

## Относно ресурса на работа на кухи катоди от танталово фолио, използвани при електродъгово обработване във вакуум

Николай Фердинандов

*Abstract: Within the framework of erosion has been investigated as a criterion for resource assessment work of tantalum hollow cathode used in electric vacuum treatment.*

*Key words: Electric vacuum treatment, Erosion tantalum hollow cathode.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Основен елемент при електродъговото заваряване, наваряване, спояване и термообработване във вакуум е кухият катод за изработването, на който се използват тантал (Ta) или волфрам (W) под формата на фолио или пръти. Технологичните процеси са с различна продължителност и различни стойности на използваните параметри на режима, като до голяма степен зависят от ресурса на работа на тези катоди. Замяната им, при преждевременно излизане от строя, може да увеличи продължителността на процеса с  $0,5 \div 1,0$  час.

Отчитайки скоростта на изпарение на материала на кухия катод се оказва, че ресурса му на работа трябва да бъде десетки, дори стотици часа. На практика обаче при катоди с диаметър  $3 \div 4$  mm, изработени от танталово или волфрамово фолио и големини на тока  $I = 100 \div 120$  A той е по-малко от 2 часа [2].

Според литературни данни основната причина за разрушаването на катодите е окислението им в процеса на работа вследствие наличието на кислород и водни пари в използвания плазмообразуващ газ [1]. Липсва обаче информация за влиянието на останалите параметри на режима на работа.

### ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

#### Цел:

- да се изследва влиянието на някои от основните параметри на режима на работа върху ресурса на кухи катоди от танталово фолио използвани при електродъгово обработване във вакуум.

#### Задачи:

- избор на параметри на режима на работа, които да бъдат изследвани;
- избор на подходящо оборудване за изследване и измерване.
- построяване на графични зависимости, илюстриращи получените резултати.

### МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Оценката на ресурса на кухите катоди е направена въз основа на три критерия - косвено чрез тяхната ерозия [ $\mu$ ], чрез наличието на разрушавания по повърхността им водещи до изтичане на плазмообразуващият газ и преминаване на разряда в неустойчиво състояние, както и на база промяна на формата на катода вследствие на термични напрежения.

С цел ограничаване времето за провеждане на експериментите е прието продължителността им да бъде 1 час.

Изследвани са параметрите на режима на работа, които имат отношение, както към възможността за реализиране на съответните технологични процеси, така и към ресурса на използваните кухи катоди, а именно:

- Дълбочина на вакуума –  $P = 5 \cdot 10^0, 5 \cdot 10^{-1}$  Pa. Тя зависи от осъществявания технологичен процес и химичния състав на обработваните материали;

- Цикличност на работа –  $S = 50, 100\%$ . Многократното възбуждане и изгасяне на разряда влияе върху ресурса на кухия катод. Поради това този параметър бе изследван, като за целта са използвани режими на работа  $S50\%$  (време за работа  $2\text{min}$ , време на пауза  $2\text{min}$ ) и  $S100\%$  (непрекъсната работа).

- Големина на тока –  $I = 80, 120, 160\text{A}$ . Стойността на този параметър зависи от геометричните размери и материал на кухия катод. При такива, изработени от танталово фолио, с диаметри  $3\pm 4\text{mm}$  се използват големина до около  $120 (150)\text{A}$ ;

- Количество на плазмообразуващия газ –  $G_{Ar} = 1.0, 2.0, 3.0\text{l/h}$ . Използваните количества са свързани, както с диаметъра на кухия катод, така и с плътността на топлинния поток и реализирани технологичните процеси;

Тук влиянието на чистотата на плазмообразуващия газ не е изследвана. Използван е аргон марка 5.0 с чистота  $99,999\%$ .

Използван е диаметър на кухия катод  $d_{kk}=4\text{mm}$ , тъй като той е подходящ за провеждането на всички по-горе изброени технологични процеси. Останалите размери на катодата са: дебелина на стената  $\delta_{kk}=0,2\text{mm}$ , дължина на катодата  $l_{kk}=30\text{mm}$ .

Експериментите са осъществени с помощта на полупромишлена инсталация, намираща се в лабораторията „Технологични процеси за обработване във вакуум с електродъгов разряд с кух катод“ [3] на РУ „А. Кънчев“. Използван е водоохлаждаем меден анод за да се ограничи отделянето на метални пари при нагряването му.

За измерване на масата на кухите катоди във връзка с ерозията им преди и след работа е използвана електронна везна SARTORIUS RC210D с точност  $0,00001\text{g}$ .

## РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

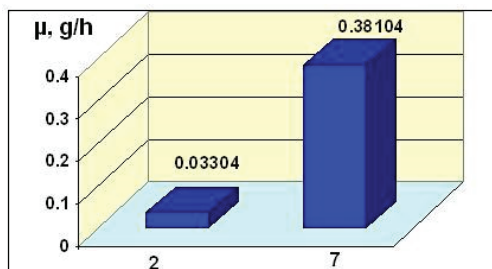
Резултатите, показващи влиянието на изследваните параметри на режима на работа върху ресурса и съответно ерозията на кухите катоди са показани в таблица 1 и на фигурите по-долу.

Табл. 1 Резултати от проведените изследвания

№ на опита	Големина на тока – $I, \text{A}$	Количество на плазмообразуващия газ – $G_{Ar}, \text{l/h}$	Налягане в камерата – $P, \text{Pa}$	Цикличност на работа – $S, \%$	Време за горене на дъгата – $t, \text{min}$	Маса на катода – $g$		Ерозия – $\mu, \text{g/h}$	Забелжка
						Преди работа	След работа		
1	80	2.0	$5.10^{-1}$	100	60	1.48490	1.46436	0.02054	Без изменения
2	120	2.0	$5.10^{-1}$	100	60	1.46130	1.42826	0.03304	Частично окисляване и разрушаване
3	120	2.0	$5.10^{-1}$	100	180	1.53380	-	-	Разрушен по време на работа
4	160	2.0	$5.10^{-1}$	100	60	1.46460	1.39339	0.07121	Частично окисляване и разрушаване
5	120	1.0	$8.10^{-2}$	100	60	1.48560	1.44685	0.03875	Частично окисляване и разрушаване
6	120	3.0	$8.10^{-1}$	100	60	1.47620	1.45741	0.01879	Без изменения
7	120	2.0	$5.10^0$	100	60	1.59462	1.11358	0,38104	Налице са разрушения по катодата - разряда става нестабилен
8	120	2.0	$5.10^{-1}$	50	60	1.48930	1.41588	0.07342	Налице са деформации и окисляване на катодата

От тях става ясно, че ресурса на използваните танталовите кухи катоди при така избраните параметри на режима може да достигне и дори надхвърли 3 часа, което е напълно достатъчно за реализирането на различни технологични процеси (заваряване, наваряване, спояване, термообработване) или съвкупност от няколко такива (например заваряване и термообработване).

От изследваните параметри на режима най-негативно влияние върху ресурса на кухите катоди оказва дълбочината на вакуума в камерата. При едни и същи други условия понижаването на вакуума с един порядък (от  $5 \cdot 10^{-1}$  до  $5 \cdot 10^0$ ) води до над 10кратно повишаване на ерозията (опити 2 и 7 – фиг. 1) и трикратно намаляване на ресурса (опити 3 и 7), като в този случай той е около 50 - 60min в зависимост от останалите параметри – големина на тока и количество на плазмообразуващия газ.



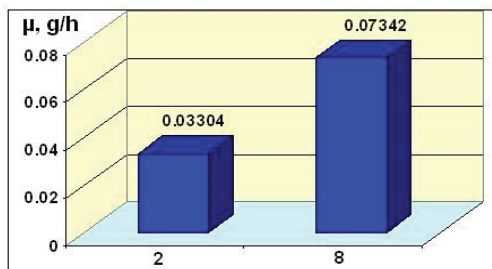
Фиг. 1 Стойности на ерозията на танталови кухи катоди, получени при налягания в камерата  $P=5 \cdot 10^{-1}$  Pa (опит 2) и  $P=5 \cdot 10^0$  Pa (опит 7)

Наличието на разрушавания по катода (фиг. 2) е свързано с взаимодействието на тантала с кислорода от околната среда вследствие, на което се получават евтектични структури от типа  $TaO_2$  и  $Ta_2O_5$  имащи сравнително ниски температури на топене [1].



Фиг. 2 Външен вид на кухия катод използван при дълбочина на вакуума в камерата  $P=5 \cdot 10^0$  Pa (опит 7)

Върху ресурса на кухите катоди влияе и цикличността на работа. Многократното възбуждане на разряда (в случая 30-кратно) води до нарастване на ерозията с над 2 пъти (опити 8 и 2 – фиг. 3) и деформиране на катода (фиг. 4) вследствие на термичните напрежения при многократното му нагряване и охлаждане.

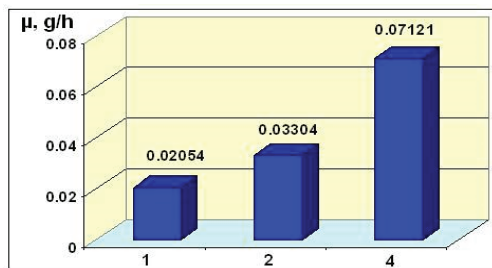


Фиг. 3 Стойности на ерозията на танталови кухи катоди получени при цикличност на работа  $S=100\%$  (опит 2) и  $S=50\%$  (опит 8).



Фиг. 4 Външен вид на кухия катод използван при цикличност на работа  $S=50\%$  (опит 8)

Големината на тока също влияе съществено върху ресурса на използваните кухи катода (опити 1, 2 и 4). С нарастването му ерозията увеличава, а ресурса намалява. Най – голяма е промяната при големината на тока 160А и много по-малка при 120А (фиг. 5), което потвърждава литературните данни, че кухи катода изработени от танталово фолио са подходящи за големина на тока до около 120А.



Фиг. 5 Стойности на ерозията на танталови кухи катода получени при големина на тока  $I=80, 120$  и  $160\text{A}$  (опити 1, 2 и 4)

Външен вид на използваните кухи катода при опити 1 и 2 е показан на фигура 6.



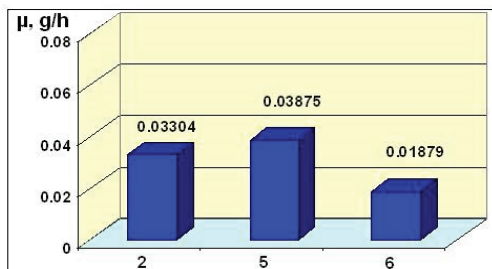
а)



б)

Фиг. 6 Външен вид на кухи катода използвани при големина на тока 80А (а) и 120А (б)

Нарастването на количеството плазмообразуващ газ е свързано с намаляване на плътността на топлинния поток и ерозията (опити 2, 5 и 6 – фиг. 7) и съответно увеличаване на ресурса.



Фиг. 7 Стойности на ерозията на танталови кухи катода получени при количества на плазмообразуващия газ  $G_{Ar}=1.0, 2.0$  и  $3.0\text{l/h}$  (опити 5, 2 и 6)

Тук основните промени са при количества на газа  $3.0\text{l/h}$ , като ерозията в сравнение с опита, при който е използван  $1.0\text{l/h}$  намалява около 2 пъти и отговаря на най-ниската отчетена.

Тези резултати показват, че плазмообразуваният газ е сравнително чист и сух, тъй като в противен случай резултатите щяха да са точно обратните – най – голяма ерозия и най-малък ресурс при най – голямото количество плазмообразуващ газ.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

От проведените експериментални изследвания могат да бъдат направени следните по-важни изводи:

1. Доказано е, че върху ресурса на работа на танталовите кухи катоди използвани при електродъгово обработване във вакуум съществено влияние оказват параметрите на режима: количество на плазмообразувания газ, дълбочина на вакуума, цикличност на работа и големина на тока.

2. От изследваните параметри най-негативно влияние има дълбочината на вакуума, като понижаването му с един порядък води до около 3-кратно намаляване на ресурса на катода.

3. Цикличността на работа влияе съществено не само върху ерозията, а и върху формата на кухия катод, което допълнително ограничава ресурса му. Поради това е необходимо да се използват режими на работа с минимален брой възбуждания на електродъговия разряд.

4. Потвърдено е, че кухи катоди изработени от танталово фолио са подходящи за големина на тока до около 120А, тъй като над тези стойности е налице съществено нарастване на ерозията и съответно намаляване на ресурса на катода.

5. Влиянието на количеството плазмообразуващ газ се дължи основно на промяната на плътността на топлинния поток, като за намаляване на ерозията и увеличаване ресурса на кухите катоди е необходимо да се използват количества над 2.5l/h

### **ЛИТЕРАТУРА**

[1] Неровный В.М., Хahalев А.Д., Повышение ресурса работы полого терموкатада для дуговой пайки в вакууме. Сварочное производство №10. 1988. 31-32 с.

[2] Неровный В.М., Ямпольский В.М. Сварочные дуговые процессы в вакууме. Машиностроение. 2002. 264 с.

[3] Фердинандов Н.В. Условия за устойчиво възбуждане на електродъговия разряд във вакуум при различни диаметри на кухия катод. Научни трудове на РУ "А.Кънчев". Русе. 2012г. 229-232 с.

### **За контакти:**

Гл.ас. д-р Николай Фердинандов "Материалознание и технология на материалите", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 206, e-mail: nferdinandov@uni-ruse.bg

**Докладът е рецензиран.**