

## ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 65Г ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Панов Д.О., Абляз Т.Р., Абросимова А. А.

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

Данная работа посвящена выявлению особенностей структуры поверхностного слоя стали 65Г, образовавшегося в результате обработки при разных режимах резки на проволочно-вырезном станке. В работе исследовали сталь марки 65Г по ГОСТ14959-70. Предварительно сталь 65Г подвергали полной закалке с температуры 800 °С в масле и последующему среднему отпуску при температуре 450 °С в течение 3 часов. Электро-эрозионную обработку проводили на проволочно-вырезном станке фирмы Electronica, модель Ecocut, в среде рабочей жидкости – дистиллированной воде. В качестве электрода-инструмента использовали проволоку из латуни марки Л68. Изменения в поверхностном слое, образовавшихся в результате электроэрозионной обработки, изучали методом электронно-микроскопического анализа. Химический состав поверхностного слоя определяли на растровом микроскопе РЭМ-100У с приставкой ВДАР-1, распределение химических элементов в слое проводили на растровом электронном микроскопе Quanta 600 при увеличениях до х15000 и ускоряющем напряжении 30 кВ. По результатам анализа можно сделать вывод о том, что на поверхности стали 65Г сформирована зона преимущественно из материала электрод-инструмента, которая тонким слоем покрывает обработанную поверхность.

Ключевые слова: проволочно-вырезная электроэрозионная обработка, электрод инструмент, точность, погрешность, поверхностный слой.

## ELECTRON MICROSCOPIC ANALYSIS OF THE SURFACE OF STEEL 65G AFTER ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING

Panov D.O., Ablyaz T.R., Abrosimova A.A.

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

This work is devoted to revealing the structural features of the surface layer of steel 65G, formed as a result of processing at different modes of cutting a wire to wire and machine. In this paper we examined grade steel 65G on GOST14959-70. Pre 65G steel subjected to quenching from a temperature of complete 800 ° C oil and subsequent tempering at an average temperature of 450 ° C for 3 hours. Electro- erosion treatment was carried out on a wire – wire machine company Electronica model Ecocut, a working fluid-distilled water. The electrode – wire instrument, brass brand L68. Changes in the surface layer formed as a result of electrical discharge machining, was studied by electron microscopy analysis. The chemical composition of the surface layer was determined by scanning microscope SEM-100U with the prefix Vdarili-1, the distribution of chemical elements in the layer was performed on a scanning electron microscope Carl Zeiss EVO50 at magnifications up to h15000 and an accelerating voltage of 30 kV. By analyzing the results one can conclude that on the steel surface area 65G is formed mainly from the electrode- tool material which covers a thin layer of the treated surface.

Keywords: wire electrical discharge machining, the electrode tool, precision, accuracy, surface layer.

### Введение

Электроэрозионная обработка широко применяется во многих технологических процессах производства ответственных изделий. Его используют при обработке штампового, прессового и другого инструмента, а также литейных форм, деталей топливной аппаратуры, различных приборов и других изделий [1-3].

Следует отметить, что процессы, возникающие при электроэрозионной обработке, во многом зависят от физической природы взаимодействия материала с концентрированным потоком энергетического или импульсно-дугового разряда. Образующийся разряд

определяется следующими параметрами: приложенным к электродам напряжением, временем формирования импульса, рабочей жидкостью и величиной зазора между электродами.

Неотъемлемой составляющей процесса электроэрозионной обработки является формирование вторичных структур на поверхностях обрабатываемого изделия и электрода-инструмента, что вызвано интенсивным термическим воздействием и переносом вещества с электрода-инструмента на поверхностный слой материала заготовки во время обработки [2,4,5]. Установлено, что свойства поверхностного слоя существенно изменяются в результате электроэрозионной обработки. Однако в полной мере эти свойства не определены.

Установлено [1-3], что вследствие мощного теплового воздействия при выделении электрической энергии в процессе электроэрозионной обработки рабочая жидкость разлагается. Отдельные ее элементы проникают в поверхностный слой заготовки, диффундируют в него и образуют с обрабатываемым материалом химические соединения. Учеными замечено отложение углерода в виде сажи на поверхности заготовки, обрабатываемой электроэрозионным способом на ряде режимов. Кроме зоны насыщения элементами рабочей жидкости, выделяют зону, которая характеризуется присутствием материала электрод-инструмента. Появление данной зоны связано с переносом части энергии на заготовку факелами, состоящими из паров материала электрод-инструмента. Образование этой зоны возможно, как правило, при подключении электрод-инструмента к отрицательному полюсу источника питания (прямая полярность) в случае электроэрозионной обработки на малых межэлектродных зазорах или такого изменения условий ведения процесса, которое нарушает его стабильность. Материал электрод-инструмента может не только концентрироваться на поверхности заготовки, но и диффундировать в более глубокие слои, например, в слой расплавленного материала заготовки, и образовывать там различные фазы – твердые растворы, соединения и т. п. В теории электроэрозионной обработки показано, что при использовании электрод-инструментов из меди и вольфрамомедных композиций может быть образована зона из материала электрод-инструмента, которая тонким слоем будет покрывать обрабатываемую поверхность. Кроме того, медь может проникать в зону расплавленного материала заготовки, образуя отдельные включения.

Целью данной работы является выявление особенностей структуры поверхностного слоя стали 65Г, образовавшегося в результате обработки по разным режимам на проволочно-вырезном станке.

### **Материалы и методы исследования**

В работе исследовали сталь марки 65Г по ГОСТ14959-70, химический состав которой приведен в табл.1.

Табл.1. Химический состав стали 65Г, % (масс.)

Элемент	C	Mn	Si	Cr	P	S	Cu	Ni
Содержание, %	0,65	1,10	0,27	0,25	0,035	0,035	0,20	0,25

Предварительно сталь 65Г подвергали полной закалке с температуры 800 °С в масле и последующему среднему отпуску при температуре 450 °С в течение 3 часов. В результате получили структуру троостита отпуска.

Электро-эрозионную обработку проводили на проволочно-вырезном станке фирмы Electronica модель Ecoscut, в среде рабочей жидкости – дистиллированной воде. В качестве электрода-инструмента использовали проволоку из латуни марки Л68. Обработку проводили в соответствии с режимами, приведенными в табл. 2.

Табл. 2. Режимы обработки стали 65Г на проволочно-вырезном станке фирмы Electronica модель Ecoscut

Режим	max	med	min
Время действия импульса (ton), мкс	21	21	10
Время бездействия импульса (toff), мкс	51	60	21
Напряжение (U), В	50	50	50
Сила тока (I), А	2	1	0,5
Производительность (Q), мм/мин	4,1	3,1	1,5

Исследование химического состава поверхностного слоя определяли на растровом микроскопе РЭМ-100У с приставкой ВДАР-1. Исследование распределения химических элементов в слое проводили на поперечных микрошлифах с использованием растрового электронного микроскопа Quanta 600 при увеличениях до x15000 и ускоряющем напряжении 30 кВ. Карты распределения химических элементов в поверхностном слое строили для цинка, меди, железа, хрома, кислорода. Экспериментальные данные обрабатывали с использованием современных пакетов прикладных программ.

Микрошлифы изготавливали в несколько этапов: предварительно образцы заливали в бакелит, далее на абразивных шкурках Р240, Р320, Р600, Р1200, Р2000 последовательно сошлифовывали поверхностный слой до момента удаления следов от предыдущей шкурки со сменой направления шлифования на 90°. Полировку поверхности образца производили на полировочном круге с использованием сукна и алмазной пасты. После полирования образец

промывали водой, обезжиривали тампоном, смоченном в спирте, и сушили фильтровальной бумагой.

### Результаты исследования и их обсуждение

Исследование химического состава поверхности стали 65Г после электроэрозионной обработки показало (табл. 3), что происходит электро-искровое легирование поверхности материала медью и цинком. Это обусловлено переносом паров материала электрод-инструмента на заготовку факелами во время резания. В данных условиях эксперимента электрод-инструментом являлась проволока из сплава меди с цинком – латунь Л68. Следует отметить, что возможно размер зонда при электронно-микроскопических исследованиях превышает толщину слоя, а данные из таблицы 3 можно использовать только для качественной оценки химического состава поверхности.

Табл. 3. Зависимость химического состава поверхности стали 65Г от режима обработки

Хим.Элементы. Режим	Cu	Zn	Mn	Si
Исходный образец	0,2	-	1,1	0,27
Максимальный режим (U=30-50; I=6,5-6,0A; V=3,3-3,7мм/м)	21,5	8,8	0,4	0,3
Средний режим (U=50; I=2A; V=5,0-0,3мм/м)	8,3	2,1	0,7	0,3
Минимальный режим (U=50; I=0,5A; V=1,7-1,9мм/м)	1,6	1,5	0,6	0,3

Построение карты распределения химических элементов проводили на растровом электронном микроскопе CarlZeissEVO50. Показано, что на поверхности стали 65Г сформирована зона преимущественно из материала электрод-инструмента, которая тонким слоем покрывает обработанную поверхность (рис. 1). Следует отметить, что повышенная концентрация цинка и меди наблюдается преимущественно в рыхлых и пористых составляющих поверхности.

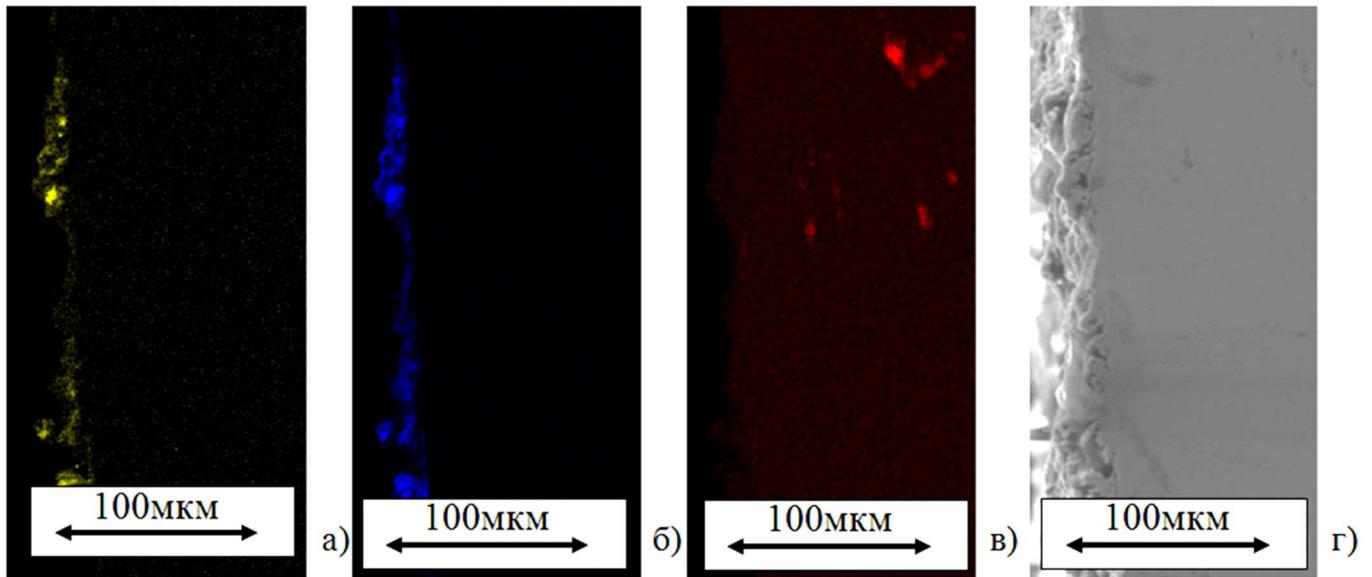


Рис.1. Распределение цинка (а), меди (б) и марганца (в) на поверхности образца (г) после электроэрозионной обработки на максимальном режиме

Исследование рельефа поверхности после электроэрозионной обработки показало, что поверхность приобретает специфическую шероховатость, которая сформирована из совокупности большого количества лунок (рис. 2). Обработка на максимальном и среднем режиме приводит к получению однородной поверхности без видимых трещин (рис. 2, а, б), а на минимальном режиме – на поверхности наблюдается выраженное растрескивание (рис. 2, в).

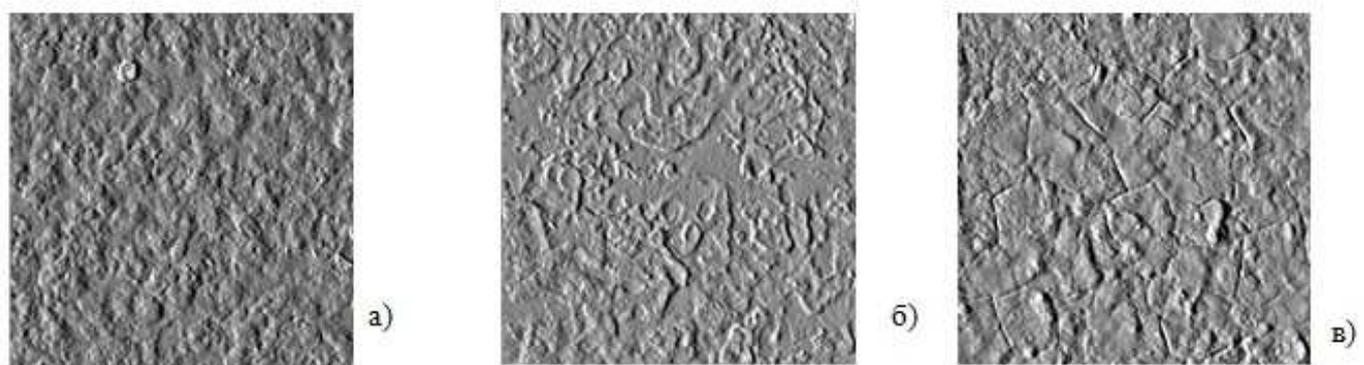


Рис. 2. Шероховатость центра поверхности образцов после электроэрозионной обработки на максимальном (а) среднем (б) и минимальном (в) режимах

Следует отметить, что шероховатость на поверхности ближе к краю реза имеет более сглаженный рельеф, количество и глубина пробоев ближе к краю уменьшается (рис. 3).

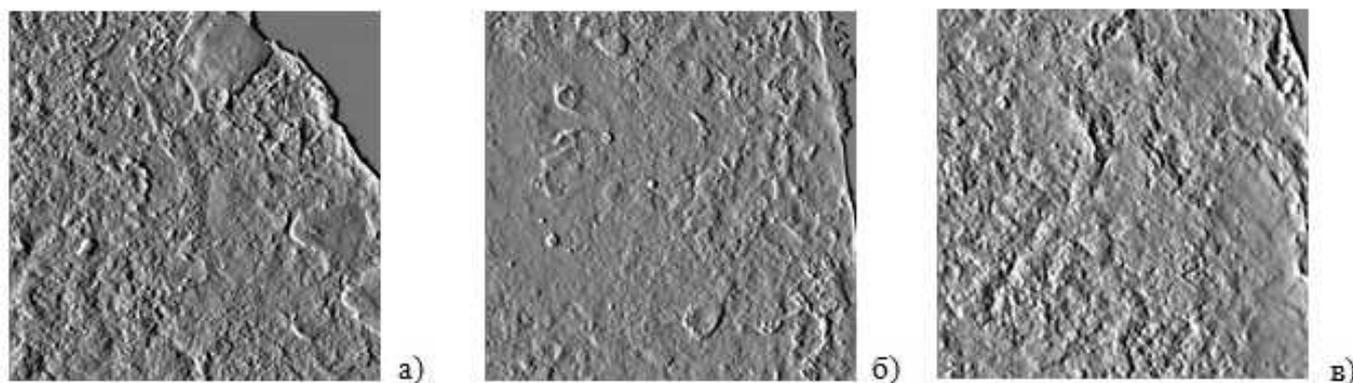


Рис. 3. Шероховатость края поверхности образцов после электроэрозионной обработки на максимальном (а), среднем (б) и минимальном (в) режимах

При обработке на всех исследованных режимах (рис.3, а, б, в) оплавленные участки краевой зоны реза имеют большую площадь, чем в центре поверхности. Трещины на краю поверхности реза после обработки на минимальный режим отсутствуют (рис.3, в).

### **Выводы**

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. На поверхности заготовки при увеличении тока резания наблюдается электроискровое легирование поверхности материала медью и цинком. Причем при увеличении силы тока резания на поверхности увеличивается процентное содержание меди и цинка.
2. Обнаружено качественное различие между микрорельефом центра и края поверхности реза: на краю реза наблюдается сглаженный, похожий на оплавленные участки, микрорельеф, а в центральной части реза микрорельеф сформирован большим количеством лунок.

### **Список литературы**

1. Абляз Т.Р. Изучение изменения свойств электродов в зависимости от режимов проволочно-вырезной электроэрозионной обработки // Вестник ПГТУ. Машиностроение, материаловедение. – 2011. – Т. 13, № 1. – С.87-93.
2. 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.
3. Лазаренко Б.Р. Электрические способы обработки металлов, и их применение в машиностроении./ Б.Р. Лазаренко. – М.: Машиностроение, 1978. – 40 с.
4. Съянов С.Ю. Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя деталей при электроэрозионной обработке : дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.08. – Брянск: БГТУ, 2002. – 166 с.

5. Фотеев Н.К. Технология электроэрозионной обработки / Н.К. Фотеев. – М.: Машиностроение, 1980. – 184 с.

**Рецензенты:**

Беленький А.Я., д.т.н., профессор, декан МТФ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь.

Иванов В.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой МСИ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь.