

**В. П. АЛЕКСАНДРОВ**

## **ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ЭЛЕКТРОДА-ИНСТРУМЕНТА И ЕГО СТРУКТУРЫ НА ВЕЛИЧИНУ ЭРОЗИИ ЭЛЕКТРОДОВ**

Электрод-инструмент в процессе электроэрозионной обработки подвергается износу, вследствие чего искажается его форма, уменьшается точность обработки. Естественно поэтому стремление добиться минимального его износа.

Материал электрода-инструмента также оказывает влияние на производительность обработки и качество поверхности.

В настоящее время для электроэрозионной обработки применяются разнообразные материалы электродов-инструментов. Наибольшее распространение получили электроды-инструменты, изготовленные из меди, латуни ЛС-59, алюминия, алюминиевых сплавов (литейных и деформируемых), серого чугуна, меднографитовых композиций и углеродистых материалов. Имеются данные о применении вольфрамовых и молибденовых электродов, а также их композиций.

Металлографитовые композиции для изготовления электродов-инструментов были предложены впервые Б. Р. и Н. И. Лазаренко. Подробные исследования электродов-инструментов из меднографитовых композиций были проведены рядом авторов и изложены в работах [1, 2, 3]. Из этих работ следует, что износ электродов из меднографитовых композиций существенно зависит от состава и технологии их изготовления. Наилучшими технологическими данными обладают композиции марок МГ-4 и МГ-6. Однако из-за сложности изготовления электродов из меднографитовых композиций, а также их относительно низких механических свойств применение последних носит ограниченный характер. По данным различных авторов, относительный их износ при обработке сталей примерно в два раза ниже по сравнению с латунью ЛС-59.

Предложение о возможности использования серых чугунов для изготовления электродов-инструментов было сделано Б. Н. Золотых [4].

В последнее время большое практическое применение получили

электроды-инструменты из углеродистых материалов [5]. Причем, согласно последним данным, наилучшей электроэрозионной стойкостью обладают электроды из углеродистого материала ЭЭГ, выпускаемого Московским электродным заводом.

Выбор того или иного материала электрода-инструмента для электроэрозионной обработки обуславливается рядом факторов, важнейшими из которых являются: износ, характер операции и способ ее выполнения, вид производства, стоимость изготовления, а также стоимость самого материала.

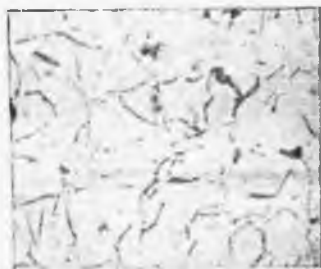
Литературные данные о влиянии материала электрода-инструмента на величину эрозии касаются обработки углеродистых, некоторых легированных сталей, а также твердых сплавов. Однако для обработки жаропрочных материалов такие данные практически отсутствуют. Полностью отсутствуют данные о влиянии структуры материала электрода-инструмента на величину эрозии и, в частности, электродов-инструментов, изготовленных из серого чугуна, который является очень дешевым и технологичным материалом. В условиях серийного производства электроды-инструменты из серого чугуна могут быть легко и дешево изготовлены литьем.



*a*



*б*



*в*



*г*

Фиг. 1. Микроструктура серого чугуна.

*a* — до травления; *б* — после травления. Плавка 4—0. Ферритная основа, графит пластинчатый средней величины. Содержание перлита 2—4<sup>0</sup>/<sub>100</sub>; *в* — до травления; *г* — после травления. Плавка 5—0. Перлитная основа. Небольшое количество феррита. Графит пластинчатый, средней величины.

В таблице 1 приведены состав и структуры серых чугунов, подвергнутых исследованию, а на фиг. 1 и 2 — микроструктуры некоторых плавок.

Влияние материала катода и его структуры (для чугунов) на величину эрозии электродов при фиксированных значениях энергии импульса и длительности ( $W_{\text{и}} \approx 3$  Дж;  $t_{\text{и}} = 130$  мксек) харак-



Фиг. 2. Микроструктура серого чугуна.

а — до травления; б — после травления. Плавка 8-0. Ферритная основа. Графит сфероидальный.

теризуется данными таблицы 2, приведенными для случая, когда анодом был сплав ЭИ437Б или сталь ЭА1Т.

Из результатов, приведенных в таблицах 2 и 3, видно, что для исследованных материалов катодов максимальная величина эрозии анода  $V_a$  наблюдается, когда в качестве катодов применяются меднографитовая композиция МГ-4, серые чугуны и углеродистый материал ЭЭГ. При использовании в качестве материалов катодов алюминия и его сплавов (АК-4, АЛ-4, АК-6) величина эрозии анода несколько меньше. Наименьшая величина эрозии анода получается при применении в качестве материала катода латуни ЛС-59. Что касается величины относительного объемного износа катода, то минимальный износ имеет катод, изготовленный из углеродистого материала ЭЭГ. На втором месте стоят чугуны. На третьем — меднографитовая композиция МГ-4. Далее следуют алюминий и его сплавы. И максимальный относительный износ катода имеет место, когда материалом его является латунь ЛС-59.

Из данных, приведенных в таблице 2, также видно, что на величину эрозии катода и относительный объемный износ чугунных катодов существенное влияние оказывают: содержание углерода в чугуне, его структура и форма графитных включений.

Заметное влияние содержания углерода на величину эрозии электродов проявляется в чугунах, имеющих ферритную металлическую основу (плавки 6—0; 4—0; 4—Т), причем с увеличением содержания углерода в чугуне величина эрозии анода растет, а относительный объемный износ катода падает.

Для чугунов, имеющих перлитную металлическую основу (плав-

№ п.п.	№ плав- ки	Химический состав			
		C	Si	Mn	S
1	6—0	2,8	3,01	0,46	0,036
2	4—0	3,5	2,5	0,5	0,036
3	4-T	4,28	1,5	0,78	0,03
4	5-M	2,8	1,87	0,6	0,03
5	5—0	3,52	1,2	0,5	0,042
6	4	4,28	1,1	0,79	0,03
7	8—0	2,82	3,38	0,3	0,016

		Структура
P	Mg	
0,053	—	Ферритная основа, графит пластинчатый, средней величины. Содержание перлита 2—3%
0,054	—	Ферритная основа, графит пластинчатый, средней величины. Содержание перлита 2—4%
0,06	—	Ферритная основа, графит пластинчатый, грубый. Количество перлита 2—4%
0,06	—	Перлитная основа. Небольшое количество феррита. Графит пластинчатый, средней величины
0,053	—	Перлитная основа. Небольшое количество феррита. Графит пластинчатый, средней величины
0,06	—	Перлитная основа. Небольшое количество феррита. Графит пластинчатый, средней и крупной величины
0,072	0,112	Ферритная основа. Графит сферондальный

$$W_{II} = 3 \text{ дж}; t_{II} = 130 \text{ мсек};$$

№	Материал катода	№ плавки хим- состав и струк- тура чугунов по табл. 1	анод-ЭИ437Б			анод-ЭЯ1Т		
			$V_a$ мм <sup>3</sup> за им- пульс	$V_k$ мм <sup>3</sup> за им- пульс	$W_k =$ $\frac{V_k}{V_a} \times$ 100%	$V_a$ мм <sup>3</sup> за им- пульс	$V_k$ мм <sup>3</sup> за им- пульс	$W_k =$ $\frac{V_k}{V_a} \times$ 100%
			3а	3а	$\frac{V_k}{V_a}$	10000	10000	$\frac{V_k}{V_a} \times$
1	Чугун . . . . .	6—0	365	28,4	7,78	250	29	11,5
2	Чугун . . . . .	4—0	386,5	26,1	6,77	265	27	10,2
3	Чугун . . . . .	4-Г	407	26,8	6,6	280	28	10
4	Чугун . . . . .	5-М	370	24,6	6,6	252	25,3	10,1
5	Чугун . . . . .	5—0	387	25	6,47	265	26	9,8
6	Чугун . . . . .	4	372	24,2	6,5	255	25,5	10
7	Чугун . . . . .	8—0	312,1	51	16,35	212	48,7	23
8	Алюминий А-00 . . . . .	—	325	101	31	217	84,7	39
9	АК-4 . . . . .	—	352	97,2	27,6	238	83	35
10	АЛ-4 . . . . .	—	340	102,2	30,1	234	84	36
11	АК-6 . . . . .	—	366	95	26	240	72	30
12	МГ-4 . . . . .	—	415	65	15,6	280	61,6	22
13	ЭЭГ . . . . .	—	370	3,7	1,0	236	3,03	1,28
14	Латушь ЛС-59 . . . . .	—	282,1	94,04	34,04	178,5	103,5	58

ки 5—М; 5—0; 4), при изменении в них содержания углерода в пределах 2,8 — 4,28% зависимости  $V_a$  и  $V_k$  от содержания углерода не обнаруживается.

Для выявления влияния степени графитизации в чугуне на величину эрозии электродов, чугун марки «4» (химический состав см. табл. 1), имеющий перлитную основу, был подвергнут длительному отжигу при  $t=720^\circ$  в течение 8 часов с последующим медленным охлаждением вместе с печью. В результате такого отжига часть цементита, входящая в перлит, была разложена с образованием феррита и графита, и чугун приобрел ферритно-перлитную структуру. Другими словами, была повышена степень графитизации чугуна (фиг. 3а, б фиг. 4а, б).



Фиг. 3. Микроструктура серого чугуна

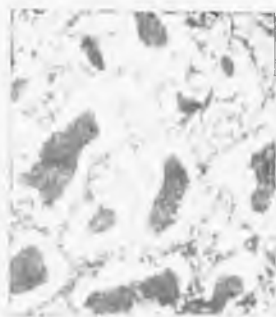
а) до травления; б) — после травления. Плавка 4 (до отжига) Перлитная основа. Графит пластинчатый, средней величины.

Влияние степени графитизации на величину эрозии электродов характеризуется данными, приведенными в таблице 3.

Из таблицы 3 видно, что увеличение содержания свободного углерода в чугуне приводит к увеличению величины эрозии анода при неизменном относительном объемном износе катода.



а



б

Фиг. 1. Микроструктура серого чугуна.

а — до травления; б — после травления. Плавка 4 (после отжига). Феррито-перлитная основа. Графит пластинчатый, средней величины, грубый.

Таблица 3

$W_{и} = 3$  Дж;  $t_{и} = 130$  мксек; анод — ЭИ437Б

№ плавки	$V_{и}$ мм <sup>3</sup> за 10000 им-пульсов	$V_{к}$ мм <sup>3</sup> за 10000 им-пульсов	$\Delta v_{к}$ %	Структура
до отжига	372	24,2	6,5	перлитная
после отжига	400	26,2	6,52	ферритоперлитная

Наблюдающаяся зависимость величин эрозии анода и катода от степени графитизации очевидно объясняется изменением теплофизических констант чугуна в зависимости от содержания свободного углерода и, в частности, величин теплопроводности и теплоемкости. Графитизация сопровождается уменьшением теплоемкости чугуна и повышением его теплопроводности [6].

Весьма существенную роль на величину эрозии электродов оказывает форма графита в чугуне. Сравнительная оценка чугунов, имеющих ферритную основу и примерно одинаковый химический состав (плавки 6—0 и 8—0), но в первом случае графит пластинчатой формы (плавка 6—0), а во втором случае сфероидальный графит (плавка 8—0), — показывает (см. табл. 2), что в случае использования для материала катода чугуна со сфероидальным графитом значительно уменьшается величина эрозии анода и в два с лишним раза повышается относительный объемный износ катода. Поэтому высокопрочные чугуны, имеющие, как правило, в структу-

ре сфероидальный графит, не могут быть рекомендованы для изготовления электродов-инструментов.

В реальных условиях работы на электроэрозионных станках при выборе того или иного материала электрода-инструмента необходимо, кроме эрозионных характеристик материала, учитывать стабильность процесса обработки. Так, например, при работе на станке с генератором РС и мостовой схемой регулирования установлено, что наилучшая стабильность процесса обработки имеет место, когда в качестве материала электрода-инструмента применяется латунь ЛС-59. Этим, в основном, и объясняется широкое применение латуни ЛС-59 в качестве материала электрода-инструмента.

Стабильность процесса обработки при прочих равных условиях, при применении чугунных электродов-инструментов существенно зависит от структуры чугуна, содержания углерода, количества свободного углерода и формы графитовых включений.

Стабильность процесса обработки существенно улучшается при увеличении содержания углерода в чугуне, а также при увеличении количества свободного углерода. Стабилен процесс обработки чугунов, имеющих пластинчатую форму графита, но он резко ухудшается при наличии в чугуне мелких графитовых включений, а также сфероидального графита.

Таким образом, увеличение содержания углерода в чугуне до 1,28%, повышение степени графитизации, а также наличие в структуре пластинчатого графита приводят к одновременному улучшению и электроэрозионных характеристик чугунов и стабильности процесса обработки.

При работе на электроэрозионных станках, где стабильность процесса обработки особенно важна (операции прошивки и образования полостей) и, в конечном итоге, при прочих равных условиях определяет производительность, преимущество электродов-инструментов из чугунов с большим содержанием углерода и большей степенью графитизации значительно возрастает.

Подводя итог изложенному, следует сказать, что при равной стабильности процесса электроэрозионной обработки, что может быть при некоторых условиях работы, применение в качестве материалов электродов-инструментов чугунов с высоким содержанием углерода  $C=4:4,28\%$ , имеющих ферритную и ферритно-перлитную металлическую основу, позволяет увеличить почти в 1,5 раза величину эрозии анода и в 5 раз снизить относительный объемный износ катода по сравнению с латунью ЛС-59.

Наилучшей эрозионной устойчивостью из всех исследованных материалов обладает углеродистый материал ЭЭГ, относительный объемный износ которого при  $W_u=3$  Дж и  $t_u=130$  мксек составил  $\sigma_u=1\%$ .

Меднографитовая композиция МГ-4 по относительному объемному износу уступает чугунам, но значительно превосходит латунь ЛС-59. Сравнительно высокую эрозионную стойкость меднографи-



товой композиции МГ-4, с нашей точки зрения, можно объяснить наличием большой тепло- и электропроводности при высокой температуре плавления (за счет присутствия графита). После начала обработки вкрапления меди с поверхности выгорают и образуется пленка, состоящая почти целиком из графита, обладающая высокой температурой плавления. Остающиеся под этой пленкой вкрапления меди в графите способствуют отводу тепла, в результате чего снижается износ электрода-инструмента.

Что касается алюминия и его сплавов, то их электроэрозионные характеристики ниже в сравнении с чугунами, т. е. при применении их в качестве материала катода величина эрозии анода меньше при довольно значительном относительном объемном износе катода, достигающем до 30—40%. Кроме того, стабильность процесса электроэрозионной обработки на станках при использовании в качестве материалов электродов-инструментов алюминия и его сплавов значительно хуже в сравнении с латунью ЛС-59. Здесь же необходимо отметить, что при применении в качестве электродов-инструментов алюминия и его сплавов, при наличии в инструменте тонких кромок наблюдается их повышенный износ, в результате чего инструмент быстро теряет свою форму.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Я. Попилов, Л. И. Козловский. Электроискровая обработка металлов. 1950.
  2. Б. А. Красюк. Прошивка отверстий в металлических изделиях. В кн.: «Электрические методы обработки металлов». Машгиз, 1951
  3. И. Станек. Исследование производительности электроискрового процесса изготовления отверстий. Автореферат кандидатской диссертации. Станкин, Москва, 1954.
  4. Б. Н. Золотых. Авторское свидетельство № 73130 от 1946 г.
  5. А. Л. Лившиц, Г. К. Банников, А. М. Сигарев. Высокосторонние углеродистые материалы электродов-инструментов для электроимпульсной обработки металлов. Доклады на III Всесоюзном совещании по электрической и ультразвуковой обработке металлов. Лениздат, кн. 49, 1958.
  6. Н. Г. Гиршович. Чугунное литье. Металлиздат, 1949.
-