

Изследване влиянието на параметрите на режима на работа върху дълбочината на стопяване при използване на електродъгов разряд с кух катод във вакуум

Николай Фердинандов, Венцислав Добринов

Abstract: *A planned experiment is carried out and the influence of the basic parameters of the working regime over the penetration depth of the weld during the using of hollow cathode arc in vacuum is investigated. The direction and the stage of influence of these parameters are determined. Graphic relations which illustrate the results are constructed.*

Key words: *Hollow cathode arc, Planned experiment, Welding variables, Penetration depth.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Електродъговият разряд с кух катод (НКА – hollow cathode arc) е разработен през шестдесетте години на миналия век, като плазмен източник на топлина за работа при ниски налягания (вакуум). Той е изключително подходящ, както за изработване на заварени конструкции от химически активни метали и сплави в земни условия, така и като източник на топлина за заваряване в космоса [1].

Характерните за него висока плътност на топлинния поток ($5 \cdot 10^3 \div 10^5 \text{ W/sm}^2$) и висок ефективен коефициент на полезно действие ($0,77 \div 0,87$) позволяват той да бъде причислен към така наречените „Висококонцентрирани източници на енергия“ [3].

Главната особеност на разряда с кух катод е, че той може да бъде използван за провеждането на широк кръг процеси във вакуум: заваряване, наваряване, спояване и термообработване на материали с различна дебелина [4]. Затова обаче е необходимо добре да се познават параметрите на режима (големина на тока, количество на плазмообразуващия газ, скорост на движение, дължина на дъговият промеждутък, диаметър на кухия катод и др.) чрез, които е възможно широкото управление на топлинните му характеристики.

В литературата има най-обща информация за посоката на влияние на тези параметри върху размерите и формата на зоната на стопяване. За съжаление обаче представените резултати са получени при точно определени условия, част от които не могат да бъдат възпроизведени в лабораторията „Технологични процеси за обработване във вакуум с електродъгов разряд с кух катод“ в Русенски университет.

ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Целта на работата е свързана с:

- установяване на посоката и степента на влияние на основните параметри на режима на работа върху дълбочината на стопяване при използването на електродъгов разряд с кух катод във вакуум.

За реализирането на целта са изпълнени следните задачи:

- избрани са параметри на режима на работа, които да бъдат изследвани и нива на варирането им;
- избрани са форма, размери и материал на пробните тела;
- избран е подходящ софтуер за обработване на получените резултати и построяване на съответните графични зависимости.

МЕТОДИКА ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

С цел съкращаване броя на опитите, намаляване разхода на материали и получаване на съответната регресионна зависимост между изследваните фактори и изходния параметър (дълбочина на стопяване) бе решено експериментите да се проведат с помощта на многофакторно планиране [2]. Тъй като е налице известна априорна информация за изследвания процес, многофакторният експеримент е

проведен по план от втори порядък, който дава възможност повърхнината на отклика да се опише по-детайлно, в областта на екстремума.

За управляеми фактори, които да бъдат изследвани са приети: големина на тока, скорост на движение на разряда, дължина на дъгата и количество на плазмобразуващия газ. Натуралните и кодирани им стойности са показани в таблица 1. Останалите параметри на работа – диаметър на кухия катод, дълбочина на вакуума и дебелина на пробните тела са постоянни в процеса на работа.

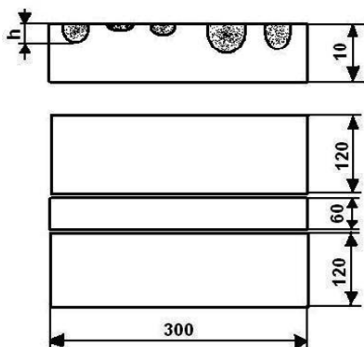
Нива на вариране на управляемите фактори

Табл.1

Нива на вариране	Натурални стойности				Кодирани стойности			
	Големина на тока, А	Скорост на движение, mm/s	Дължина на дъгата, mm	Количество на плазмобразуващият газ, l/h	X1	X2	X3	X4
Горно ниво	160	2,3	30	3,0	+1	+1	+1	+1
Средно ниво	140	1,6	20	2,0	0	0	0	0
Долно ниво	120	0,9	10	1,0	-1	-1	-1	-1
Интервал на вариране	20	0,7	10	1,0	-	-	-	-

Изборът на нива на вариране на управляемите фактори е направен въз основа на предварително проведени експерименти за уточняване на стойностите на параметрите на режима, при които е налице минимален провар. Максималната големина на тока е ограничена от възможностите на използваната горелка и кухия катод. Същият се изработва от танталово фолио и е със следните геометрични размери: дължина – 30mm.; диаметър – 4,0mm. и дебелина на стената – 0,2mm.

Формата на използваните заготовки е правоъгълна, което позволява лесното им базиране и провеждане на необходимите измервания след това. Те се състоят от три отделни части прихванати помежду си. Размерите им са съобразени с тези на вакуумната камера и са показани на фигура 1, а материала, от който са изработени е Ст3.



Фиг.1. Форма и размери на пробното тяло

h – дълбочина на стопяване, mm

Върху всяка плоча са провеждани по пет опита, като след всеки такъв е поставяно ново пробно тяло с цел да се избегне ефекта от нагряването от предшестващия.

Измерванията на дълбочината на стопяване са изпълнени с четирикратна повторемост, като е използван измерителен микроскоп МПБ-2 с увеличение 24x.

Създаването на необходимото подналягане в камерата става с помощта на две вакуумни помпи - ротационна с маслено уплътнение – VL 200 с производителност 200 m³/h и ротационна двуроторна – PR 600 с производителност 600 m³/h. Преди натичане на газа налягането в камерата е от порядъка на P₀ = 5.10⁻² mbar., а след това се повишава до работното P_{роб} = 5,1±5,5.10⁻² mbar., в зависимост от количеството на плазмобразуващия газ.

Използвани са стандартни заваръчни токоизточници със стръмно падащи външни характеристики.

РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

Резултатите от проведения планиран експеримент показващи влиянието на параметрите на режима върху дълбочината на стопяване (h) са дадени в таблица 2.

Резултати от измерванията на дълбочината на стопяване "h" Табл.2

№ опит	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h _{cp}
1	160	2.3	30	3.0	2.40	2.75	2.30	2.85	2.57
2	120	2.3	30	3.0	0.15	0.35	0.30	0.25	0.26
3	160	0.9	30	3.0	5.20	4.30	6.00	4.65	5.04
4	120	0.9	30	3.0	2.35	2.80	2.35	2.00	2.38
5	160	2.3	10	3.0	3.00	2.85	3.45	3.40	3.17
6	120	2.3	10	3.0	1.70	1.20	1.70	1.50	1.53
7	160	0.9	10	3.0	6.00	5.00	5.00	5.45	5.36
8	120	0.9	10	3.0	2.20	2.70	2.80	2.90	2.65
9	160	2.3	30	1.0	3.20	4.00	4.20	4.10	3.87
10	120	2.3	30	1.0	2.70	3.40	2.70	2.70	2.87
11	160	0.9	30	1.0	7.60	6.35	6.45	5.70	6.53
12	120	0.9	30	1.0	5.35	5.15	5.15	4.40	5.01
13	160	2.3	10	1.0	3.60	3.40	3.20	2.40	3.15
14	120	2.3	10	1.0	3.00	3.20	2.10	3.00	2.82
15	160	0.9	10	1.0	5.40	6.05	6.00	6.00	5.86
16	120	0.9	10	1.0	3.95	3.70	4.10	3.30	3.76
17	160	1.6	20	2.0	4.10	4.00	4.00	3.20	3.83
18	120	1.6	20	2.0	3.00	2.80	2.55	2.10	2.61
19	140	2.3	20	2.0	3.00	2.30	2.65	2.35	2.58
20	140	0.9	20	2.0	5.85	5.00	5.25	5.50	5.4
21	140	1.6	30	2.0	2.75	2.50	3.00	3.10	2.84
22	140	1.6	10	2.0	3.30	3.35	3.20	3.70	3.39
23	140	1.6	20	3.0	2.20	2.30	2.85	3.00	2.59
24	140	1.6	20	1.0	4.00	4.00	4.00	3.30	3.82
25	140	1.6	20	2.0	2.40	2.95	3.70	3.00	3.01

Където: X₁ – големина на тока (A); X₂ – скорост на движение на разряда (mm/s); X₃ – дължина на дъгата (mm); X₄ – количество плазмообразуващ газ (l/h); h₁+h₄ – резултати на отклика от съответните опити; h_{cp} - средна стойност на дълбочината на стопяване (mm).

Опитните данни са обработени с програма за регресионен анализ "STATISTICA 7" [5]. За базов полином е избрано уравнение от втора степен, като са включени вторите степени на факторите, както и техните смесени произведения.

След обработка на данните от опитите е получено следното уравнение на регресия:

$$\hat{Y} = 3,27 + 0,86 \cdot X_1 - 1,07 \cdot X_2 - 0,02 \cdot X_3 - 0,67 \cdot X_4 - 0,23 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,04 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,27 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,15 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,03 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,32 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,09 \cdot X_1^2 + 0,68 \cdot X_2^2 - 0,19 \cdot X_3^2 - 0,1 \cdot X_4^2 \quad (1)$$

След проверка за адекватност на модела той се оказва адекватен, като критерия на Фишер е по-малък от табличния – F_{табл}

$$F_{изч} = 2.27 \quad (2)$$

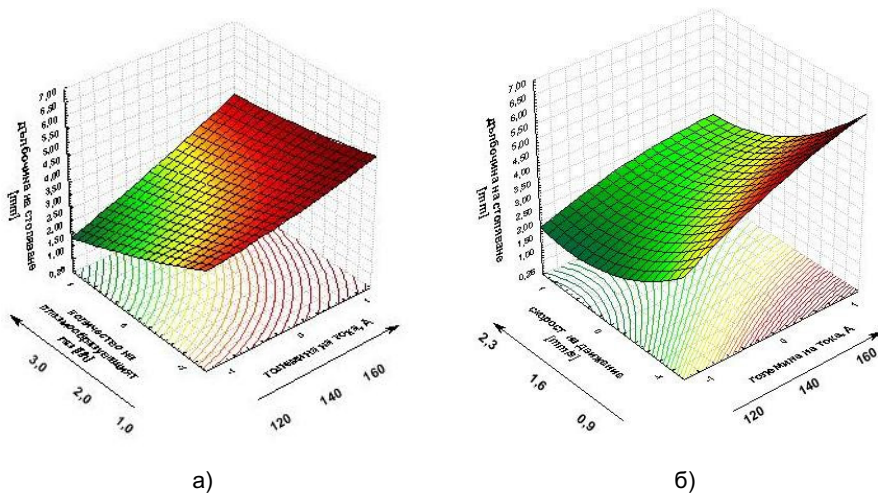
$$F_{табл} : 20:75 = 2,53 \quad 2.27 < 2.53 \quad (3)$$

Степента на влияние на отделните фактори се определя според големината на дисперсията на адекватност - S_{ад}, и е показана в табл.3. Както се вижда от таблицата при така избраните нива на варирание най-силно влияние има факторът – скорост на движение на разряда, а най-малък – дължина на дъгата.

№	Фактор	Дисперсия на адекватност $S_{ад}$
1.	Скорост на движение на разряда	8.56
2.	Големина на тока	5.72
3.	Количество плазмообразуващ газ	3.67
4.	Дължина на дъгата	0.39

Табл.3

С помощта на софтуерния продукт "STATISTICA 7" са изчертани и повърхнините на еднакъв отклик. За да се види кой от всичките четири фактора е с най-голям принос за изменението на параметъра Y (дълбочина на стопяване) са застопорявани по една двойка и са изменяни другата двойка фактори. На фигурите по-долу (фиг. 2 и 3) са показани част от получените резултати.



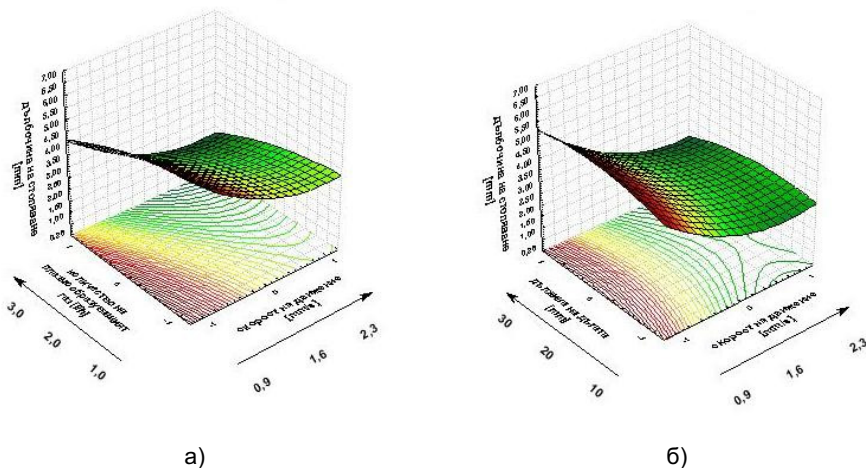
Фиг.2. Зависимост на дълбочината на стопяване от големината на тока и количеството плазмообразуващ газ (а) и от големината на тока и скоростта на движение (б)

Графичните зависимости потвърждават литературните данни и резултатите от таблица 3 според, които основните фактори влияещи върху дълбочината на стопяване "h" са скоростта на движение на разряда и големината на тока. С увеличаването на първия дълбочината на стопяване рязко намалява вследствие понижаваната линейна енергия и обратно с нарастване на големината на тока при постоянни други параметри на работа, дълбочината на стопяване се увеличава.

Влиянието на количеството плазмообразуващ газ и дължината на дъгата е по-слабо в сравнение с другите два параметъра. С намаляване на количеството на газа се увеличава плътността на топлинния поток, разряда с кух катод преминава в концентриран източник на топлина и дълбочината на стопяване нараства (за разлика от плазмената дъга). Намаляването на плазмообразуващия газ под 1,0 l/h обаче води до понижаване стабилността на разряда и съкращаване живота на кухия катод, вследствие високата топлинна концентрация.

Най-слабо влияние върху "h" оказва дължината на дъгата. Нейното увеличение води до намаляване на дълбочината на стопяване, като изключение правят резултатите получени при количество на плазмообразуващия газ 1,0 l/h независимо от големината на тока и скоростта на движение. Причината за това най-вероятно е, че с удължаване на дъгата помпният агрегат успява да отстрани част от

плазмообразуващия газ, плътността на топлинния поток нараства, което е свързано с увеличаване дълбочината на стопяване.



Фиг.3. Зависимост на дълбочината на стопяване от скоростта на движение и количеството плазмообразуващ газ (а) и от скоростта на движение и дължината на дъгата (б)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От проведените експериментални изследвания е установено, че:

1. При така избраните управляеми фактори и съответните им нива на вариране, основно влияние върху дълбочината на стопяване оказва скоростта на движение на разряда и големината на тока, а най-малко – дължината на дъгата.

2. Намалването на количеството плазмообразуващ газ води до преминаване на разряда с кух катод в концентриран източник на топлина, което е свързано с нарастване на дълбочината на стопяване.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Shobako S., T. Tanaka, T. Oji. Characteristics of hollow cathode arc as welding heat source. Application of hollow cathode arc to welding of 2219 and 5083 aluminium alloys. Welding International 2006; 20; (7) 532-537.

[2] Митков А., С. Кардашевски, Статистически методи в селскостопанската техника, Земиздат, София, 1977.

[3] Неровный В.М., Теплофизические особенности сварки высококонцентрированными источниками энергии. Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1997

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

[5] www.statsoft.com

За контакти:

Ас. Николай Фердинандов, Катедра “Материалознание и технология на материалите”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 206, e-mail: nferdinandov@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.