

ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ПРОВОЛОЧНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛА

А.М. Карлявин, инженер управления закупок и снабжения
Московский государственный технический университет им Н.Э. Баумана
(Россия, г. Москва)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-1-2-70-75

Аннотация. В ходе исследования мы вырежем партию образцов методом ЭЭО, проанализируем результаты обработки, измерим размеры, шероховатость, сделаем анализ остаточных напряжений и металлографии. Получим, что после ЭЭО наблюдаются не критические отклонения от заданных размеров, увеличение числа проходов снижает шероховатость и уменьшает толщину измененного (оплавленного) слоя. Растягивающие остаточные напряжения с максимальной величиной непосредственно на поверхности ≈ 600 МПа, глубина залегания ≈ 10 мкм. Далее по глубине остаточные напряжения имеют нулевые значения. Для дальнейшего внедрения в опытное производство разработанной технологии получим, что образование на поверхности образцов оплавленного слоя требует разработки технологии удаления.

Ключевые слова: электроэрозионная проволочная резка, анализ остаточных напряжений, измерение отклонений размеров, исследование шероховатости, анализ металлографии.

Применение электрофизических методов обработки вызвано возрастающим использованием во многих отраслях машиностроения жаропрочных, нержавеющих и других труднообрабатываемых сталей, и сплавов. Обработка подобных материалов резанием ввиду особенностей химического состава, структуры, механических и теплофизических свойств, порой малоэффективна, а в ряде случаев невозможна. Именно поэтому требуется отработать технологию и разработать новые способы обработки материалов.

Цель работы – исследовать качество обработки методом электроэрозионной проволочной резки металла.

Задачи:

1. Отработать режимы электроэрозионной обработки на плоских образцах из сплава Сталь 15 ГОСТ 1050-88.

2. Измерить отклонения размеров образца при ЭЭО.

3. Проанализировать остаточные напряжения в образцах после обработки.

4. Исследовать образец на шероховатость и провести металлографические исследования.

Для проведения исследований на обрабатываемость ЭЭО сплава Сталь 15 ГОСТ 1050-88 была вырезана партия плоских образцов электроэрозионным методом в количестве 100 шт. В таблице 1 представлен химический состав сплава Сталь 15 ГОСТ 1050-88.

Таблица 1. Химический состав сплава Сталь 15 ГОСТ 1050-88

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0.12 - 0.19	0.17 - 0.37	0.35 - 0.65	до 0.25	до 0.04	до 0.035	до 0.25	до 0.25

1. Отработка режимов электроэрозионной обработки на плоских образцах из сплава Сталь 15

В работе применялся электроэрозионный проволочно-вырезной станок Agie Charmilles CUT300SP.

Режимы обработки назначаются исходя из требуемой точности и качества поверхности.

Плоские образцы были изготовлены из материала Сталь 15.

Фотография типового плоского образца представлена на рисунке 1.

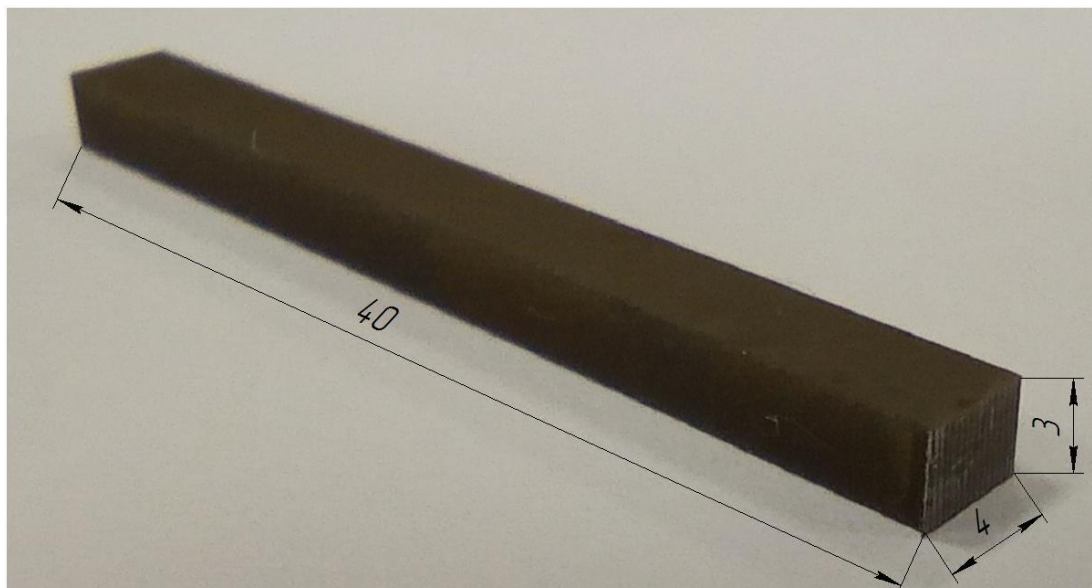


Рис. 1. Типовой плоский образец

Электроэрозионный станок оснащен ЧПУ имеет функции расчета режимов электроэрозионной обработки. В зависимости от заданной входной информации (марки обрабатываемого материала, шероховатости поверхности, вида проходов в операции – черновой или чистовой и др.) в автоматическом режиме рассчитываются необходимые технологические параметры: напряжение, ток, энергия импульса, длительность импульса и др. Корректируется

траектория перемещения оси проволоки при переходе с одного прохода на другой, определяется припуск по переходам, величина подачи по траектории перемещения электрода-проволоки. Регулируется натяжение электрода-проволоки (в пределах 1,0-2,0 кг) и специальные параметры для реализации и поддержания процесса обработки.

На рисунке 2 представлена схема обработки типового образца.

Операция 005. Электроэрозионная с ЧПУ
Оборудование: Электроэрозионный станок Agie Charmilles CUT300SF
Установ А

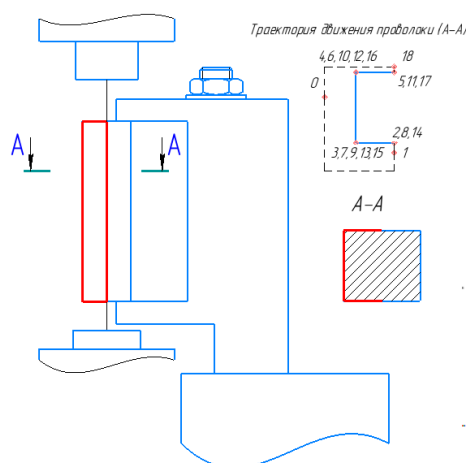


Рис. 2. Схема обработки типового образца.

Основываясь на опыте ЭЭО и проведенных исследованиях на материалах со схожими механическими свойствами вы-

явлено, что увеличение числа проходов снижает шероховатость и уменьшает толщину измененного (оплавленного) слоя.

Число проходов определяется экспериментальным путем. Критерием оценки является толщина измененного слоя.

2. Измерение отклонений размеров образца при обработке ЭЭО

Представлен образец, вырезанный методом ЭЭО (5 проходов) на установке «Agie Charmilles» типа CUT300 Sp. Обра-

зец обрабатывался без корректировки УП, согласно заданной траектории.

Плоский образец измерялся гладким микрометрическим нутрометром с ценой деления 0,01 при температуре $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности 80%.

Результаты измерений представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты измерений образца

№	Ном. размер	Допуск	Действ. размер	Фактическое отклонение
1	40	0.04	40.03	+0.03
2	4	0.04	4.02	+0.02
3	3	0.04	2.98	-0.02

Вывод:

После ЭЭО наблюдаются не критические отклонения от заданных размеров.

3. Анализ остаточных напряжений в плоских образцах Сталь 15 после обработки режимов ЭЭО

Представлены 10 образцов размерами: длина – 40 мм; ширина – 4 мм; высота – 3 мм. Плоскости образцов были обработаны методом ЭЭО (5 проходов) на установке «AgieCharmilles» типа CUT300Sp.

Определение поверхностных остаточных напряжений произведено механическим методом, где применяется унифицированный электролит для травления различных сталей и сплавов в управляемом режиме травления. Измерение напряжений происходит на автоматизированном ком-

плексе контроля поверхностных остаточных напряжений, схема установки представлена на рисунке 3.

Конструкция установки на рисунке 3 включает в себя массивную стойку 1 с установленной на ней электролитической ванной 2 и подвижным приспособлением 3. Исследуемый образец с прямоугольным сечением 6 одним концом консольно закрепляется в приспособление 3. Второй конец образца приводится в соприкосновение с твердосплавным наконечником штока, посредством которого деформация образца во время травления передается на датчик 5 измерителя микроперемещений 7. Питание электролитической ванны осуществляется источником постоянного тока 8.

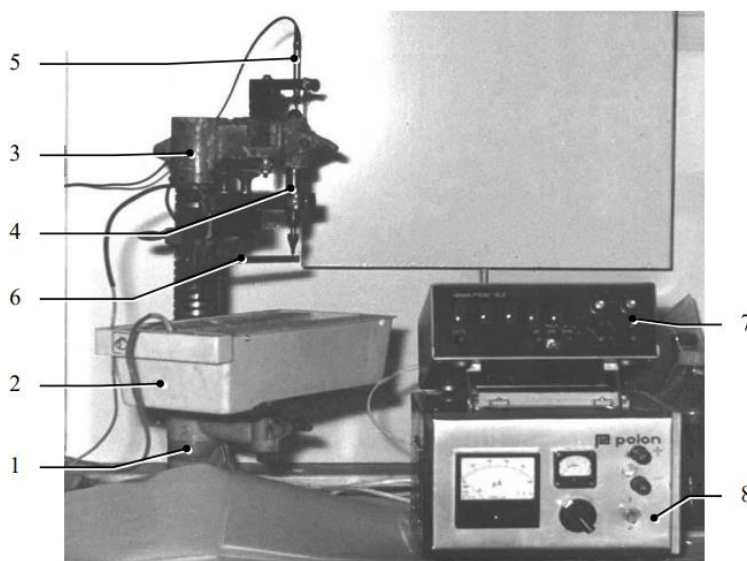


Рис. 3. Автоматизированный комплекс контроля поверхностных остаточных напряжений

Результаты исследований.

На рисунке 4 представлены эпюры поверхностных остаточных напряжений, рассчитанных для сплава Сталь 15 по параметрам: $E=200000\text{МПа}$ (модуль упругости); $\rho=8,3\text{г/см}^2$ (удельный вес); $\alpha=0,244\text{мг.А/с}$ (электрохимический эквивалент), режим травления с постоянным

током $92,3\text{мА}$ и плотностью тока $1,53\frac{\text{мА}}{\text{мм}^2}$ (напряжение $2,3\text{В}$), без учета прогиба после вырезки. При определении остаточных напряжений травление производили до глубины $\approx 100\text{мкм}$. Проведено по одному измерению на каждой плоскости образцов и выведена средняя эпюра по 4-м измерениям.

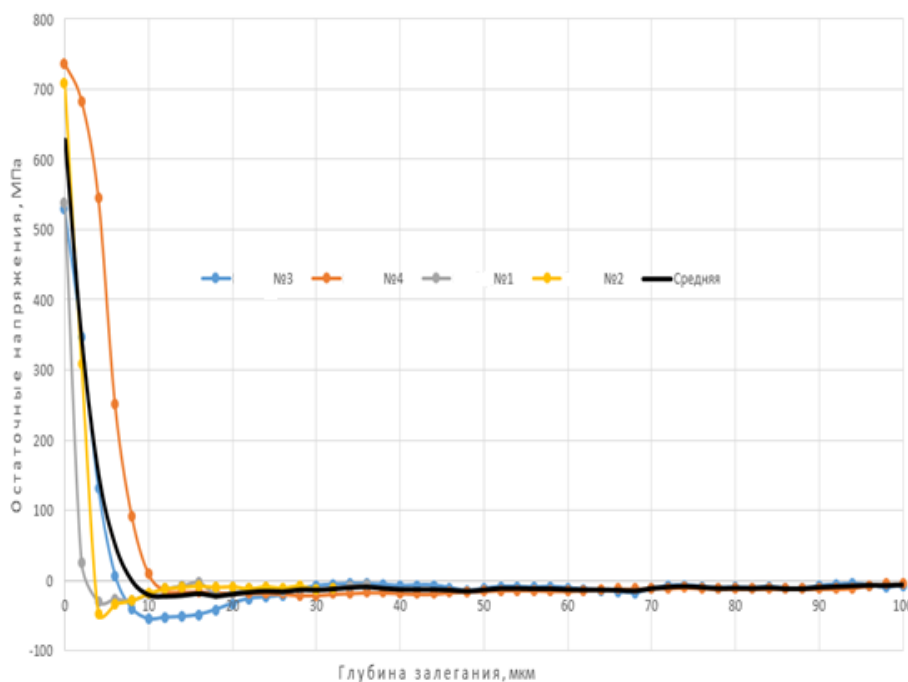


Рис. 4. Эпюры остаточных напряжений в образцах из сплава Сталь 15 после отработки режимов ЭЭО

Вывод:

В поверхностном слое образцов после ЭЭО (5 проходов) определены растягивающие остаточные напряжения с максимальной величиной непосредственно на поверхности $\approx 600\text{МПа}$ и залегающие на глубину $\approx 10\text{мкм}$. Далее по глубине остаточные напряжения имеют нулевые значения.

4. Исследование шероховатости на плоских образцах из материала Сталь

15 после электроэрозионной обработки с помощью профилографа-профилометра

Исследование шероховатости проводилось на плоских образцах из сплава Сталь 15 после пятипроходной электроэрозионной обработки на профилограф-профилометре фирмы Mitutoyo SJ-301.

Образец и его размеры показаны на рисунке 5.

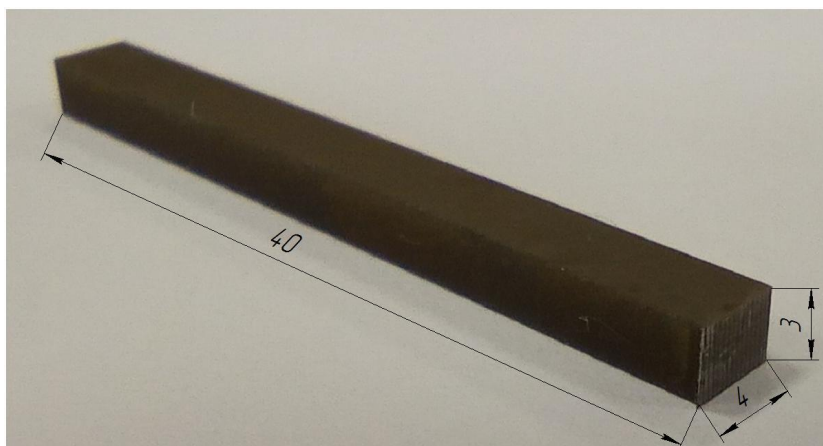
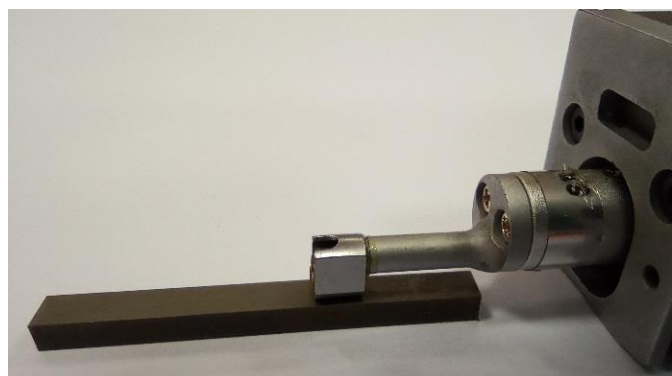
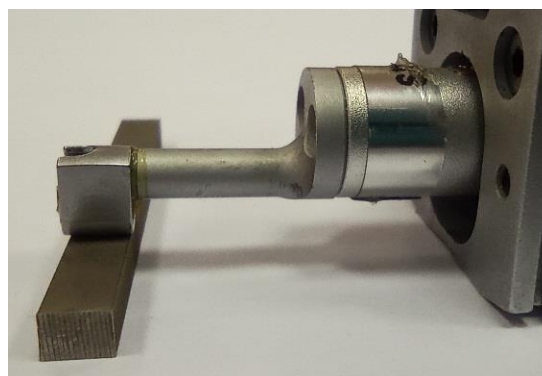


Рис. 5. Изображение плоского образца из Сталь 15

Измерение шероховатости образцов после пятипроходной электроэрозионной обработки производилось на профилографе в двух взаимноперпендикулярных направлениях: продольном и поперечном (рисунок 6).



а)



б)

Рисунок 6. Измерение шероховатости образца,
а) в продольном направлении, б) в поперечном направлении

Анализ полученных значений шероховатости позволяет сделать заключение, что за 5 переходов ЭЭО обеспечивает шероховатость $Ra0.5-0.6\text{мкм}$.

5. Металлографические исследования поверхности плоского образца из сплава Сталь 15 после ЭЭО

Для замера микротвердости на поверхности, определения величины оплавленного слоя после ЭЭО был изготовлен образец с 5-проходной обработкой.

При исследовании поверхности образца использовался микроскоп Olympus VX 53M.

При внешнем осмотре и исследовании поверхности образца на электронном микроскопе отмечается, следующее:

- на поверхности образца в местах применения ЭЭО образовался оплавленный

слой, поверхность имеет шероховатый рельеф с признаками оплавления в виде округлых капель;

- на всей поверхности оплавленного слоя образца дефектов типа трещина – отсутствуют.

Исследованием микрошлифа, установлено, что на наружной поверхности образца имеется равномерный оплавленный слой глубиной 1-2,4 мкм, зоны термического влияния не наблюдается.

В связи с небольшой глубиной оплавленного слоя провести замеры микротвердости на поверхности и по шлифу не представляется возможным

Заключение

Развитие перспективных технологий является ключевым аспектом в развитии инновационной деятельности в машино-

строении. Применение электроэрозионной обработки является одним из таких направлений.

В процессе работы:

Выполнен комплекс технологических и исследовательских работ.

Подобраны режимы электроэрозионной обработки для сплава Сталь 15, обеспечивающие глубину оплавленного (измененного) слоя не более 3 мкм.

Исследования поверхностного слоя сплава Сталь 15 после 5-ти проходной

электроэрозионной обработки показывают, что в поверхности на глубине до 10 мкм образуются неблагоприятные растягивающие напряжения.

Отработана технология контроля качества деталей, включающая:

- контроль геометрической точности вырезки;

- контроль шероховатости;

- контроль поверхностных остаточных напряжений.

Библиографический список

1. Способы обработки материалов”, Корягин С.И., Пименов И.В., Худяков В.К, Калинингр. ун-т – Калининград, 2000. – 448 с.

2. Мифтахов, К.Р. Электроэрозионная обработка: состояние и перспективы развития / К.Р. Мифтахов, А.А. Валиев // Интеллектуальный потенциал XXI века : сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Уфа, 03 февраля 2019 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований", 2019. – С. 160-163. – EDN YVGBQT.

3. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов // Артамонов Б.А., Волков Ю.С., Дрожалова В.И., Седыкин Ф.В., Том 1. – М.: Высшая школа, 1983.

4. Физико-химические методы обработки в производстве газотурбинных двигателей: Учебное пособие // Елисеев Ю.С., Крымов В.В., Митрофанов А.А., Саушкин Б.П. – М., 2002.

RESEARCH OF THE QUALITY OF PROCESSING METAL BY THE METHOD OF ELECTRIC WIRE CUTTING

A.M. Karlyavin, Procurement and Supply Engineer
Moscow State Technical University named after N.E. Bauman
(Russia, Moscow)

Abstract. *During the study, we will cut out a batch of samples using the EDM method, analyze the processing results, measure the dimensions, roughness, and analyze the residual stresses and metallography. We find that after EEA non-critical deviations from the specified dimensions are observed, an increase in the number of passes reduces the roughness and reduces the thickness of the modified (melted) layer. Tensile residual stresses with a maximum value directly on the surface ≈ 600 MPa, depth ≈ 10 μ m. Further along the depth, the residual stresses have zero values. For further implementation of the developed technology into pilot production, we find that the formation of a melted layer on the surface of the samples requires the development of a removal technology.*

Keywords: *EDM wire cutting, residual stress analysis, measurement of dimensional deviations, roughness study, metallography analysis.*