



Experimental Determination of the Static Characteristic of the Arc

Deyan GRADINAROV, Yuri BIJEV

Institute of Metal Science, Equipment and Technology with Hydroaerodynamic Center
at Bulgarian Academy of Sciences, 67 Shipchenski Prohod Street, 1574 Sofia, Bulgaria
e-mail: dgradinarov@ims.bas.bg, bijevu@abv.bg

Abstract

In the conditions of TIG welding, to determine the arc voltage at a set welding current, it is necessary to know the static characteristics of the welding arc. In the proposed study, the static characteristics of the welding arc in the TIG process are with different electrodes and determined experimentally. This dependence facilitates the use of methods for simulation modeling of welding processes, and the numerical results are processed and regression dependences are obtained.

Keywords: TIG welding, Static characteristic of welding arc

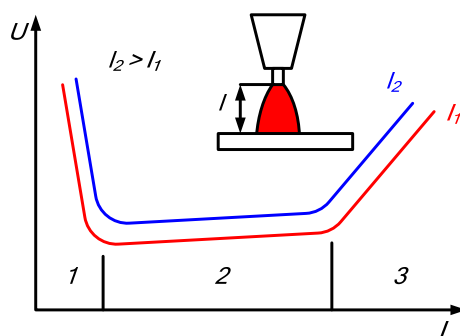
Експериментално определяне на статични характеристики на дъгата

Деян ГРАДИНАРОВ, Юри БИЖЕВ

1. Увод

Процесът на заваряване се използва в почти всяка област на човешката дейност, като непрекъснато се повишава нуждата от продуктите на заваръчните процеси. С повишаване на отговорността на заварените детайли се повишава и изискването към качеството на заваряване. Въпреки технологичните и физичните различия между различните заваръчни процеси и заваръчните им параметри, параметрите, които дават основната информация за протичащия заваръчен процес са заваръчните ток и напрежение, както и време на заваряване и почивка. Заваръчната дъга е форма на газов разряд с ниска степен на йонизация. Напрежението на дъгата има пет компонента – катодна зона, зона на катоден пад, плазма, зона на аноден пад и анодна зона. Статичната характеристика на дъгата е зависимостта на напрежението на дъгата спрямо големината на тока в установен режим при непроменени условия на съществуване на дъговия разряд. Съпротивлението на дъгата (и съответно падът на напрежение) се изменя в зависимост от температурата [1÷4], степента на йонизация, плътността на тока и др. Поради тази причина то не е постоянна величина. По този начин законът на Ом не се прилага за заваръчната дъга. На фиг.1 са показани статичните характеристики на дъгата. При нисък ток [2] (област 1 на дъгата), когато токът се увеличава, напрежението на дъгата намалява. Това се дължи на интензивното увеличаване на броя на заредените частици в дъгата в резултат на увеличаване на излъчвателната способност на катода с повишаване на температурата му (уравнение на Ричардсън). Във втората зона на дъгата характеристиката е почти хоризонтална, което се обяснява от една страна със затрудненото протичане на йонизационните процеси в дъговия стълб, а от друга със забавянето на нарастването на емисията на електрони [5÷7]. В третата област на дъгата тези процеси са толкова затруднени, че характеристиката на дъгата става нарастваща – повишаването на температурите не е достатъчно, за да компенсира свиването на дъгата от нейното собствено магнитно поле. В тази част от характеристиката на дъгата се

прилага законът на Ом. С увеличаване на дължината на дъгата напрежението, необходимо за постигане на даден ток, се увеличава.



Фигура 1. Статични характеристики на заваръчната дъга

Работата на източници на заваръчен ток, изпълняващи различни технологични процеси, се основава главно на познаването на статичните характеристики на дъгата. При РЕДЗ, ВИГ и подфлюсово заваряване с ниска плътност на тока, заваряването се извършва във втората зона на дъговата характеристика с вертикална или рязко падаща статична външна характеристика на източника на ток – големината на тока се стабилизира. МИГ/МАГ и подфлюсово заваряване с висока плътност на тока работят в третата област на характеристиката на дъгата с твърда (леко спадаща) характеристика на източника на ток и използване на процеса на саморегулиране на дъгата.

В настоящата публикация е направен преглед на експерименталното конструиране на статичната характеристика на дъгата при ВИГ заваръчния процес.

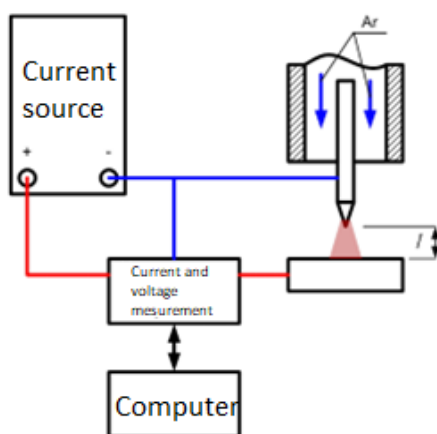
2. Експериментална постановка

За целите на това изследване бяха проведени експерименти в съответствие със класическата схема [8,9], Използваният източник на заваръчен ток предназначен за ВИГ заваряване, с възможност за настройка на големината на тока със стъпка 1 [A]. По време на процеса се визуализират стойностите на заваръчния ток и напрежението. След изключване на източника на захранване показаните стойности се запаметяват. В допълнение, токоизточникът осигурява плавно увеличаване на тока при запалване на дъгата и плавно намаляване при прекратяване на процеса. Максималният заваръчен ток на захранващия източник е 200[A]. Заваръчната горелка беше поставена неподвижно и дължината на дъгата $l = 2,4$ [mm] беше една и съща при всички проведени експерименти. Дъгата се запалва върху плоча с размери 6x350x120 [mm]. Защитният газ (Ar) има дебит 15 [l/min]. По време на процеса на изгаряне на дъгата, моментните стойности на тока и напрежението се записват с помощта на монитор за заваръчен процес Arc Tracker. Данните се предават и записват в реално време на преносим компютър, на който е инсталиран софтуерът Power Wave Manager. Този софтуер позволява параметрите на заваряване да се наблюдават и съхраняват в реално време. Данните се предават в реално време и по интернет чрез софтуерния продукт Team Viewer до отдалечен компютър, където се визуализират и съхраняват. Използваните електроди са посочени в таблица 1. Ъгълът на заточване на електродите е 15°.

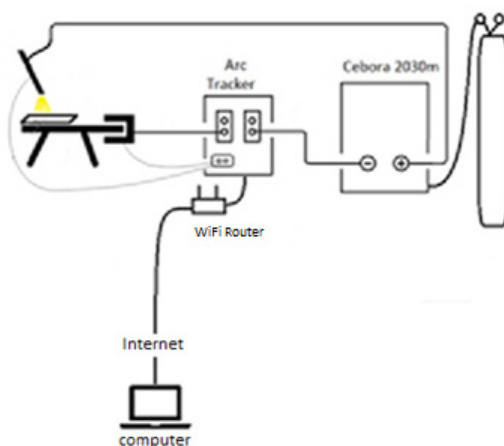
Таблица 1. Използвани електроди

№	d, mm	Състав	Цвят
1	2.4	W+1.4±1.6% La	Gold
2	2.4	100% W	Green

Експериментите бяха проведени както следва. Големината на тока се задава, като в диапазона от 20 до 100[A] изменението е на 5[A] стъпки, а в диапазона от 100 до 200[A] – на 10[A] стъпки. Започва запис на стойностите на тока и напрежението на дъгата. Заваръчната дъга се запалва. След преминаване към установения режим на работа се отчитат стойностите на източника на ток. Продължителността на горене на дъгата за един запис е $8 \div 20$ [s]. След изключване на дъгата и прекратяване на процеса, записът на данни се спира (автоматично). Процедурата се повтаря за зададените токове с четирите различни електрода. Никой друг параметър не се променя по време на експеримента (напрежението на дъгата се променя от източника на ток, за да се постигне зададеният ток). Паузата между отделните експерименти е такава, че продължителността на запалената дъга да не надвишава 35%.



Фигура 2. Схема за провеждане на експеримента



Фигура 3. Опитна постановка.

3. Получени резултати

От заснетите параметри са направени графики на зависимостта на заваръчното напрежение и ток от времето (в таблица 2 са показани резултати за електрод №1 и електрод №2). Времевият интервал на установен процес се определя от тези графики. В рамките на този интервал от време се определят средните стойности на тока и напрежението на дъгата. Получените резултати са показани в Таблица 3.

Таблица 2. Примерни записи на записаните заваръчни напрежения и токове

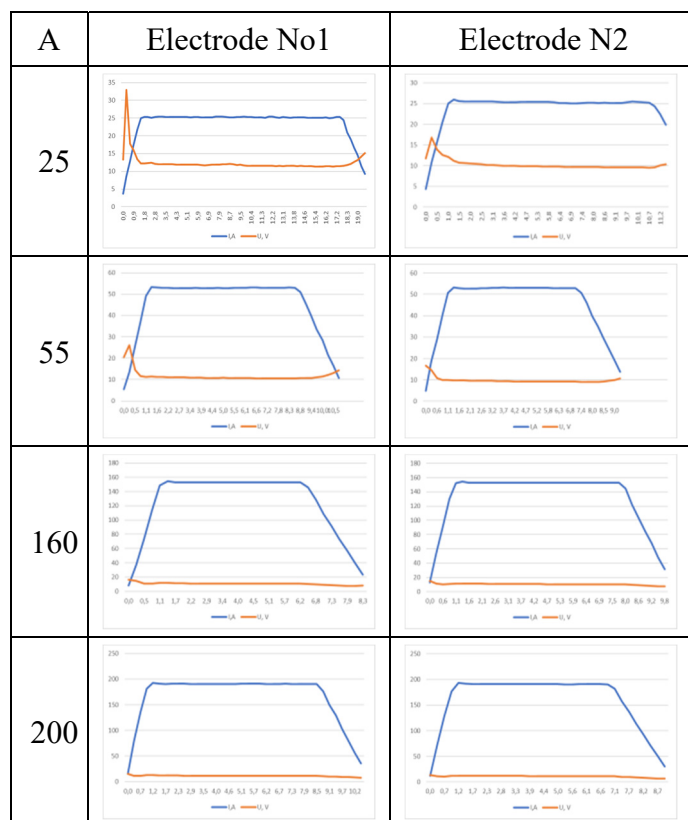


Таблица 3. Експериментални резултати за електрод №1 и електрод №2

Електрод 1					Електрод 2				
Заваръчен ток, А			Заваръчно напрежение, V		Заваръчен ток, А			Заваръчно напрежение, V	
Set	Delivered	Measured	Delivered	Measured	Set	Delivered	Measured	Delivered	Measured
20	21	20.1	12.5	11.8	20	21	20.9	10.4	10.3
25	25	25.2	11.45	11.7	25	25	25.3	9.8	10
30	30	30.3	11.25	11.6	30	30	30.5	9.7	9.7
35	35	34.9	11.45	11.6	35	35	34.7	9.7	9.5
40	39	39.4	11.2	11.3	40	39	39	9.4	9.2
45	44	44.0	10.5	10.6	45	44	44.3	9.3	9.3
50	49	48.5	10.4	10.5	50	49	48.6	9.4	9.3
55	54	52.9	10.6	10.4	55	53	53	9.4	9.3
60	58	58.1	10.5	10.2	60	58	58.1	9.4	9.2
65	62	62.3	10.5	10.2	65	62	62.5	9.2	9.2
70	68	67.7	10.5	10.1	70	67	67	9.2	9.1
75	72	72.7	10.45	10	75	72	72.3	9.1	9.2
80	77	76.7	10.3	9.9	80	55	76.7	9.1	9.2
85	82	80.8	10.4	9.8	85	81	81.1	9.1	9.3

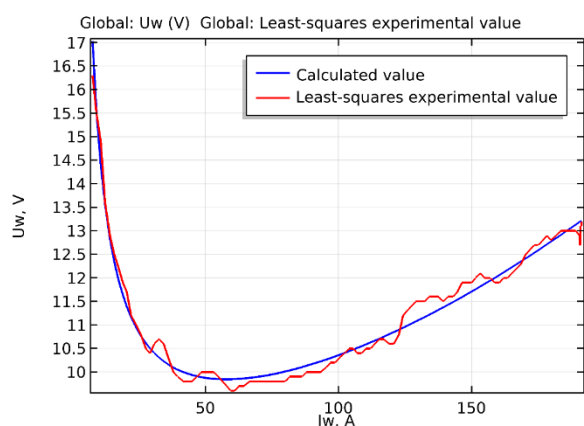
90	86	86.1	10.4	9.9	90	86	86.3	9.1	9.3
95	92	90.8	10.3	9.8	95	90	90.4	9.1	9.3
100	97	96.5	10.25	9.8	100	96	95.6	9.4	9.5
110	106	104.9	9.7	9.9	110	106	105.6	9.5	9.7
120	115	115.1	10.0	10.1	120	115	115.4	10.0	10.1
130	125	124.9	10.25	10.2	130	125	124.9	10.4	10.3
140	134	133.6	10.3	10.4	140	134	133.8	10.5	10.4
150	143	143.1	10.7	10.7	150	143	143.2	10.5	10.5
160	153	152.9	11.1	11.1	160	153	152.7	10.7	10.7
170	162	161.8	11.15	11.1	170	162	161.6	11.1	11.2
180	172	171.3	11.2	11.2	180	171	171.4	11.3	11.4
190	181	181.1	11.6	11.5	190	181	181.1	11.4	11.5
200	191	190.8	11.5	11.6	200	191	190.8	11.7	11.6

Статичните характеристики за използваните електроди са изградени на базата на получените данни от експерименталния процес. Експерименталните данни за статичните характеристики на заваръчната дъга са обработени по метода на най-малките квадрати и са получени съответните регресионни уравнения. Използваният тип уравнение е:

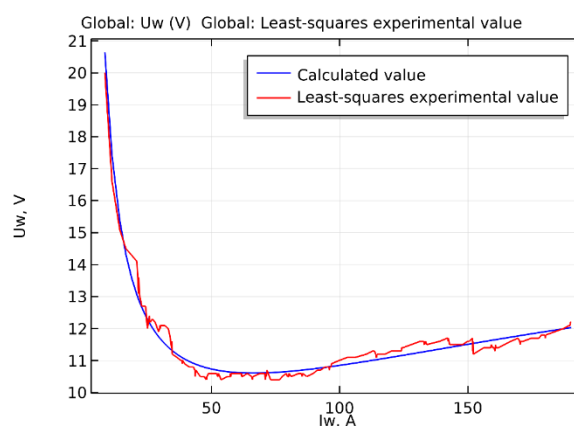
$$U_w = \frac{B}{I_w} + C_0 + C_1 I_w + C_2 I_w^2 \quad (1)$$

Резултатите са илюстрирани на Фигури 3-6. Тази зависимост улеснява използването на методи за симулационно моделиране на заваръчни процеси.. Тези резултати показват, че по време на проведените експерименти параметрите на процеса са били такива, че заваръчната дъга се е появила в първата и втората част на нейната характеристика. Освен това може да се види, че заваръчната дъга гори стабилно и в първата част на своята характеристика.

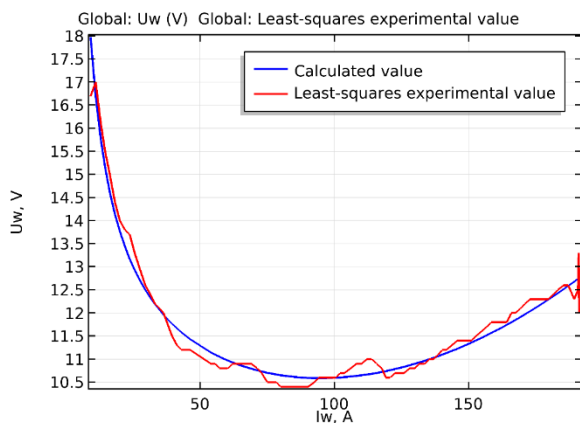
Експериментално изградените статични характеристики на заваръчната дъга съответстват на нейното качествено представяне, показано на фигура 1.



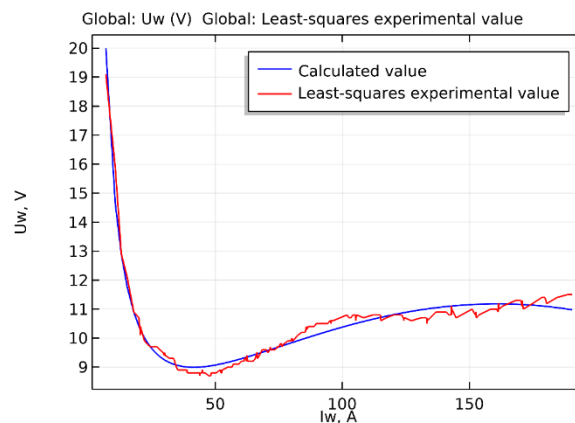
Фигура 3. Статични характеристики – Електрод №1 (W + 1.4÷1.6% La) при намаляване на заваръчния ток от 200А до 20А.



Фигура 4. Статични характеристики – Електрод №1 (W + 1.4÷1.6% La) при увеличаване на заваръчния ток от 20А до 200А.



Фигура 5. Статични характеристики – Електрод №2 (100% W) при намаляване на заваръчния ток от 200А до 20А.



Фигура 6. Статични характеристики – Електрод 2 (100% W) при увеличаване на заваръчния ток от 20А до 200А.

4. Изводи

Налични са възможности за оптимизиране и усъвършенстване на заваръчните процеси чрез апаратите за следене на параметрите по отношение на тяхната вариативност и комбинативността. Определянето на статичната характеристика на дъгата при ВИГ заваръчен процес може успешно да се извършено през интернет на отдалечен компютър, чрез измерване на заваръчните процеси със система за наблюдение на заваряването в реално време.

Експериментално изградените статични характеристики на заваръчната дъга съответстват на нейното качествено представяне в класическите модели. Установи се, че в рамките на проведените експерименти втората част от характеристиката на дъгата не е значително изразена.

По-нататъшни проучвания ще определят и попълнят базата данни за статичната характеристика на дъгата в процеса на заваряване ВИГ с различни електроди, вариращи както по химически състав, така и по диаметър.

Благодарности:

Тези изследвания станаха възможни благодарение на проект КП-06-Н37/31/19.12.2019, финансиран от ФНИ.

References

1. Álisson Fernandes da Rosa, Felipe Batista, Victor Igor Barbare Lemos, Régis Henrique Gonçalves e Silva. Experimental Analysis on the Performance of SMA Welding Electrodes. 26th ABCM International Congress of Mechanical Engineering, November 22-26, 2021. Florianópolis, SC, Brazil.
2. Wooho Kim, Yong-Jung Kim and Hyosung Kim. Arc Voltage and Current Characteristics in Low-Voltage Direct Current. *Energies* 2018, 11, 2511; doi:10.3390/en11102511, <https://www.mdpi.com/journal/energies>
3. Antoni Sawicki. Static Characteristics of Defined Ignition Voltage Used in the Modelling of Arc within a Wide Range of Current Excitation. *Bulletin of the Institute of Welding, Biuletyn Instytutu Spawalnictwa*, ISSN 2300-1674

4. Li, Y., Yang, J.C., Liu, Z. Welding performance of tungsten electrodes with different contents of rare earth oxides. (2015) *Materials Science Forum*, 814, pp. 631-635. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.814.631
5. Wang, R., Xue, J. Study on arc length stability of pulsed MIG welding based on average output characteristics of pulse cycle. (2012) *Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Mechanical Engineering*, 48 (10), pp. 50-55, DOI: 10.3901/JME.2012.10.050
6. Zhou, C.-F., Jiao, X.-D., Xue, L., Chen, J.-Q., Wang, Z.-H., Lu, T., Fang, X.-M. Arc static characteristics of gas tungsten arc welding under high air ambient pressure. (2008) *Shiyou Huagong Gaodeng Xuexiao Xuebao/Journal of Petrochemical Universities*, 21 (1), pp. 66-69.
7. Martínez, A., Blasco, N., Pérez, F.J., Vicuña, J.E., Lacámara, I., Oliva, J.A. Static output characteristic of a peak current controlled arc welding machine. (2006) *Midwest Symposium on Circuits and Systems*, 1, art. no. 4267220, pp. 636-639. DOI: 10.1109/MWSCAS.2006.382143W.-K. Chen, *Linear Networks and Systems*. Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123-135.
8. Deyan Gradinarov, Set up for real time capturing of welding parameters (2021), *Proceedings of the VI International Scientific Conference Winter Session*. Volume 2, 259-260
9. Tongov M., Gradinarov D., Tashev P., Experimental Determination of Static Characteristic of Welding Arc in TIG Welding (2022), *Bulgarian Society for NDT International Journal "NDT Days"*, Volume V, Issue 3, Year 2022, pp.152-160