

# ИЗСЛЕДВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА ВИГ ЗАВАРЯВАНЕ ПРИ НЕРЪЖДАЕМА СТОМАНА AISI 304 ВЪРХУ ЯКОСТТА НА ОПЪН

СЪБИ СЪБЕВ, СЕВДЕЛИНА ДЖОКОВА

Технически Университет София, Филиал Пловдив, "ПОИБАР 2017" ЕООД  
sabi\_sabev@tu-plovdiv.bg, sesidjokova@gmail.com

**Резюме:** Статията е с експериментален характер за заваряване на AISI 304 чрез ВИГ метод. Направено е планиране на експеримента по метода на централно композиционен план и реализирани 13 опита. Образци са с размери 100x40x4 мм изпитани са с машина за опън-натиск. Направена е статистическа обработка и е получена регресионна зависимост между силата на тока и разстоянието между шините.

**Ключови думи:** ВИГ, якост на опън, регресионен модел, AISI 304

## INVESTIGATION OF TIG WELDING PARAMETERS OF AISI 304 STAINLESS STEEL ON TENSILE STRENGTH

SABI SABEV, SEVDELINA DZHOKOVA

Technical University – Sofia, Branch Plovdiv, "POIBAR-2017" Ltd  
sabi\_sabev@tu-plovdiv.bg, sesidjokova@gmail.com

**Abstract:** The article is of an experimental nature for welding stainless steel AISI 304 by TIG method. The experiment was planned according to the central composition plan method and 13 experiments were carried out. Samples with dimensions of 100x40x4 mm were tested with a tension-compression machine. Statistical processing was performed and a regression relationship was obtained between the amperage and the distance between strips.

**Key words:** TIG welding, tensile strength, regression model, AISI 304

### 1. Въведение

Благодарение на широката гама от полезни качества термична, киселинна и корозионна устойчивост неръждаемата стомана AISI 304 стана изключително популярна сред производителите на метални изделия за различни цели. Материалът реагира добре на машинна обработка, огъване и формоване. При заваряване тънките срезове не изискват отгряване. Следователно, този вид стомана се използва за производството на различни компоненти като:

➤ Оборудване за хранително-вкусовата промишленост, производство на алкохол, съхранение и преработка на млечни продукти.

➤ Хранителни неръждаеми тръби.

➤ Термоустойчиви съдове (купи, тигани, саксии), кухненски уреди, прибори за хранене

(вилници, лъжици, ножове и др.), Оборудване за кетъринг.

➤ Хладилно оборудване.

➤ Оборудване, възли и възли за предприятия от химическата, фармацевтичната, козметичната промишленост.

➤ Теплообменници.

Тръбата от AISI 304 е много добре заваряема, което позволява да се използва широко при производството на заварени конструкции (резервоари и др.), както и за производство на електрозаварени тръби от тази неръждаема стомана. Най-много като обем стомана от този клас се използва в нефтохимията поради неговата устойчивост на агресивни среди.

Йорданов и колектив са изследвали експериментално влиянието на топлинните процеси при ВИГ заваряване на тънки медни

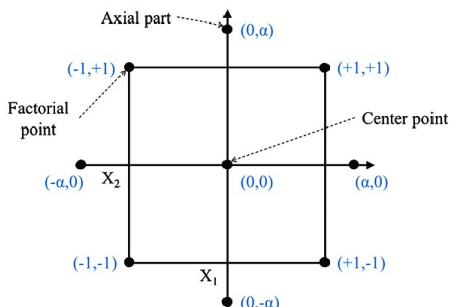
пластини, с размери: 100x15x1,2mm. [1] Те също изследват и установяват, какви са крайните остатъчни напрежения формирани след ВИГ заваряване на детайли от тънкостенна листовка мед.

Има много изследвания в направление свързано с оценката на опасността от появата на пукнатини или разрушаване при тези аустенитни неръждаеми стомани, [2-9].

Заварените конструкции от аустенитни стомани са изложени на действието на различни агресивни среди. Корозионното поведение на аустенитните Cr-Ni стомани и съединения, заварени по метод ВИГ, е предмет на обстояитни изследвания, [10-14].

## 2. Методика на изследването

Използвания метал в експеримента е стомана AISI 304 (X5CrNi 18-8, 1.4301) по EN 10088-2 с химически състав: 0.05 % C, 0.42 % Si, 1.61 % Mn, 0.003 % S, 0.027 % P, 18.1 % Cr, 8.1 % Ni. Използвани са образци с размери 100x40x4 mm. Използван е метод ВИГ и защитна среда от двукомпонентна смес, съдържаща 98% аргон и 2% водород. Добавъчния материал е марка AISI 308L с диаметър 2.5 mm.



Фиг. 1. Централно композиционния план

Таблица 1. План на експеримента

Run	A	$\delta$	A	$\delta$
1	-1.00	-1.00	66	0.6
2	-1.00	1.00	66	3.4
3	1.00	1.00	94	3.4
4	0.00	0.00	80	2.0
5	0.00	-1.41	80	0.0
6	1.41	0.00	100	2.0
7	0.00	0.00	80	2.0
8	1.00	-1.00	94	0.6
9	-1.41	0.00	60	2.0
10	0.00	1.41	80	4.0
11	0.00	0.00	80	2.0
12	0.00	0.00	80	2.0
13	0.00	0.00	80	2.0

Направено е планиране на експеримента. Използване е централно композиционен план. Този план, съдържа вграден факторен или фракционен факторен план с централни точки, който е допълнен с група „звездни точки“, които позволяват оценка на кривината. Ако разстоянието от центъра на проектного пространство до факторната точка  $\pm 1$  за всеки фактор, разстоянието от центъра на проектного пространство до звездна точка е  $|\alpha|=1.41$ , както е показано на фиг.1.

Получения план на експеримента е направен с помощта на Minitab, табл. 1. Стойността на  $\alpha$  при това планиране за два фактора е 1.41 и са получени общо 13 опита, като в центъра на куба са избрани 5 опита. Минималните и максималните стойности на контролираните фактори са, както следва:

- Силата на тока A – изследваните нива са 60A до 100A
- Разстояние между планките  $\delta$  – изследваните нива са 0mm до 4mm

Образците се изпитват на опън с помощта на стандартен стенд за опън натиск. Схема на опитната постановка е показана на фиг.2.



Фиг. 1. Схема на опитната постановка

Опитния образец след заваряване е показани на фиг.3. На заваръчния шеф е направена ръчна механична обработка фиг.4.



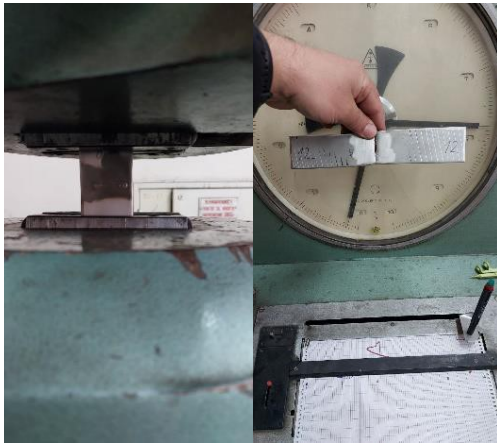
Фиг. 2. Опитен образец



Фиг. 3. Опитен образец след обработка

### 3. Експериментални резултати

По време на експеримента пробното тяло се закрепва в челостите на машината, след което двигателят се включва и се задвижва едната челост така, разстоянието между челостите се увеличава до скъсване на образца фиг.5.



Фиг. 4. Закрепване на образца и отчетена стойност

След провеждане на експеримента резултатите за максималната сила на опън са представени в табличен вид таб.2.

Таблица 2. Експериментални резултати

№	A [A]	$\delta$ [mm]	F [t]	Rm [Pa]
1	66	0.6	5.35	3.28E+05
2	66	3.4	8.70	5.33E+05
3	94	3.4	9.05	5.55E+05
4	80	2.0	7.10	4.35E+05
5	80	0.0	4.60	2.82E+05
6	100	2.0	8.30	5.09E+05
7	80	2.0	6.35	3.89E+05
8	94	0.6	6.70	4.11E+05
9	60	2.0	7.10	4.35E+05
10	80	4.0	8.20	5.03E+05
11	80	2.0	6.45	3.95E+05
12	80	2.0	7.80	4.78E+05
13	80	2.0	8.32	5.10E+05

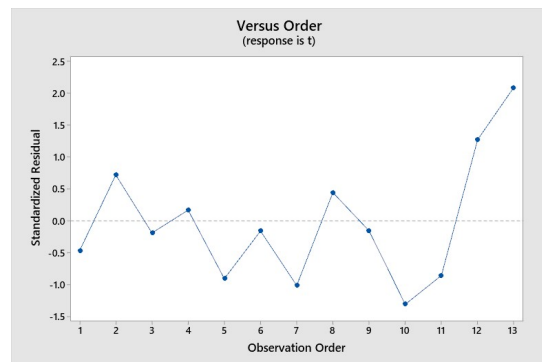
Математико-статистическата обработка е извършена с програмния продукт MINITAB. Данните от табл.2 са обработени и е получен следният регресионен модел:

$$F = 15.08 + 0.954 \delta - 0.280 A + 0.00194 A * A \quad (1)$$

Изчислен е коефициентът на детерминация  $R^2 = 80,4\%$ , а коригираният коефициент на детерминация  $R_{adj}^2 = 73,9\%$ , таб.3.

Таблица 3. Параметри на модела

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
0.68	80.4%	73.9%	6.78	0.68	40.65	34.90



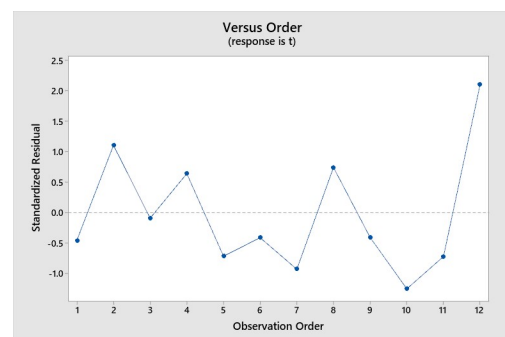
Фиг. 5. Стандартизирани остатъци

Анализът на остатъците се извършва с помощта на графиките за стандартизираните остатъци фиг. 6. Стойностите на стандартизираните остатъци трябва да са в интервала  $\pm 2$ . Ясно се вижда наличието на стойност по-голяма от 2, това е образец 13. Направена е отново обработка на останалите резултати получените резултати са дадени по долу.

$$F = 19.13 + 0.954 \delta - 0.386 A + 0.00260 A * A \quad (2)$$

Таблица 4. Параметри на модела

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
0.52	89.28%	85.26%	3.94361	80.22%	33.4	25.78



Фиг. 6. Стандартизирани остатъци

На новия анализът на стандартизираните остатъци е представен на фиг. 7. Тук също се вижда ясно наличието на стойност по-голяма от 2, това е образец 12. Премахнат е и той и отново са обработени останалите резултати.

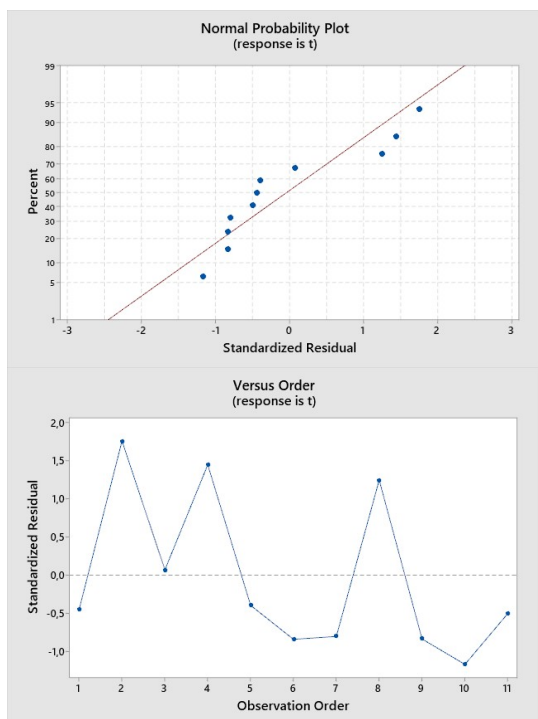
$$F = 22.73 + 0.9538\delta - 0.481A + 0.003191A * A \quad (3)$$

Таблица 5. Параметри на модела

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
0.37	95.12%	93.03%	2.339	87.98%	26.3	16.3

Таблица 6. Коефициенти на модела

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	18.5168	95.12%	18.5168	6.1723	45.5	0
$\delta$	1	14.5562	74.78%	14.5562	14.5562	107.3	0
A	1	1.4425	7.41%	2.2173	2.2173	16.35	0.005
A*A	1	2.5181	12.94%	2.5181	2.5181	18.56	0.004
Error	7	0.9496	4.88%	0.9496	0.1357		
Lack-of-Fit	5	0.6179	3.17%	0.6179	0.1236	0.75	0.658
Pure Error	2	0.3317	1.70%	0.3317	0.1658		
Total	10	19.4664	100.00%				



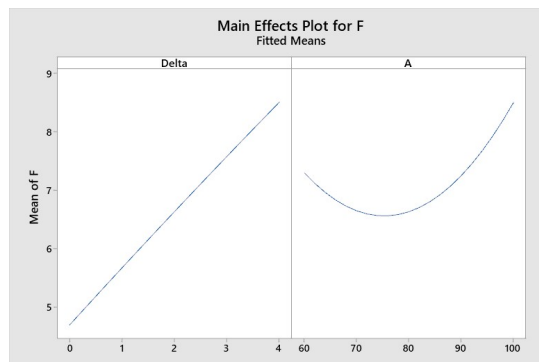
Фиг. 7. Стандартизирани остатъци

F - стойност на разпределението на Фишер, използвана за проверка на значимостта на коефициента на множествена корелация.

R - коефициентът на множествена корелация. Коефициентът на множествена корелация е незначим ако  $P > \alpha (\alpha = 0.05)$ . От

анализа на променливите се вижда, че R стойностите са под 0,005 и са значим.

Анализирано е, с помощта на MINITAB, влиянието на силата на тока и разстоянието между шините върху силата на опън, фиг. 8.



Фиг. 8. Влияние на компонентите

#### 4. Анализ на получените резултати

От проведените експериментални резултати и обработката им се налагат следните изводи:

- Получен е адекватен регресионен модел описващ връзката между режимите на заваряване и силата на опън.
- Установено е наличието на 2 груби грешки породени от случайни смущения.
- От направения регресионен анализ фактура сила A на тока влияе около 20%, а разстоянието  $\delta$  около 75% върху целевата функция.
- От фиг.8 също се вижда, че най-голямо влияние върху силата на опън указва разстоянието между шините.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Zlateva, Penka & Yordanov, Krastin & Stoyanova, Aneliya & Antonov, George. (2014). Теоретико-експериментално изследване на топлинните процеси при ВИГ (141) “NDT days 2014”/“Дни на безразрушителния контрол 2014”At: Sozopol/Volume: Number/ Брой 1 (150)
2. Antonov, George & Argirov, Jaroslav & Stoyanova, Aneliya & Yordanov, Krastin. (2014). Анализ на напрегнатото състояние при заваряване на медни пластини. “NDT days 2014”/“Дни на безразрушителния контрол 2014”At: Sozopol/Volume: Number/ Брой 1 (150)
3. Gill, Jagwinderjit & Jolly, Sukhwinder & Kalra, Charanjit Singh. (2018). Comparative Analysis for welding of dissimilar metal

- Monel 400 and AISI 304 by TIG welding and LASER welding.
4. Gowda, D. & Ranjith, K. & Rishi, J. & Bharath, P. & Krishna, N.. (2022). Comparative study on weld quality characteristics of SS 316L and IS 2062E250A dissimilar materials in tig welding. AIP Conference Proceedings. 2469. 020024. 10.1063/5.0080802.
  5. V. Bansoda, A.P. Patilb, J. Verma, S. Shuklab, Microstructure, mechanical and electrochemical evaluation of dissimilar low Ni SS and 304 SS using different filler materials, Mater. Res. 22 (1) (2019), <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2017-0203> e20170203.
  6. Mahajan, Aishna & Singh, Harvinder & Kumar, Satish & Kumar, Santosh. (2021). Mechanical properties assessment of TIG welded SS 304 joints. Materials Today: Proceedings. 56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.133>
  7. Anbu, Ramakrishnan & Rameshkumar, Thirupathi & G, Rajamurugan & G., Sundarraju & D., Selvamuthukumaran. (2021). Experimental investigation on mechanical properties of TIG welded dissimilar AISI 304 and AISI 316 stainless steel using 308 filler rod. Materials Today: Proceedings. 45. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.50>
  8. Ямболиев, Теофил, Елена Хорозова, and Нина Димчева. "Изследване на устойчивостта срещу корозия на ВИГ съединения, заварени с постоянен и импулсен ток, от аустенитна стомана 1.4301 (AISI 304)."
  9. Ямболиев, Теофил, and Златка Евдокимова. "Влияние на режима на заваряване по методи ВИГ и импулсен ВИГ върху структурата на съединения от аустенитна стомана 1.4541."
  10. Chen, S. H., et al. "Hydrogen sulphide stress corrosion cracking of TIG and laser welded 304 stainless steel." Corrosion science 36.12 (1994): 2029-2041.
  11. Alcantara, Amanda Silveira, et al. "Corrosion resistance of TIG welded joints of stainless steels." Materials Science Forum. Vol. 885. Trans Tech Publications Ltd, 2017.
  12. Moon, Kyung-Man, et al. "Electrochemical Evaluation of Corrosion Property of Welding Zone of 304 Stainless Steel." Journal of Ocean Engineering and Technology 23.4 (2009): 58-63.
  13. Xu, Ji-Jin, et al. "Comparison of the stress corrosion cracking behaviour of AISI 304 pipes welded by TIG and LBW." *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)* 34 (2021): 579-589.
  14. Cárceles-Carrasco, Francisco-Javier, et al. "Pitting corrosion in AISI 304 rolled stainless steel welding at different deformation levels." *Applied Sciences* 9.16 (2019): 3265.