

## Вплив електроерозійної обробки на хімічний склад та структуру сталі 65Г

Приведені результати лабораторних досліджень впливу електроерозійної обробки на хімічний склад та структуру сталі 65Г. З'ясовано, що результаті електроерозійної обробки сталі 65Г утворюється поверхневий шар з дрібногольчастою мартенситною структурою. Також поверхневий шар насичується хромом, нікелем, кремнієм та марганцем. В результаті досліджень запропоновано раціональний режим електроерозійної обробки.

### **електроерозійна обробка, хімічний склад, структура, сталь 65Г**

Останнім часом все більшого розповсюдження набуває метод електроерозійної обробки металів. Електроерозійна обробка входить в сучасні технології як один з перспективних способів виготовлення і обробки деталей з важкооброблюваних матеріалів, що дозволить зменшити трудомісткість і вартість процесів виготовлення та обробки. Електроерозійна обробка полягає в зміні форми, розмірів, шорсткості і властивостей поверхні заготовок під дією електричних розрядів в результаті електричної ерозії [1]. В результаті електроерозійної обробки сплавів поверхневий шар суттєво змінює свої властивості [2]. Незважаючи на це в повному обсязі властивості даного шару не визначені.

Дослідженнями впливу електроерозійної обробки на властивості поверхневого шару після електроерозійної обробки займались: Б.Р. Лазаренко В.Є. Авраменко, В.П. Александров, Ю.А. Гелер, Б.М. Золотих, М.М. Писаревський, Н.К. Фотеев, М.О. Василенко та інші.

Дослідником [2] для зручності дослідження рекомендовано шар після електроерозійної обробки умовно розділити по товщині на наступні зони (рис 1):

- 1 – зона насичення елементами робочої рідини;
- 2 – зона відкладення матеріалу електрод-інструменту;
- 3 – білий шар утворений із розплавленого матеріалу заготовки;
- 4 – зона термічного впливу;
- 5 – зона пластичної деформації.

© К.В. Борак, 2011

Послідовність утворення зон, їх кількість, структура і властивості в значній мірі залежать від оброблюваного матеріалу, а також від режиму обробки, робочої рідини, матеріалу електрод-інструменту та умов протікання процесу. Між зонами як правило немає чіткої різниці, а в більшості випадків вони перекривають одна одну [2].

При використанні в якості робочої рідини мінерального мастила спостерігається відкладання сажи на поверхні заготовки, крім того вуглець дифузує в поверхневий шар, утворюючи карбіди [3, 4].

Перенос матеріалу електрод-інструменту на заготовку можливо, як правило, при підключенні електрод інструменту до негативного полюсу джерела живлення (пряма полярність) в випадку електроерозійної обробки на малих між електродних зазорах. Матеріал електрод інструменту може не тільки концентруватися на поверхні заготовки, але і дифузувати в більш глибокі шари [2].

Товщина білого шару як правило залежить від величини струму та температури охолоджуючої рідини, а також від теплопровідності матеріалу заготовки. Білий шар як

правило має дрібнозернисту структуру [2]. В білому шарі легко утворюються сплави компонентів матеріалу з матеріалом електрод-інструменту та елементами робочої рідини, а також карбіди і оксиди. Так дослідженнями [4] було відмічено зміну хімічного складу після електроерозійної обробки сплаву ЭИ437Б та сталі 12Х18Н9Т, незважаючи на це чіткої залежності зміни вмісту елементів в поверхневому шарі від режимних показників не спостерігалось.

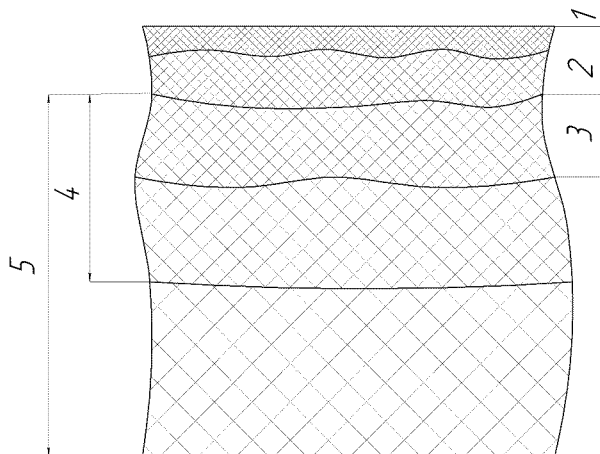


Рисунок 1 – Схематичне розташування зон поверхневого шару, після електроерозійної обробки

Після швидкого охолодження білий шар в окремих випадках має ледебуритну будову з утворенням первинних кристалів цементиту в ледебуритній основній масі. При обробці сталевих деталей в воді білий шар може мати мартенситну структуру [2].

Зона термічного впливу значно перевищує по розмірам білий шар. На структуру розплавленої зони здійснюють вплив матеріал заготовки, його початковий стан, властивості робочої рідини, а також режим обробки.

В залежності від умов протікання процесу електроерозійної обробки зона термічного впливу має загартовані ділянки з дрібнозернистою структурою, ділянки вторинного загартування, які при обробці на грубих режимах чергуються з ділянками відпуску [5, 6].

При електроерозійній обробці на м'яких режимах ( $W < 10^{-3}$  Дж) в воді послідовність розташування зон в межах термічного впливу буде наступним: мартенсит, тростито-сорбіт, відпущений метал, основний метал, при обробці в вуглецевмісних робочих рідинах: аустеніт, мартенсит тростито-сорбіт, відпущений метал, основний метал. При обробці на грубих режимах в вуглецевмісних робочих рідинах на поверхні утворюється ледебурит, після якого розташовуються вказані вище структури.

В процесі електроерозійної обробки поверхня металу зазнає значних ударних впливів, пов'язаних з переміщенням хвилі напруги від розширення і стиснення металу при нагріванні і охолодженні оброблюваної заготовки під дією електричного розряду; від тиску газу, утвореного в результаті випаровування робочої рідини; від тиску потоку факелів, рухаючи зі швидкістю, близькою до швидкості звука; від виникаючих в процесі обробки електростатичних і електромагнітних сил, а також від протікаючих в зоні термічного впливу структурних змін та інших факторів.

Зона пластичної деформації проявляється в вигляді подрібнення зерен, утворення великих дислокацій, а також змінення параметрів кристалічної ґратки. Так І.С. Стекольников виявив суттєву зміну зерна далеко за межами одиничної лунки, а М.М. Писаревський з'ясував, що величина параметрів ґратки аустеніту рівна  $3,64^\circ$  замість  $3,59^\circ$ , що відповідає марці сталі яку досліджували.

Метою досліджень є виявлення впливу режимних показників електроерозійної обробки на зміну хімічного складу та структуру сталі 65Г.

Визначення вмісту вуглецю в поверхні сталі після електроерозійної обробки визначали методом кулонометричного титрування [7], за допомогою експрес-аналізатора АН-7529.

Визначення вмісту сірки в поверхні сталі після електроерозійної обробки визначали методом кулонометричного титрування [8], за допомогою експрес-аналізатора АС-7932.

Визначення вмісту інших хімічних елементів виконували рентгенофлуоресцентним методом [9], за допомогою рентгенофлуоресцентного спектрометра VRA-20.

Мікроструктуру поверхні сталі після електроерозійної обробки досліджували за допомогою мікроскопу «Neophot-32».

Перед проведенням досліджень було визначено хімічний склад листової сталі 65Г. Результати представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад сталі 65Г до електроерозійної обробки

Матеріал	Масова доля елемента, % (Fe - )							
	C + 0,01 - 0,01	Si	Mn	Cr	S + 0,004 - 0,004	P	Cu	Ni
Сталь 65Г	0,62	0,25	1,13	0,045	0,029	0,025	0,180	0,010

Зразки сталі відповідають за хімічним складом ГОСТ-14959-79 [10].

Електроерозійну обробку виконували на установці 01.10.016А (рис. 1).

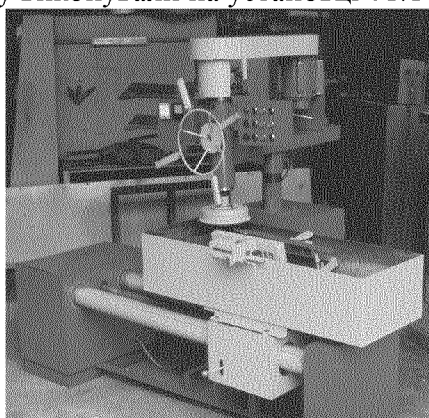


Рисунок 1 – Установка для електроерозійної обробки 01.10.016А

В процесі дослідження вивчали вплив сили струму на хімічний склад, всі інші фактори мали постійне значення. Результати дослідження представлені в табл. 2. та на рис. 2 і рис. 3.

Найбільше збільшення вмісту в сталі 65Г після електроерозійної обробки спостерігалось у марганцю Mn (з 1,13 % до 1,99% при 400А), та кремнію Si (з 0,25 до 1,99 при силі струму 400 А). При вмісті в сталях до 0,8 % марганець вважається технологічною добавкою та суттєвий вплив на властивості сталі не здійснює. В нашому випадку його вміст підвищився до 1,99 % в свою чергу це призведе до підвищення міцності, твердості, зносостійкості та зниження в'язкості. Підвищення вмісту кремнію (навіть незначне) в сталях призводить до підвищення твердості, міцності, пружності та одночасно призводить до зниження в'язкості.

Таблиця 2 – Хімічний склад поверхневого шару сталі 65Г після електроерозійної обробки

Номер зразка	Масова доля елемента, % (Fe - )							
	C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni

	$\pm 0,01$				$\pm 0,004$			
Зразок 1 (сила струму 200А)	0,62	1,05	1,45	0,072	0,027	0,17	0,04 4	0,022
Зразок 2 (сила струму 300 А)	0,59	0,93	1,17	0,069	0,026	<0,0 1	0,04 0	0,012
Зразок 3 (сила струму 400 А)	0,63	1,99	3,31	0,086	0,030	<0,0 1	0,04 5	0,023
Зразок 4 (сила струму 500 А)	0,65	1,34	1,81	0,065	0,038	0,02	0,04 7	0,017

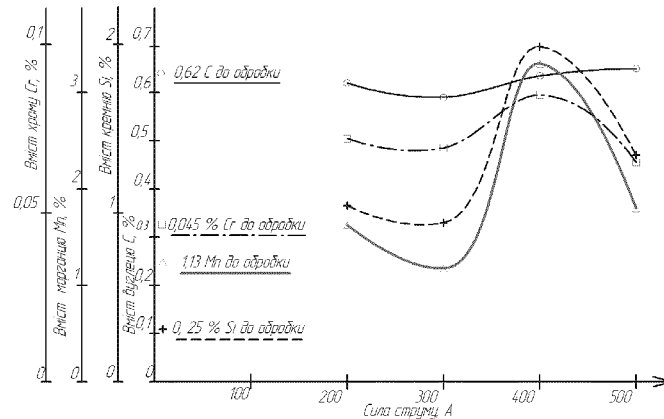


Рисунок 2 – Зміна вмісту Cr, Mn, Si, C в поверхневому шарі сталі 65Г після електроерозійної обробки

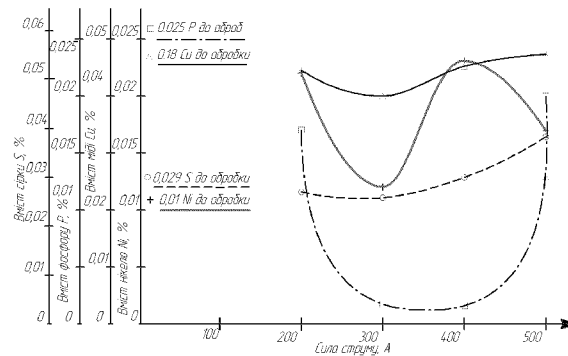


Рисунок 3 – Зміна вмісту Cu, Ni, S, P в поверхневому шарі сталі 65Г після електроерозійної обробки

До негативних наслідків електроерозійної обробки слід віднести підвищення вмісту сірки та дане насичення є не суттєвим і знаходиться в межах чинного стандарту для сталі 65Г (S до 0,035 %).

Найбільше зниження вмісту спостерігається для міді (з 0,18 % до 0,04 % при силі струму 300А), це пов'язано з тим що мідь є легкоплавким металом.

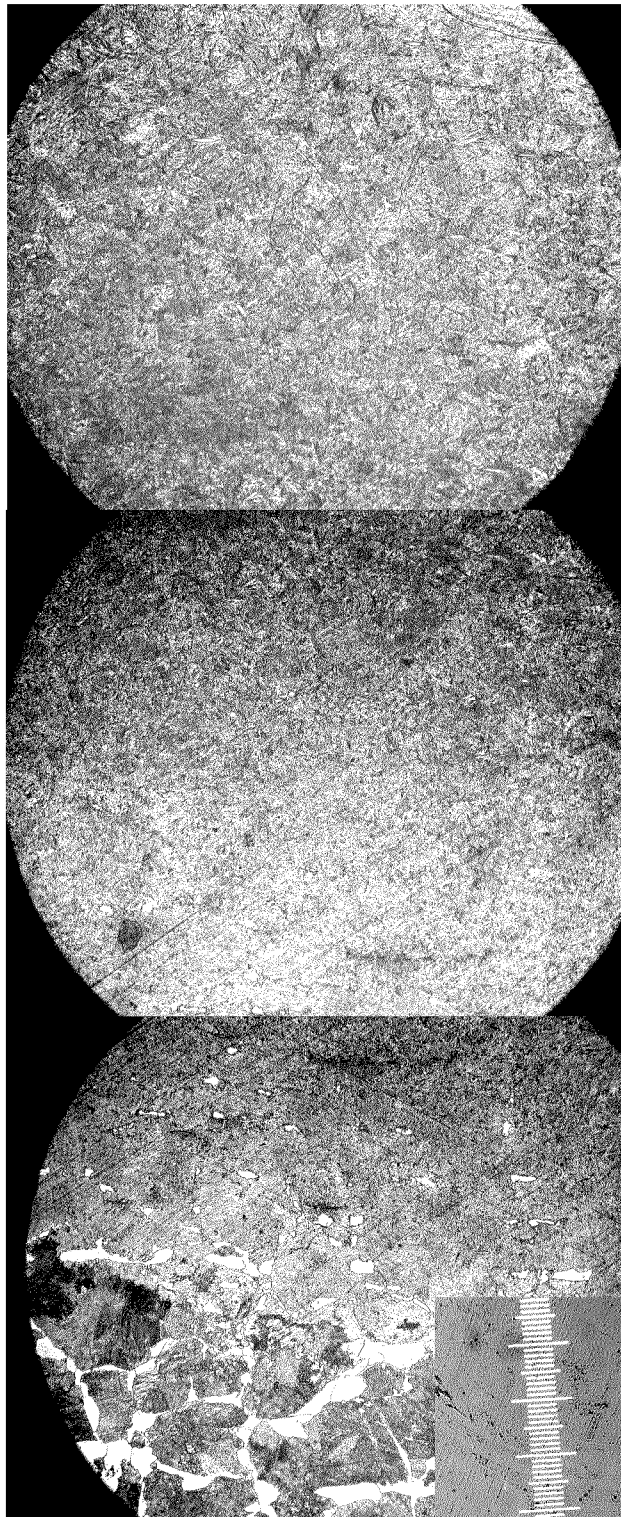


Рисунок 4 – Поперечний переріз зразка сталі 65 Г після електроерозійної обробки від обробленої поверхні до необробленої зони (сила струму 400 А, температура діелектричного середовища (води) 40 °С)

Позитивним моментом є також підвищення вмісту хрому майже в 2 рази (з 0,045 до 0,086 % при силі струму 400А), адже хром різко підвищує твердість сталі в зоні термічного впливу, утворюючи карбіди хрому, а також сприяє утворенню загартованих структур. Підвищення вмісту хрому в сталі 65Г підвищує також її міцність, в'язкість та зносостійкість.

З рис. 3 можна зробити висновок, що вміст нікелю в обробленому шарі максимально збільшився (в 2,3 рази) при силі струму в 400А. Насичення поверхні

нікелем підвищує міцність, твердість, в'язкість при низьких температурах та корозійну стійкість.

Як видно з наведених графіків зміна вмісту хімічних елементів у сталі 65Г після електроерозійної обробки не має чіткої закономірності. Також можна зробити висновок, що найбільший вміст елементів які позитивно впливають на зносостійкість спостерігалось при силі струму 400А.

Враховуючи результати попередніх досліджень нами було розглянуто вплив температури робочого середовища (води), напруги та сили струму на структурні перетворення в сталі 65Г.

Дослідження структурних перетворень показали, що в результаті електроерозійної обробки утворюється зносостійкий шар з дрібногольчатою мартенситною структурою (рис. 4) незалежно від режимних показників. Це пов'язано з тим, що дослідження проводили при температурі робочого середовища (води) в межах 20-60 °С, а дана температура забезпечує охолодження обробленої поверхні зі швидкістю більшою 200°С/с, що і необхідно для утворення мартенситних структур.

При електроерозійній обробці утворюється висока міцність зчеплення легованого шару з матеріалом основи (тобто висока міцність адгезії зміцненого шару з основою).

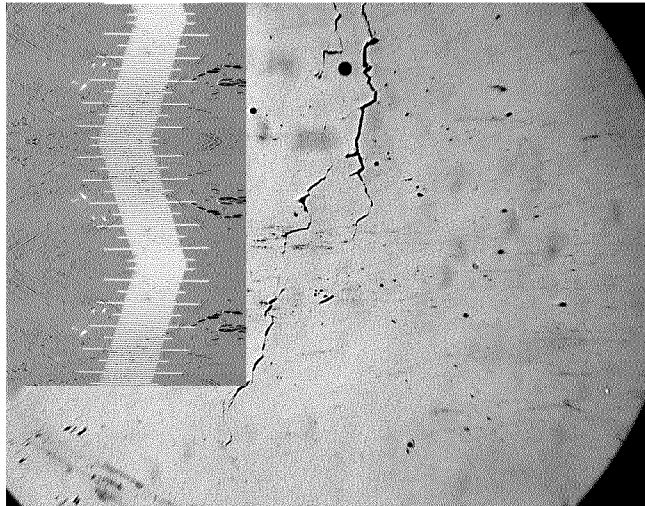


Рисунок 5 – Оброблений шар електроерозійною обробкою (сила струму 500А, температура робочої рідини 40 °С)

В результаті проведення дослідження було з'ясовано, що при силі струму 500 А (незалежно від інших факторів) по всьому об'єму обробленого шару утворюються мікротріщини (рис. 5). Це пов'язано з виникненням великих внутрішніх напружень під час протікання процесу електроерозійної обробки.

Твердість обробленого шару сталі 65 Г знаходиться в межах 58-64 HRC.

**Висновки.** Зміни в хімічного складу в результаті електроерозійної обробки сталі 65Г підвищує її зносостійкість, адже насичує поверхневий шар хромом, нікелем, кремнієм та марганцем.

В результаті електроерозійної обробки сталі 65Г утворюється поверхневий шар з дрібногольчатою мартенситною структурою.

Найбільш раціональним режимом електроерозійної обробки є: сила струму 400-450А, температура робочого середовища 20-60 °С, напруга 45 В.

Дослідити розподіл мікротвердості поверхневого шару після електроерозійної обробки.

## Список літератури

1. ГОСТ 25331-82 Обработка электроэрозионная. Термины и определения.
2. Фотеев Н.К. Технология электроэрозионной обработки. – М.: Машиностроение, 1980 – 184 с.
3. Красюк поверхностных Б. А. на Выявление образцах строения железных протравливающих сплавов.Заводская слоев лаборатория, Т. 22. 1956, N5.
4. Александров В. П. Исследование технологических характеристик электроэрозионной обработки жаропрочных материалов. М.: Наука, 1964 – 124 с.
5. Геллер Ю. А. Инструментальные стали.4-е издание. М.: Металлургия, 1975 – 584 с.
6. Могилевский И. З., Чановая А, Металлографические исследования поверхности стали после электроискровой обработки.- В кн.: Электроискровая обработка металлов. Вып.1.М.:Изд- во АН СССР, 1957.
7. ГОСТ 12344-88 Стали легированные и высоколегированные. Методы определения углерода.
8. ГОСТ 12345-2001 (ИСО 671-82, ИСО 4935-89) - Стали легированные и высоколегированные. Методы определения серы.
9. ГОСТ 28033-89 Сталь. Метод рентгенофлуоресцентного анализа.
10. ГОСТ 14959-79 Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. Технические условия.

*К. Борак*

### **Влияние электроэрозионной обработки на химический состав и структуру стали 65Г**

Представлены результаты лабораторных исследований влияния электроэрозионной обработки на химический состав и структуру стали 65Г. Определено, что в результате электроэрозионной обработки стали 65Г образуется поверхностный слой с мелкоигльчатой мартенситной структурой. Также поверхностный слой насыщается хромом, никелем, кремнием, а также марганцем. В результате исследований предложено рациональный режим электроэрозионной обработки.

*К. Borak*

### **Influence of electricalerosion treatments steel 65Г became on chemical composition and structure**

The resulted results of laboratory researches of influence of electricalerosion treatments are on chemical composition and structure of steel of 65Г. It is found out, that result of electricalerosion threatening of steel of 65Г a superficial layer appears from finely needle by a martensitnoy structure. Also a superficial layer is saturated a chrome, nickel, silicon and manganese. As a result of researches the offered rational mode of electricalerosion treatments.

Одержано 11.03.11