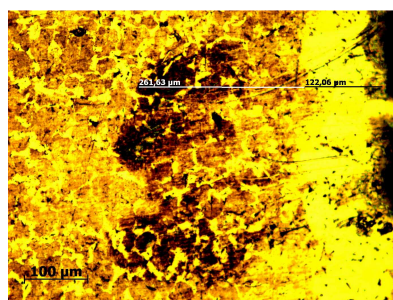
Микроструктуру стали в зоне обработки исследовали на шлифах, травленных в нитале. Микротвердость измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузке 50 г.

Результаты исследования и их обсуждение

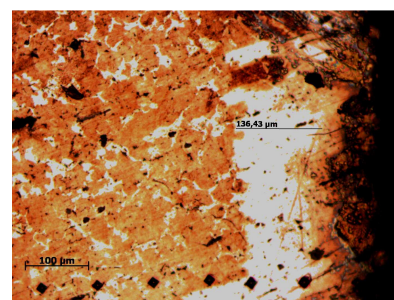
При исследовании структуры стали в зоне обработки после травления визуально выделяются 3 зоны, соответствующие классификации в [5, 6], рис. 1, – оплавления; белый слой; зона с типичной для стали 40Х феррито-перлитной структурой с микротвердостью 2800 МПа. Измерения ширины белого слоя показали, что с увеличением энергии импульса ширина белого слоя увеличивается: для режимов 1, 5, 10 она составляет 54, 122, 136 мкм, соответственно, рис. 1. Самый тонкий дефектный слой сформировался в стали после прецизионного режима 1.



а



б



в

Рисунок 1. Микроструктура стали 40Х в зоне ЭЭО, травлено
а – после режима 1, б – после режима 5, в – после режима 10

МикродюрOMETрические исследования зоны обработки показали, что у всех образцов на расстоянии примерно 60 мкм от края микротвердость повышена, при удалении от края сначала понижается, затем возрастает и на расстоянии более 1 мм соответствует микротвердости стали 40Х, рис. 2. Таким образом, анализ изменения микротвердости позволил выделить следующие зоны: белый слой с повышенной микротвердостью, обусловленной расплавлением и закалкой; зона отпущенного перлита с пониженной микротвердостью и зона упрочненного при пластической деформации перлита с повышенной микротвердостью. Особенностью структуры в зоне отпуска для всех образцов является немонокотное изменение микротвердости по этой зоне с характерным максимумом, возможно, такое «слоистое» строение зоны отпуска обусловлено дискретным воздействием импульса тока и эволюцией микроструктуры во времени. При исследовании влияния энергии импульсов тока на микроструктуру стали 40Х прослеживается закономерность увеличения микротвердости в зонах белого слоя и упрочнения при увеличении энергии импульса, а также увеличение ширины зоны отпуска, рис. 2. Данные факты обусловлены, очевидно, более высокой температурой в зоне обработки при высоких значениях энергии импульсов.

При увеличении энергии импульса до 0,1 Дж диаметры электрода и отверстия практически не изменяются, рис. 3. При последующем возрастании энергии импульса происходит резкое изменение диаметра отверстия. Данное явление объясняется тем, что с увеличением мощности импульса происходит изменение межэлектродного зазора между боковыми поверхностями электрода-инструмента и отверстия. В канал пробоя попадают продукты эрозии, что приводит к возникновению боковых разрядов, провоцирующих неконтролируемый дополнительный съем материала [2]. Увеличение диаметра электрода объясняется осаждением на его поверхности частиц уже обработанного металла, которые не успевают эвакуироваться из зоны обработки. Соответственно увеличение диаметра электрода-инструмента ведет к увеличению диаметра обработанного отверстия.

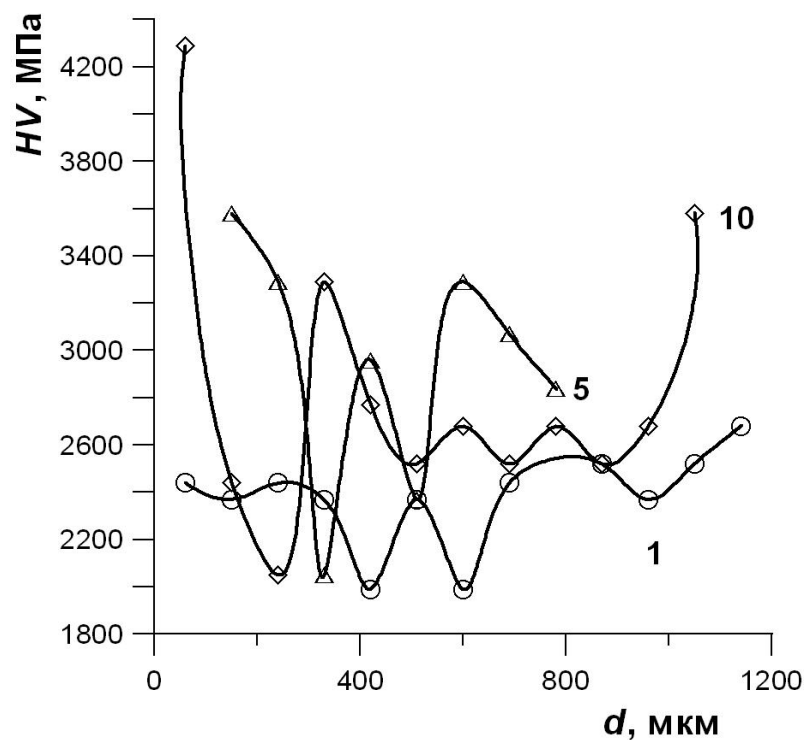


Рисунок 2. Микротвердость стали 40Х при удалении от края отверстия, выполненного методом ЭЭО

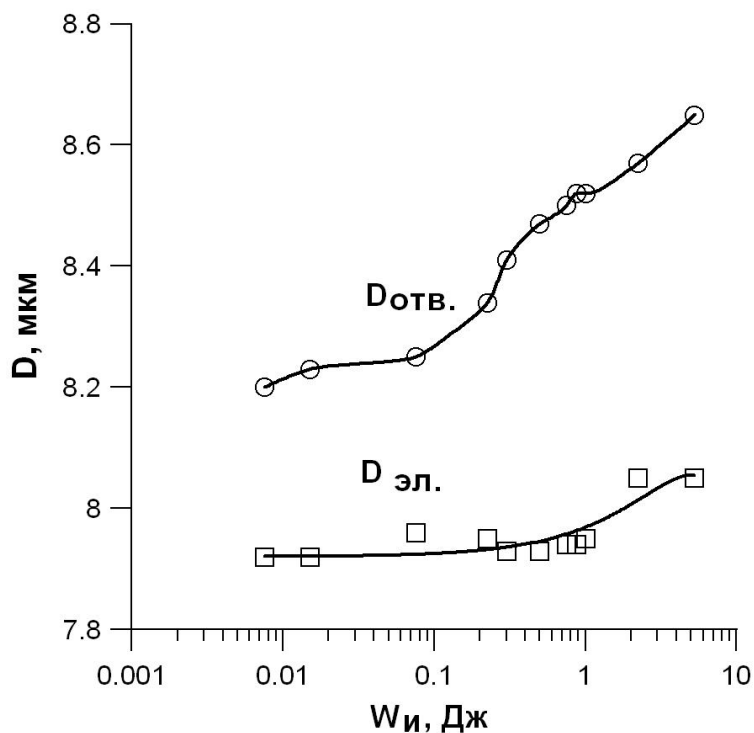


Рисунок 3. Зависимость диаметра отверстия и диаметра электрода от энергии импульса

Из рис. 4 следует, что при больших значениях энергии импульса возрастает отклонение размера от заданного, причиной которого является увеличение параметров шероховатости R_a и R_z , рис. 5. Минимальная погрешность обработки обеспечивается при использовании «Е» кодов 54 и 64.

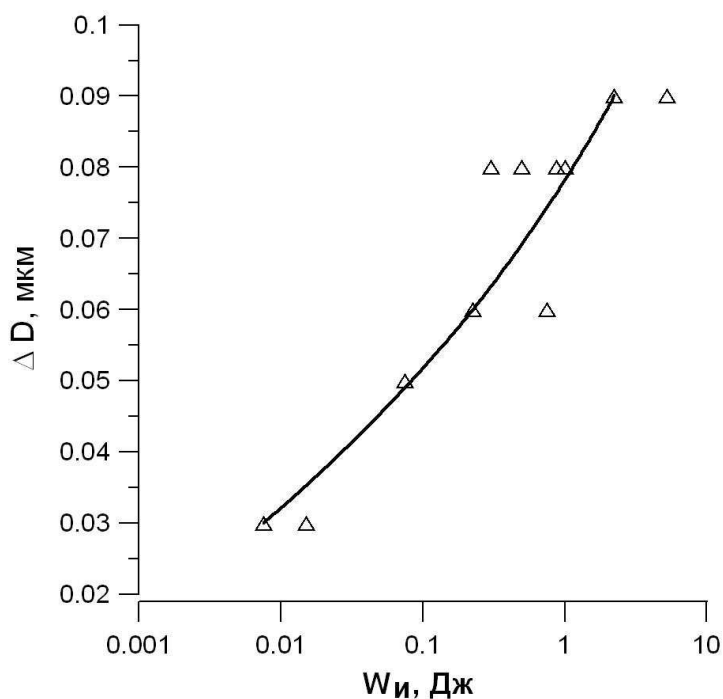


Рисунок 4. Зависимость отклонения от диаметра отверстия от энергии импульса

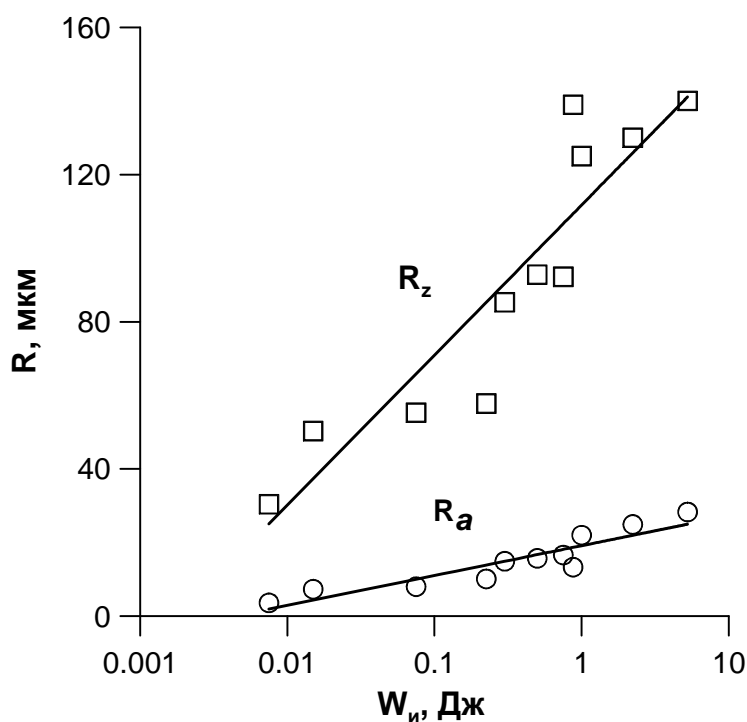


Рисунок 5. Зависимость параметров шероховатости R_a и R_z от энергии импульса

Выводы

Установлено, что электроэрозионной прошивке стали 40X глубина дефектного слоя при чистовых и прецизионных режимах составляет не более 1 мм. При увеличении энергии импульса возрастает микротвердость в зонах белого слоя и упрочнения, а также возрастает ширина зоны отпуска.

Выявлено, что на точность обработки существенным образом влияют значения энергии импульса. При минимальных значениях $W_{и}$ обеспечивается максимальная точность и минимальные значения параметров шероховатости R_a и R_z , которые возможно уменьшить, исключив налипание частиц расплавленного металла на электрод-инструмент, путем увеличения периода действия импульсов (T) и увеличения частоты выхода электрода инструмента из зоны обработки.

Список литературы

1. Абляз Т.Р. Изучение изменения свойств электродов в зависимости от режимов проволочно-вырезной электроэрозионной обработки // Вестник ПГТУ. Машиностроение, материаловедение. – 2011. – № 13(1). – С. 87 – 93.
2. Артамонов Б.А., Волков Ю.С., Анализ моделей процессов электрохимической и электроэрозионной обработки. Ч. II. – М.: ВНИПИ, 1991. – 144 с.
3. Елисеев Ю.С. Электроэрозионная обработка изделий авиационно-космической техники / Ю.С. Елисеев, Б.П. Саушкин; под ред. Б.П. Саушкина. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2010. – 437 с.
4. Журин А.В. Методы расчета технологических параметров и электродов-инструментов при электроэрозионной обработке: дисс. ... канд. техн. наук: 05.03.01. – Тула: ТГУ, 2005. – 132 с.
5. Серебrenицкий П.П. Современные электроэрозионные технологии и оборудование: учебное пособие П.П. Серебrenицкий; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2007. – 228 с.
6. Фотеев Н.К. Технология электроэрозионной обработки. – М.: Машиностроение, 1980. – 184 с.

Рецензенты:

Ханов А.М., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Материалы, технологии и конструирование машин» ФГБОУ ВПО Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь.

Порозова С.Е., д.т.н., профессор кафедры «Материалы, технологии и конструирование машин» ФГБОУ ВПО Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь.