

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

Николай Фердинандов

Abstract: *With the help of a planned experiment the influence of the basic parameters of the working regime over the weld width and the weld shape during the using of hollow cathode arc in vacuum is investigated. The stage of influence of the separate factors is determined. The obtained results are presented in the form of graphic relations.*

Key words: *Vacuum technology, Hollow cathode arc, Weld width, Weld shape.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Сред плазмено-дъговите източници на енергия, използвани за високотемпературно обработване на химически активни метали и сплави най-подходящ се явява електродъговият разряд с кух катод във вакуум. През последните години той намира все по-широко приложение, както за изработването на заварени конструкции, така и за възстановяване на работните повърхнини на различни детайли [2].

Имайки в предвид средата, в която съществува разрядът (вакуум) и високата плътност на топлинния му поток той се явява изключително подходящ за обработване на детайли от различни високолегирани стомани, цирконий, ниобий, молибден, волфрам, титанови, медни, алуминиеви и магнезиеви сплави [5].

Електродъговият разряд с кух катод е един високоефективен и технологически гъвкав източник на топлина. Промяната на параметрите на режима на работа позволява плавно и в широки граници да се управлява ефективната му мощност от 200 до 1500W, а топлинната мощност в центъра на петното на нагряване от 20 до $5 \cdot 10^3 \text{ W/sm}^2$. В тези случаи разрядът е подходящо да се използва за осъществяване процесите на наваряване и спояване във вакуум. При големини на тока 240+350A разрядът с кух катод се явява висококонцентриран източник на топлина. Благодарение на това е възможно заваряването на титанови сплави с дебелина до 12mm без скосяване на един проход [2].

За осъществяване процесите на заваряване, наваряване и спояване е необходимо зоната на стопяване да има различни геометрични размери и форма. Това може да бъде постигнато чрез промяна на параметрите на режима на работа.

ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Целта на работата е свързана с:

- установяване влиянието на основните параметри на режима на работа върху широчината и формата на стопяване при използването на електродъгов разряд с кух катод във вакуум.

За реализирането на целта бяха изпълнени следните задачи:

- избрани са параметри на режима на работа и нива на вариране на същите;
- получените резултати са обработени, като са построени съответните графични зависимости.

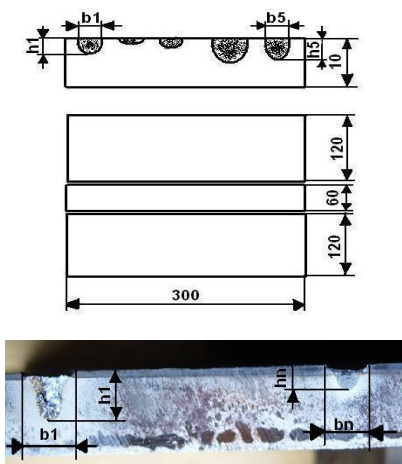
МЕТОДИКА ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Експериментите са проведени с помощта на полупромишлена инсталация за електродъгово обработване във вакуум с кух катод. За целта е използван многофакторен експеримент по план от втори порядък [1]. Изборът на управляеми фактори, нива на вариране, както и натуралните и кодираните им стойности са

описани в [4] и са дадени в таблица 1, а формата и размерите на използваните пробни тела са показани на фигура 1.

Табл.1 Нива на вариране на управляемите фактори

Нива на вариране	Натурални стойности				Кодирани стойности			
	Големина на тока, А	Скорост на движение, mm/s	Дължина на дъгата, mm	Количество на плазмообразуващият 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	-	-	-	-



Фиг.1 Форма и размери на пробното тяло $b1 \neq b5$ – широчини на стопяване, mm, $h1 \neq h5$ – дълбочина на стопяване, mm

По време на работа е отчитано и напрежението на дъгата. Измерените стойности са в рамките от 16,5 V ($I=120A$, $V=0,9mm/s$, $I_d=10mm$, $G_{Ar}=3,0$ l/h) до 23V ($I=160A$, $V=0,9mm/s$, $I_d=30mm$, $G_{Ar}=1,0l/h$), което показва една висока стабилност на разряда с кух катод дори и при значителни промени на параметрите на режима.

След провеждане на експериментите е измервана широчината на зоната на стопяване с помощта на универсални средства с увеличение 24x. Измерванията са изпълнени с четирикратна повторяемост.

Формата на шева се оценява чрез „относителната дълбочина на стопяване“ (h/b , където h – дълбочина на стопяване, b – широчина на стопяване). При електродъговите методи на заваряване съотношението h/b е в рамките на $0,5 \leq h/b \leq 1,0$, а при използването на високо концентрирани източници на енергия (лазерен или електронен лъч) това съотношение може да достигне $5 \div 30$ [3].

РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

Резултатите от проведените експерименти са представени в таблица 2.

След обработка на данните от опитите е получено следното уравнение на регресия по отношение широчината на шева:

$$\hat{Y} = 5,53 + 0,84 \cdot X_1 - 0,75 \cdot X_2 - 0,05 \cdot X_3 - 0,39 \cdot X_4 - 0,01 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,33 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,03 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,1 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,20 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,06 \cdot X_1^2 + 0,19 \cdot X_2^2 - 0,12 \cdot X_3^2 - 0,17 \cdot X_4^2 \quad (1)$$

При проверка моделът се оказва адекватен, като критерия на Фишер е по-малък от табличния – $F_{\text{табл}}$

$$F_{\text{изч}} = 2,18 \quad (2)$$

$$F_{\text{табл}} : 20:75 = 2,53 \quad 2,18 < 2,53 \quad (3)$$

Табл.2 Резултати за геометричните размери и форма на стопяване

№ опит	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b _{cp}	h _{cp}	h _{cp} /b _{cp}
1	160	2.3	30	3.0	5.15	5.3	5.1	6.5	5.51	2.57	0.46
2	120	2.3	30	3.0	2.55	2.3	2.1	1.85	2.2	0.26	0.12
3	160	0.9	30	3.0	6.3	6.8	6.4	7.5	6.75	5.04	0.75
4	120	0.9	30	3.0	4.2	4.3	4.9	4.9	4.58	2.38	0.52
5	160	2.3	10	3.0	5.8	5.8	5.1	5.1	5.45	3.17	0.58
6	120	2.3	10	3.0	3.4	3.4	3.6	4.0	3.6	1.53	0.43
7	160	0.9	10	3.0	7.7	6.8	6.55	7.6	7.16	5.36	0.75
8	120	0.9	10	3.0	5.3	4.6	4.4	5.0	4.83	2.65	0.55
9	160	2.3	30	1.0	6.0	5.3	5.25	6.2	5.69	3.87	0.68
10	120	2.3	30	1.0	4.5	4.6	5.3	5.2	4.9	2.87	0.59
11	160	0.9	30	1.0	7.05	7.6	6.6	6.7	6.99	6.53	0.93
12	120	0.9	30	1.0	5.75	5.65	6.25	6.4	6.01	5.01	0.83
13	160	2.3	10	1.0	5.5	5.65	5.4	5.2	5.44	3.15	0.58
14	120	2.3	10	1.0	4.6	4.1	4.3	4.7	4.42	2.82	0.64
15	160	0.9	10	1.0	6.8	6.7	7.5	7.4	7.1	5.86	0.83
16	120	0.9	10	1.0	5.95	5.9	5.4	5.0	5.56	3.76	0.68
17	160	1.6	20	2.0	5.75	6.0	6.5	6.3	6.14	3.83	0.62
18	120	1.6	20	2.0	4.6	5.3	4.4	5.0	4.83	2.61	0.54
19	140	2.3	20	2.0	4.8	5.2	4.85	5.4	5.06	2.58	0.51
20	140	0.9	20	2.0	6.15	6.8	6.8	5.9	6.41	5.4	0.84
21	140	1.6	30	2.0	6.6	5.4	5.0	5.4	5.6	2.84	0.51
22	140	1.6	10	2.0	5.3	5.7	5.2	5.2	5.35	3.39	0.63
23	140	1.6	20	3.0	5.5	4.8	5.15	4.8	5.06	2.59	0.51
24	140	1.6	20	1.0	5.5	6.1	5.9	5.3	5.7	3.82	0.67
25	140	1.6	20	2.0	4.8	5.1	5.7	6.15	5.44	3.01	0.55

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); b₁+b₄ – резултати на отклика от съответните опити; b_{cp} - средна стойност на широчината на стопяване (mm); h_{cp} - средна стойност на дълбочината на стопяване (mm); h_{cp}/b_{cp} – относителна дълбочина на стопяване.

Степента на влияние на отделните фактори при така избраните нива на вариране на параметрите на режима е определена въз основа големината на дисперсията на адекватност - S_{ад}, и е представена в табл.3.

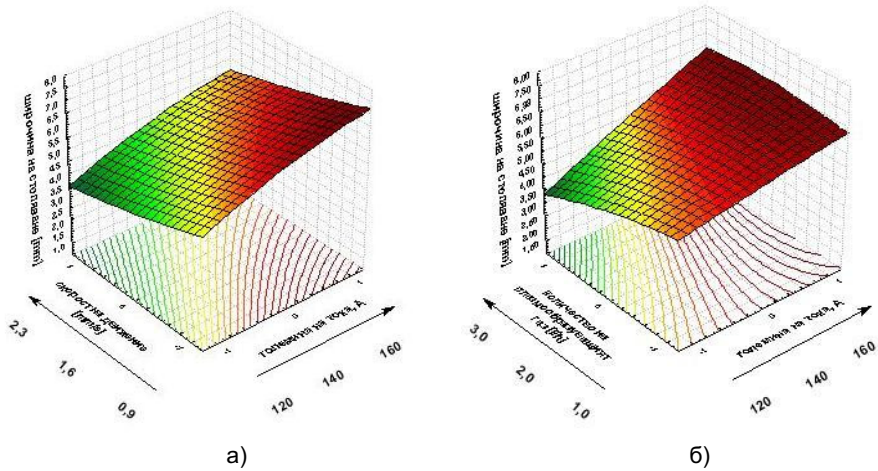
Табл.3 Степен на влияние на отделните фактори върху широчината на стопяване

№	Фактор	Дисперсия на адекватност S _{ад}
1.	Големина на тока	5.61
2.	Скорост на движение на разряда	4.23
3.	Количество плазмообразуващ газ	1.39
4.	Дължина на дъгата	0.41

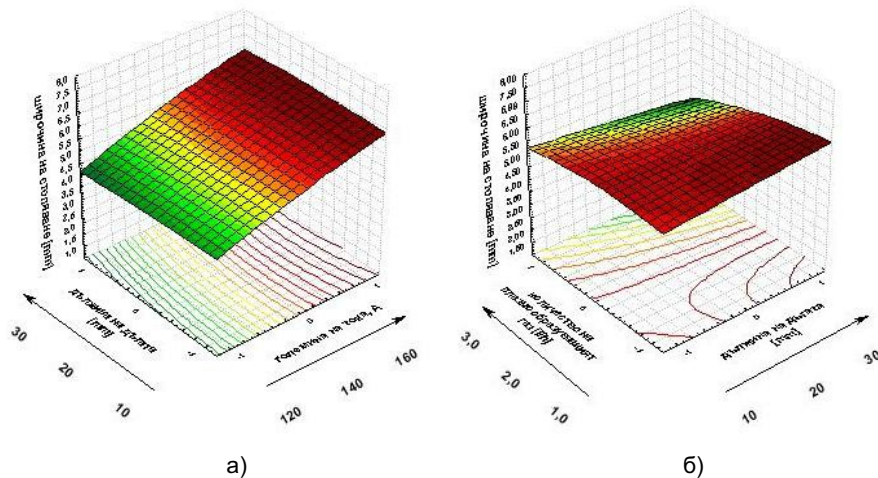
На фигурите по-долу са представени част от получените резултати за ширината и формата на стопяване изчертани чрез компютърната програма "STATISTICA 7".

Основно влияние върху широчината (фиг. 2 и 3) оказват параметрите: големината на тока и скорост на движение на разряда. Увеличаването на тока или понижаването на скоростта е свързано с нарастване на линейната енергия и съответно увеличаване на "b" и обратно.

При избора на режими на работа трябва да се има в предвид, че върху широчината макар и в по-малка степен влияят, както количеството плазмообразуващ газ, така и дължината на дъгата. Увеличаването на газа е свързано с намаляване плътността на топлинния поток и съответно широчината на стопяване. В сравнение с "h" [4], обаче тук промяната е в много по-малка степен.



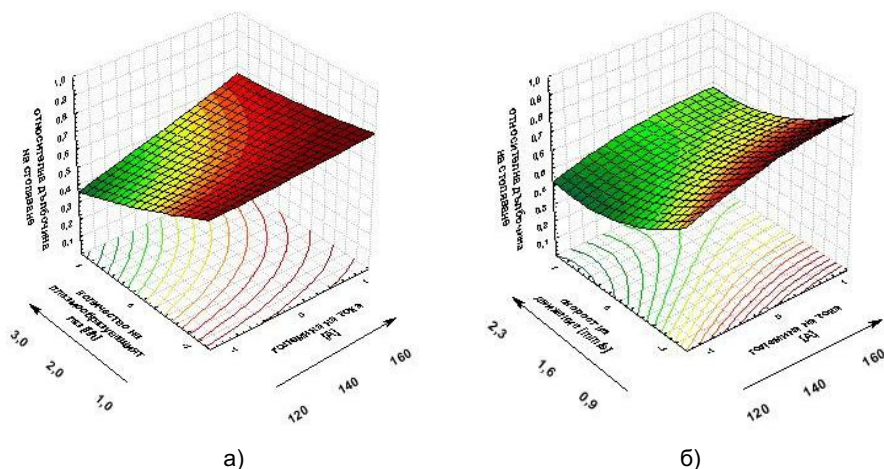
Фиг.2 Зависимост на широчината на стопяване от големината на тока и скоростта на движение (а) и от големината на тока и количеството плазмообразуващ газ (б)



Фиг.3 Зависимост на широчината на стопяване от големината на тока и дължината на дъгата (а) и от количеството плазмообразуващ газ и дължината на дъгата (б)

Увеличаването на дължината на дъгата е свързано с промяна на формата и – от цилиндрична към леко конична в долният и край. Резултатът е минимално нарастване на широчината на стопяване.

Що се отнася до формата на стопяване (фиг. 4), за преобладаващата част от експериментите съотношението h/b е в рамките $0,5 \div 0,85$. Минимална стойност ($h/b=0,12$) е получена при най-малките дълбочина и широчина на стопяване (използвани са максимални скорост на движение и количество плазмообразуващ газ и минимална големина на тока), а максимална ($h/b=0,93$) в случая, при който е налице най-голямата стойност на "h" (използвани са максимална големина на тока и минимални скорост на движение и количество плазмообразуващ газ).



Фиг.4 Зависимост на формата на стопяване от големината на тока и количеството плазмобразуващ газ (а) и от големината на тока и скоростта на движение (б)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От проведените експериментални изследвания е установено, че:

1. Основно влияние върху широчината на стопяване оказват параметрите - големината на използвания ток и скорост на движение на разряда. За разлика от тях плазмобразуващия газ и дължина на дъгата влияят в много по-малка степен.

2. "Относителната дълбочина на стопяване" при така избраните параметри на режима на работа се променя в рамките на $0,12 \pm 0,93$ и подобно на дълбочината и широчината на стопяване зависи основно от големината на използвания ток и скоростта на движение на разряда.

ЛИТЕРАТУРА

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

[2] Неровный В.М., Тепловые характеристики дугового разряда, применяемого для сварочных процессов в вакууме. - Сварочное производство, №2, 2002, 10-15с.

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

[4] Фердинандов Н., В. Добринов, Изследване влиянието на параметрите на режима на работа върху дълбочината на стопяване при използване на електродъгов разряд с кух катод във вакуум, Научни трудове на Русенския университет "Ангел Кънчев", 2010, под печат.

[5] Хазов Н.В., Неровный В.М., Сварка в космосе – Сварочное производство, №2, 2000, 46-47с.

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



РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „АНГЕЛ КЪНЧЕВ“
UNIVERSITY OF RUSE „ANGEL KANCHEV“

ДИПЛОМА

Програмният комитет на
Научната конференция RU&SU'10
награждава с КРИСТАЛЕН ПРИЗ
“THE BEST PAPER”

НИКОЛАЙ ФЕРДИНАНДОВ

автор на доклада

**“Изследване влиянието на параметрите
на режима на работа върху широчината
и формата на стопяване при използване
на електродъгов разряд с кух катод във вакуум”**

DIPLOMA

*The Programme Committee of
the Scientific Conference RU&SU'10
Awards the Crystal Prize
"THE BEST PAPER"*

to NIKOLAI FERDINANDOV
author of the paper

**“Research of the influence of the working regime
parameters on the weld width and the weld
shape using a hollow cathode arc in vacuum”**

РЕКТОР
RECTOR

проф. д-н Христо Белоев
Prof. DSc Hristo Beloev

30.10.2010