

METHODOLOGY FOR STUDYING THE DEFORMATIONS OF WELD JOINTS USING THE COORDINATE GRID METHOD¹⁰

Assoc. Prof. Roussi Minev Minev, PhD

Department of Materials Science and Technology,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: +359 82 888 315
E-mail: rus@uni-ruse.bg

Sasho Stilianov Iliev, MEng

Department of Materials Science and Technology,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: +359 82 888 315
E-mail: siliev@uni-ruse.bg

Ekaterin Minev Minev, PhD, MEng

Department of Information Technology,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: +359 82 888 311
E-mail: eminev@uni-ruse.bg

Nikolay Vasilev Ferdinandov, PhD, MEng

Department of Information Technology,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: +359 82 888 311
E-mail: nferdinandov@uni-ruse.bg

***Abstract:** The report presents a methodology for studying the deformations in welded plates for the comparative analysis of different process capabilities (e.g. welding in a protective gas environment, pulse welding, etc.). An adapted method of coordinate grids is used which allows a more detailed study of the deformations distribution in the heat affected zone and in the more distant parts of the welded joint. Initial results are presented and the applicability of the methodology is analysed.*

***Keywords:** Welding technology, Grid method*

ВЪВЕДЕНИЕ

Заваряването е един от най-широко използваните технологични процеси в промишлеността за получаването на монолитни неразглобяеми съединения. Липсата на квалифициран персонал и същевременно развитието на технологиите покачват и изискванията, като малки деформации, високо качество на повърхнините и други, към заварените конструкции. Това води до развитие на заваръчната техника. Все повече навлизат в производствените предприятия инверторни заваръчни токоизточници с импулсни функции, които покриващи всички съвременни изисквания. [1]

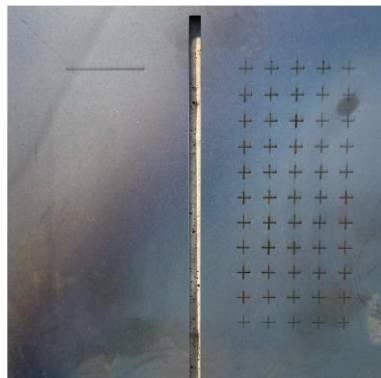
Обект на доклада е да се направи изследване на деформациите чрез координатни мрежи при заваряване с конвенционални и инверторни токоизточници, заварявайки една от най-разпространените видове стомана в областа на общото строителство и машиностроенето.

¹⁰ Докладът е представен на научната конференция на РУ и СУ 2021 с оригинално заглавие на български език: МЕТОДОЛОГИЯ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ ДЕФОРМАЦИИТЕ НА ЗАВАРЕНИ СЪЕДИНЕНИЯ ЧРЕЗ КООРДИНАТНИ МРЕЖИ

ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Изследване деформациите на заварени съединения с използване на метода на координатните мрежи

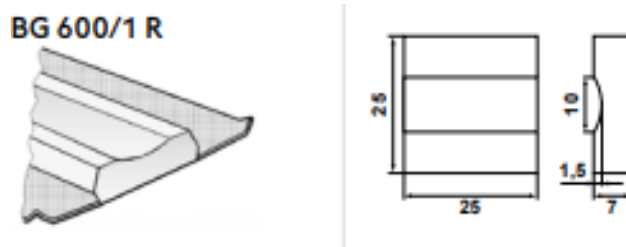
Като обект на експеримента използваме пробни тела от най-често използваната в машиностроенето въглеродна нелегирана стомана марка S235JR, EN 10025-2. Габаритни размери на пробните тела 150x154 mm с дебелина 3 mm и въздушна междина 4 mm. Пробните тела са лазерно разкроени за гарантиране на висока точност, както и влагане на по-малко топлина и деформации при получаването им. Едновременно с разкроя на тях се гравира и координатна мрежа за гарантиране на нейната точност (Фиг. 1).



Фиг. 1 Общ изглед на пробното тяло с маркираната координатна мрежа

1.1 Експериментална част

1. Добавъчен материал, съобразен с основния метал: тел плътна SG2 ER70S-6, Ø0,8 mm
2. Защитен газ: група M21, смес 18% CO₂ и 82% Ar
3. Дебит на защитния газ: 14 l/min
4. Керамична подложка (Фиг. 2):



Фиг. 2 Керамична подложка използвана при заваряване на пробите

Пробите са заварени с два вида заваръчни токоизточници (А) инверторен двойноимпулсен апарат Neubelon Joint 400DP (Таблица 1) и (Б) конвенционален трансформаторен REDCO EUROMIG 350 (Таблица 2). Те са аналогични на най-разпространените токоизточници в индустриалните производства.

JOINT PULSED е многопроцесорен напълно дигитален токоизточник. Управлението контролира заваръчния ток между основен (с висока топлина) и фонов (с ниска топлина) ток. Това осигурява по-добър контрол на входящата температура, което минимизира изкривяването и изгарянето на тънките материали. 20KHz IGBT инверторна технология. Безстепенен контрол на скоростта на подаване на тел позволява на потребителя да регулира точно напрежението и тока. Заваряване без пръски - за всеки ток импулс се отделя една капка допълнителен материал. [2]

EUROMIG 350 е конвенционален трансформаторен токоизточник само за МИГ-МАГ заваряване. Регулирането на заваръчните параметри е степенно чрез пакетно галетни превключватели, чрез тях се включват комбинации от различни намотки на трансформатора. Заваръчния ток е постоянен. Безстепенно се регулира единствено скоростта на телоподаване. [3]

Таблица 1 Технически характеристики на заваръчната технология (А)

Ел. захранване	3 x 380 V
Заваръчен ток	25 - 400 A
Напрежение на празен ход	15.5 - 34 V
Степени за регулиране на напрежението	безстепенно
Режим на натоварване (ПВ) (Работен цикъл 10 мин.)	400 A 40%; 360 A 60%; 320 A 100%
Клас на защита	IP 23 S
Габаритни размери	1050 x 570 x 1080 mm
Тегло	100 kg

Таблица 2 Технически характеристики на заваръчната технология (Б)

Технически характеристики	
Ел. захранване	3 x 380 V
Заваръчен ток	60 - 350 A
Напрежение на празен ход	17 - 42 V
Степени за регулиране на напрежението	28
Режим на натоварване (ПВ) (Работен цикъл 10 мин.)	350 A 40%; 290 A 60%; 220 A 100%
Клас на защита	IP 23 S
Габаритни размери	420 x 1030 x 770 mm
Тегло	115 kg

Като параметри на режима за заваряване избираме стандартно въведената програма за съответните материали в инверторния апарат, а за трансформаторния подбираме възможно най-близките до тях (Таблица 3).

Таблица 3 Заваръчни режими

Параметри на режима на заваряване	JOINT 400 DP	EUROMIG 350
Заваръчен ток, A	105	120
Напрежение на дъгата, V	22	26.54

*При трансформаторния токоизточник параметрите са отчетени с ампер клеци.

1.2 Метод на координатните мрежи

Нанасянето върху пробно тяло на координатна мрежа е един от най-разпространените оптични методи за изследване на формоизменението на листов материал, даващ пълна информация за зоните на деформация и преходните области и за неравномерността на деформациите [4].



Фиг. 3 Координатни мрежи.

$$\varepsilon_x = \frac{L-L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}, \quad (1)$$

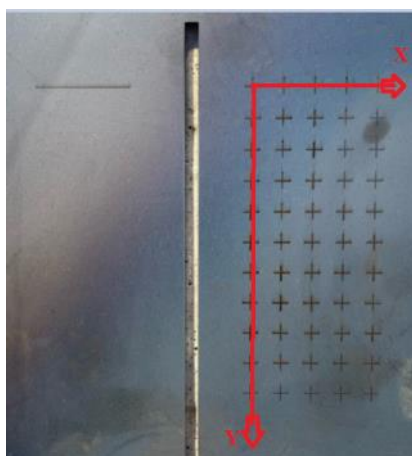
където

L_0 - разстоянието между марките (кръстчетата), номиналните разстояния в направления x и y преди полагане на заваръчния шев;

L – действителното разстояние между марките след полагане на заваръчния шев;

ε_x – отклонение от номиналните разстояния

Маркираната координатна мрежа е с размер на клетката 10 на 10 mm. (Фиг. 4)



Фиг. 4 Измерване преди заваряване на координатните точки

Координатната мрежа се измерва преди и след полагането на заваръчния шев. Началните вектори 1 и 2 след заваряване се преобразуват в $1'$ и $2'$. Деформациите в областта на точката P се изчисляват по координатите на тези вектори, определят се от четирите гранични точки, образуващи една клетка. [5]

Заваряването причинява силно локално нагряване на метала, който се съединява. Следователно разпределението на температурата в завареното съединение е неравномерно. Температурата на завареният метал и зоната на термично влияние е значително по-висока от

тези на незасегнатия основен метал. При охлаждане заваръчната вана се втвърдява и свива, упражнявайки натоварвания върху околния метал и зоната на термично влияние. [6]

При сканиране на координатната мрежа на пробните тела след заваряване отклоненията в направление координатната система x-y са пренебрежимо малко (Фиг. 5). Това се дължи на вида на пробните образци, избраните режими на заваряване, използваната апаратура и квалификацията на заварчика.



Фиг. 5 Фронтален изглед след заваряване

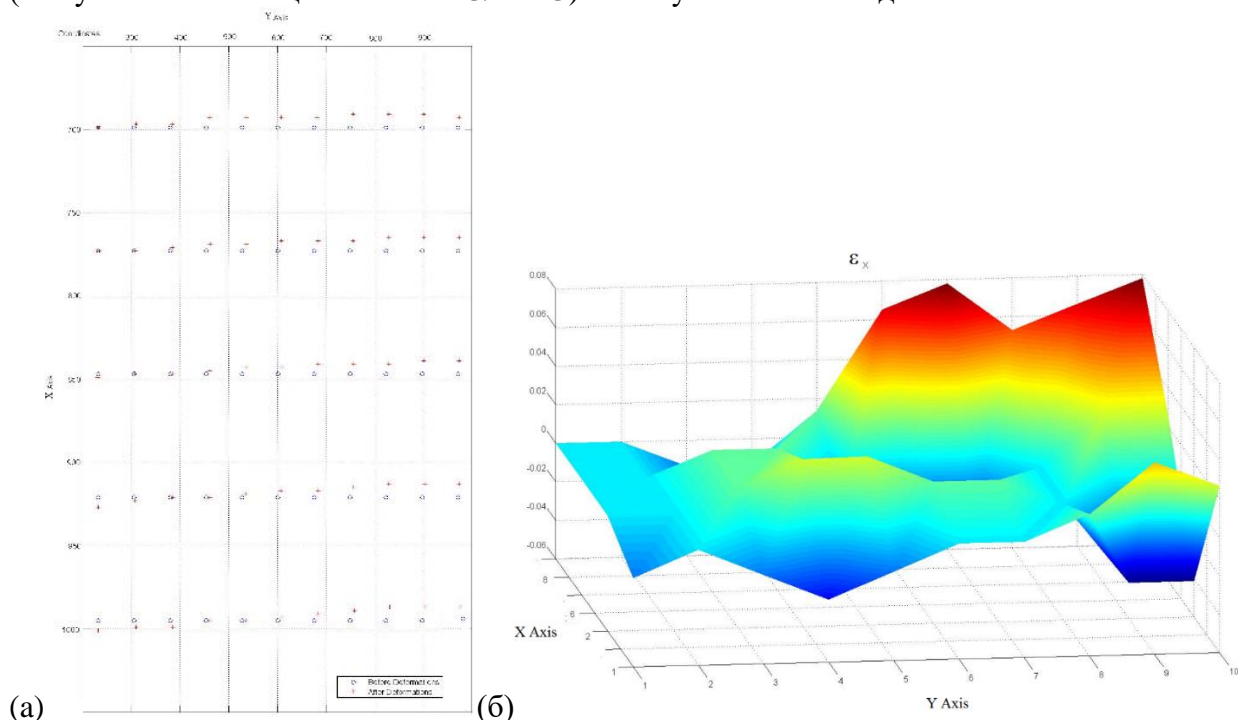
Освен деформациите в равнината x-y се забелязват значителни ъглови отклонения и в направление z (Фиг. 6).



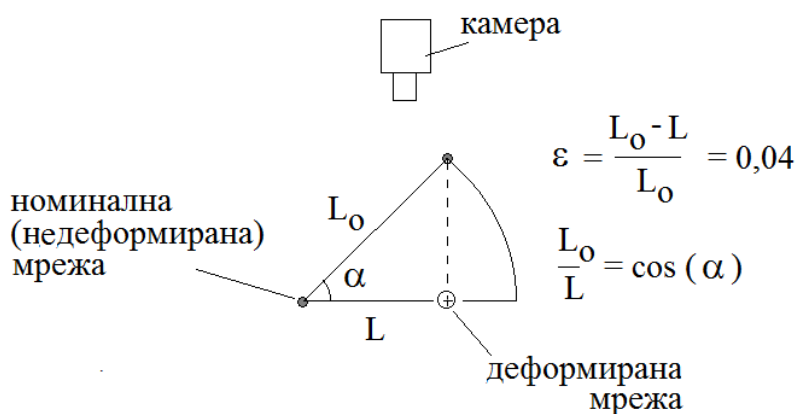
Фиг. 6 Отклонения по z.

Заснемането на координатните мрежи преди и след заваряване се осъществява с помощта на специализиран софтуер “Mofikis - coordinate finder”. След заваряване е налице деформация (завъртане) на едната плоча спрямо другата около ос X, съвпадаща със заваръчния шев. По тази причина лявата страна на пробното тяло (без нанесена координатна мрежа) се позиционира върху хоризонтална плоскост, а дясната (с нанесената мрежа) се заснема с фотоапарат при същите условия като незавареното пробно тяло. На Фиг. 7 са показани координатните мрежи преди заваряване и след заваряване на шева, наложени една върху друга. Както може да се очаква, отклоненията на позициите на отметките, както и изчислените със специално създаден софтуер относителни деформации (ϵ_x) се увеличават с отдалечаване на точката от заваръчния шев. Това се дължи на факта, че имаме много съществена деформация във вертикално направление (z), което се характеризира с ъгъл на завъртане на едната плоча спрямо другата около ос (X) съвпадаща със заваръчния шев (Фиг. 8). При такава деформация заснетите точки от мрежата след заваряване ще имат отклонения, които съответстват на проекцията на мрежата върху хоризонталната равнина. Тези отклонения могат да се използват за изчисляване на ъгъла на завъртане на плочите една спрямо друга, приемайки че другите деформации имат пренебрежимо малък ефект. При средна стойност на относителната деформация $\epsilon_x=0.04$, от геометричните съотношения показани на Фиг. 8 се получава, че ъгълът на завъртане $\alpha=16^\circ$ (при измерени стойности от около 10°). Разминаването се дължи на приноса на другите деформации (различни от завъртането) към общата картина.

Освен това, представената диаграма на Фиг.7 дава визуална информация за разпределението на деформациите (представени като повърхнина). Методиката предвижда сравнение на тези повърхнини съответстващи на заварени с различни режими и технологии (импулсни и конвенционални MIG/MAG) за получаване на съединения.



Фиг.7 Координатни мрежи преди (маркирана със знак “o”) и след деформиране (маркирана със знак „+“) - (а) и разпределение на относителните деформации в направление на оста X (ϵ_x) на пробното тяло - (б).



Фиг. 8 Геометрични съотношения между номиналната (изходна) мрежа и деформираната мрежа (след заваряване).

Първоначалните измервания показват отклонения от порядъка на 1° при импулсното заваряване и 10° при конвенционалното. Поради интензивната концентрация на топлина върху малка площ зоните в близост до линията на заваряване претърпяват тежки термични цикли. Те генерират значително ъглово изкривяване, дължащо се главно на остатъчните напрежения [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инверторните токоизточници са по-малки като габарити, но със значително повече функции спрямо конвенционалните. Този тип машини работят при по-нисък ток, водещ до значително по-ниски деформации и високо качество на завареното изделие.

Въпреки постигане на режим на заваряване с конвенционалния токоизточник изключително близък до този на инверторния не се постигат същите резултати, поради различието на принципа на работа на заваръчното оборудване.

Методът на координатните мрежи дава възможност за визуализация на деформациите, както и за изчисляване на макро-параметрите (например ъгъла на завъртане) на деформираното съединение и за сравнителен анализ на получените данни пробни тела заварени с различни технологии и параметри на заваряване.

При така избраните пробни тела и режими на заваряване основно наблюдаваме остатъчни ъглови деформации. Наблюдаваме по-малка зона на термично влияние при съвременната техника. Качеството на заваръчни шев и при двата вида заваряване отговаря на изискванията.

REFERENCES

1. Пиев, S., Minev, R., Ferdinandov, N., (2019) Technology maturity studies of equipment for welding in a protective gas environment, PROCEEDINGS OF UNIVERSITY OF RUSE - 2019, volume 58, book 2.1, ISBN: ISSN 2603-4123 (о, pp. 59-64.
2. URL: <http://en.noubelon.com/product/31.html> (Accessed: 18.10.2021).
3. URL: <https://profishop-bg.com/REDCO/EUROMIG-350-p1020c60c72c74.html> (Accessed: 18.10.2021).
4. G. Del, Novikov N., 1979, Dividing grid method, Moskva, Mashinostroene, (Оригинално заглавие: Г.Дель, Новиков Н., 1979 Метод делительных сеток, Москва, „Машиностроение“)
5. Minev E., K. Popov, R. Minev, S. Dimov, V. Gagov. Grid method for accuracy study of micro parts manufacturing.// Micro and Nanosystems (2011) No 3, pp. 263-269, ISSN 1876-4029. (SJR rank: 0.161 /2011, Bentham Science Publishers)
6. Hristov St., 2012, Deformations, stresses and displacements during welding, Sofia “Prof. Marin Drinov” Press (Оригинално заглавие: Христов Ст., Деформации, напрежения и премествания при заваряване, София, АИ "Проф. Марин Дринов", 2012
7. Lorza R., Garcia R., Martinez R., Calvo M., (2018) Using genetic algorithms with multi-objective optimization to adjust finite element models of welded joints. Metals Vol.8, Issue 4.
8. URL: <https://www.mdpi.com/2075-4701/8/4/230> (Accessed: 20.10.2021).