

**SIMULATION DRIVEN DESIGN
OF PLASTIC WATER TANK²**

Prof. Ivelin V. Ivanov, PhD

Department of Engineering Mechanics,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: 082-888 472
E-mail: ivivanov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Danail Gospodinov, PhD

Department of Material Science and Technology,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone: 082-888 205
E-mail: dgospodinov@uni-ruse.bg

Assist. Prof. Dimitar Velchev, PhD

Department of Engineering Mechanics,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Tel.: 082-888 224
E-mail: dvelchev@uni-ruse.bg

***Abstract:** A plastic water tank of tamping machine is reported by many costumers as often failing part. The reason of that failure has been investigated by testing samples taken from the wall of the tank. Some of the samples include the joint between both parts welded by melting the edges at high temperature and pressing them each other. The weak connection between the parts is the main reason for the failure. A new design of the tank is suggested, which is based on plastic blowing technology and the tank body consists of only one part. The new design should be checked by finite element simulations for damages obtained after free falling on the ground and received under the vibrations of the machine. The filled by water tank has higher loading in free falling impact than empty one however fluid-structure interaction is a problem in the simulations. The shell element model of the tank has great leakage of the fluid when water is modelled by Lagrangian finite elements. The smoot particle hydrodynamic method gives quite better results in the simulations of the tank impact. The successful simulations show that the impact on the bottom and on the bottom vertex of the tank could cause sagging of the tank wall which remain permanent and this is unacceptable. Then another design of the tank is suggested, avoiding the projective shapes of some tank areas. The second version of tank design has no permanent deformation in the impact simulations and the stress level caused by the vibrations is low, so it is acceptable. The successful simulation driven design of plastic water tank is saving the expenses of manufacturing the prototypes and testing them in order to reveal unwanted features.*

***Keywords:** Finite Element Simulations, Fluid-Structure Interaction, Smoot Particle Hydrodynamics*

² Докладът е изнесен на заседание на секция Механика и машиностроителни технологии на 13.12.2020 и номиниран за публикуване в Compiled edition of Reports Awarded with “Best Paper“ Cristal Prize’20, as a hard copy (ISBN 978-954-712-826-2) and on-line on the Conference Website (<http://conf.uni-ruse.bg/bg/?cmd=dPage-&pid=bestPapers>).

DETERMINATION OF RESIDUAL STRAIN IN MAG WELDING OF A LARGE STRUCTURE³

Eng. Stiliyana Mileva

Department of Technical Mechanics,
University of Ruse, Bulgaria
Phone: 082 888 513
E-mail: smileva@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Yuliyang Angelov, PhD

Department of Technical Mechanics,
University of Ruse, Bulgaria
Phone: 082 888 313
E-mail: julian@uni-ruse.bg

Assist. Prof. Ivo Draganov, PhD

Department of Technical Mechanics,
University of Ruse, Bulgaria
Phone: 082 888 224
E-mail: iivanov@uni-ruse.bg

***Abstract:** In the considered work the displacements and the residual strains after MAG welding of a complex steel structure are determined. For this purpose, a series of experiments and measurements were carried out in industrial conditions. A numerical model of the welding process has been created, taking into account the addition of material to the weld seam. The heat flow distribution function is set as volume distribution. The nonlinear material and physical characteristics of the material and the heat dissipation as a result of convection and radiation are taken into account. The results of the experiment and the numerical simulation were compared and analysed.*

***Keywords:** Finite element method, Welding, MAG, Residual strains*

ВЪВЕДЕНИЕ

Съществуващите световни и местни икономически условия, свързани с глобализирането на индустриалното производство и съществуващия технически потенциал в Република България, създава определена пазарна ниша за българските фирми. Това дава възможност да се предлагат къси и средни серии от малки до средно големи заварени конструкции, позволяващи наземното им транспортиране по шосейната мрежа. Тези предпоставки доведоха до превръщането на заваряването в структурно определящ технологичен процес за голяма част от индустриалното производство в Република България. Съществува голямо количество фирми, с различен мащаб, чиято основна дейност е изработването на заварени конструкции. В по-голямата си част тези изделия се явяват компоненти от краен продукт, чието производство се извършва в други страни, но съществуват и такива, които биват вграждани в крайни продукти на местни фирми.

Понастоящем най-разпространеният заваръчен процес в областта на общото машиностроене е МИГ/МАГ, което се дължи на неговите предимства, свързани с висока производителност и високо качество на получаваните шевове (Пиев 2019).

Голяма част от изделията получавани чрез заваряване представляват гредови конструкции. Те могат да се получат от плочи, които се заваряват една към друга с надлъжни заваръчни шевове с голяма дължина. Подобни съединения могат да се получат чрез

³ Докладът е представен в секция Механика и машиностроителни технологии на 13-ти ноември 2020 с оригинално заглавие на български език: ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОСТАТЪЧНИТЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ МАГ ЗАВАРЯВАНЕ НА ЕДРОГАБАРИТНО ИЗДЕЛИЕ.

полуавтоматично заваряване с ръчно водене, чрез автоматично водени по твърд контур, чрез копиране на контура или роботизирано. Автоматизираното заваряване позволява прецизиране на заваръчните режими и подобрява възможностите за предвиждане на остатъчните деформации, а от там намаляване или премахване на допълнителните операции по рихтоване на изделието.

Мощно средство за решаване на задачата за напрегнатото и деформирано състояние на телата е методът на крайните елементи (Bathe 2006), (Bergheau 2008). През последните години той е неизменна част от програмите за автоматизирано проектиране. Това обуславя неговото използване като средство за симулиране на заваръчните процеси (Goldak 2005), (Lindgren 2007). Кратък преглед на напредъка в тази област може да сенамери в (Draganov 2018).

Основните трудности преодолени до момента са отчитането на нелинейните физични свойства на материала, задаването на подвижен топлинен източник, моделирането на добавъчен материал (Tekriwal 1988), (Fadaei 2015). Голяма част от представените работи третират тестови проблеми, но съществуват и опити да се решават задачи за големи изделия, имащи сложна форма (Brown 1992), (Michaleris 1996), (Daneshgar 2016).

Настоящата разработка цели създаването на числен модел, описващ правдоподобно получаваните заваръчни деформации при МИГ/МАГ заваряване на реално изделие, като са изследвани възможностите за опростяването на функциите на залаганите материални характеристики.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Експериментална част

Експерименталните изследвания са проведени в индустриални условия. За целта е използвана промишлена уредба за автоматизирано заваряване чрез водене по твърд контур – „Пирин“, показана на фиг. 1. Изработени са два опитни образеца на стабилизатори за автокран от стомана S355JR, представляващи греди с дължина 2290 mm. Изделията се състоят от четири страници и допълнителни конструктивни елементи с по-малки размери – фиг. 2 а). Четирите плочи, образуващи тръбата, са предварително съединени чрез заваръчни прихватки. На следваща операция е извършено заваряването на надлъжните шевове едновременно по два – фиг. 2 б). Измерванията на преместванията в напречно направление по време и след заваряване са извършени преди да се заварят допълнителните детайли. Режимите на заваряване са дадени в таблица 1.



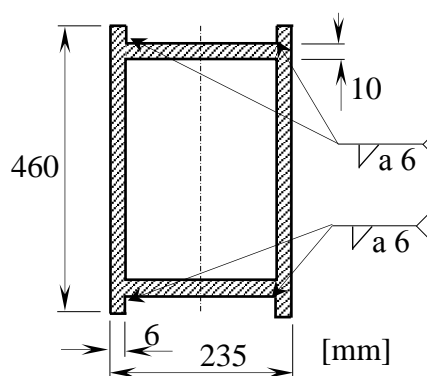
Фиг. 1. Промислена уредба за автоматизирано заваряване по твърд контур „Пирин“

Таблица 1. Режими на заваряване

Ток, А	Напрежение, V	Скорост, m/h
280	25	14



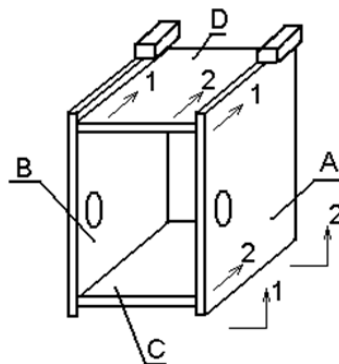
а) Общ вид



б) Напречно сечение

Фиг. 2. Опитни образци

Измерванията на опитните образци са извършени със стандартни измервателни уреди. Схемата и последователността на измерване са дадени на фиг. 3, а числените стойности на отклоненията от номиналните размери с приспаднати отклонения преди заваряване са дадени в таблица 2. Обект на измерване са отклоненията от равнинност и отклоненията от перпендикулярност.



Фиг. 3. Направление на измерването

Таблица 2. Измерване, mm

Стабилизатор	Първи		Втори	
	1	2	1	2
Направление на измерване (фиг. 3)	1	2	1	2
$\square A$	0,7	0,4	0,5	0,6
$\square B$	0,2	0,3	0,4	0,2
$\square C$	0,8	0,4	1,2	1,1
$\square D$	1,7	1,9	0,8	1,1
$D \perp B$	0,9/200	0,3/200	1,5/200	0,5/200
$D \perp A$	0,3/200	0,1/200	0,3/200	0,6/200
$C \perp B$	-	-	0,9/200	1,0/200
$C \perp A$	-	-	0,4/200	0,6/200

Крайноелементен модел

Създаден е геометричен модел на стабилизатора в програмата Абакус (ABAQUS) – фиг. 4.а). Моделирани са четирите страници на изделието и заваръчните шевове между тях, а останалите детайли и шевове не се разглеждат.

Извършено е дискретизиране на геометричния модел – фиг. 4. б) чрез тетраедърни крайни елементи с един междинен възел - C3D10MT (ABAQUS).

Таблица 6. Време за подготовка на модела

Етап	Описание	Време, час
Геометричен модел	Създаване на скица, тримерно тяло и сборка. Създаване на групи от геометрични обекти.	4
Дискретизация, гранични условия, стъпки	Дискретизация на модела, изследване за сходимост. Създаване на стъпки с натоварването. Задаване на гранични условия. Задаване на началните условия	6
Материални характеристики	Задаване на материалните характеристики. Задаване на латентната топлина.	2
Подготовка на изчислителния процес	Подготовка за изчисление. Проверка за предупреждения и грешки.	1
Изчислителен процес	Решаване на системата от линейни уравнения.	Виж таблица 7
Обработка на резултатите	Проверка за максималните стойности и положението на температурата. Проверка за правилността на задаване на топлинния поток. Проверка на максималното напречно преместване и неговото положение.	4
Корекции	Корекции в модела и изчистване на грешки от оператора.	2 (без времето за откриване на грешката)
Следващо решение	Подготовка за следваща последователност на заваряване.	4

Решаваната задача е геометрично и физично силно нелинейна. Това предполага нейното решаване чрез разделяне на полетата. Използвана е параболична екстраполация за определяне на първата стойност от новата стъпка, което е от съществено значение за ускоряването на изчислителния процес.

Всички изчисления са извършени на преносим компютър с процесор Интел i3-7130U. В последната колона на таблици 6 е дадено времето за работа на системата.

Параметричен анализ

Извършена е проверка на сходимостта на решението в зависимост от гъстотата на мрежата – таблица 7. Големината на елементите е описана с две числа (втората колона), като първото показва размерите за цялата конструкция, а вторият размер се отнася за зоната на локално съгъстяване на мрежата, описваща заваръчния шев.

Таблица 7. Изследване на сходимостта

Решение	Големина на елементите, mm	Максимална температура, °C	Преместване по време на заваряване, mm	Остатъчно преместване, mm	Време за изчисление, s
1	80/5	1819	2,262	1,136	1328
2	40/5	1868	2,128	1,197	5345
3	40/2,5	1885	2,182	1,254	6337

Численият модел на заваряването на стабилизатора е създаден с отчитане на нелинейните термофизични и механични характеристики на материала. Това води до увеличаване на броя на инкрементите нужни за решаване на всяка стъпка от термичното

натоварване. Предвид сложността на конструкцията и голямото съотношение на дебелините на детайлите спрямо другите им размери е изследвана възможността за опростяване на модела, чрез задаване на физичните величини като независещи от температурата. В таблица 8 са дадени резултатите при приемане на отделните групи физически величини, като постоянни със стойности равни на тези при 20°C, а останалите групи се запазват, като функция на температурата. Резултатите са получени при големина на елементите 80/5 mm.

Таблица 8. Постоянни физични характеристики

Материални модели	Като функция на температурата	Постоянни СТК и топлопроводност	Постоянни механични х-ки	Постоянен коефициент на температурно разширение
Максимална температура, °C	1819	1694	1750	1746
Преместване по време на заваряване, mm	2,262	2,237	3,264	2,392
Остатъчно преместване, mm	1,136	0,8697	2,145	1,383
Време за изчисление, s	1328	1421	1183	1245

Извършено е изследване на влиянието на последователността на заваряване на шевовете върху остатъчните деформации. За целта са създадени три числени модела. Първият съответства на последователно заваряване на шевовете един по един, като се започне с горните (фиг. 2 а) и след това се премине към долните. Вторият план за заваряване е при едновременно заваряване на двата горни шева и след това едновременно заваряване на двата долни. Третият случай е едновременно заваряване на четирите шева. Резултатите от това изследване са представени в таблица 9.

Таблица 9. Планове на заваряване

План на заваряване	Последователно	Едновременно на два шева	Едновременно на четири шева
Максимална температура, °C	1766	1819	1955
Преместване по време на заваряване, mm	1,730	2,262	2,944
Остатъчно преместване, mm	1,530	1,136	2,944

ИЗВОДИ

Получените резултати от числения модел описват качествено правдоподобно възникващите остатъчни деформации в заварените опитни образци, като трябва да се отчете, че разсейването на експерименталните данни е значително.

Проверката за сходимост на решението при различна гъстота на мрежата показва, че използваната дискретизация е приемлива за по-нататъшните изследвания.

Моделирането на материалните характеристики, като постоянни не води до значително намаляване на времето за изчисляване. При всички случаи се получава по-ниска температура от тази при използване на функционална зависимост между физични характеристики и температура. При използване на постоянни механични характеристики получаваните

остатъчни деформации са по-големи, а в останалите – по-малки от изходния модел. Преместванията по време на заваряване се изменят по-значимо само в случая на постоянни механични характеристики.

Моделите за заваряване показват, че минимални остатъчни деформации се получават при едновременно заваряване на два шева. Едновременното заваряване на четири шева дава малки премествания по време на процеса на заваряване, но в етапа на изстиване деформациите стават по-големи от другите два разгледани случая. При последователното заваряване на отделните шевове се получава преместване и в хоризонтално направление, което не е описано в тази работа.

Времето за създаване на числения модел, редактирането му за следващ план за заваряване и анализа на резултатите са от порядъка на една седмица. Това е съизмеримо, като продължителност с подготовката и изработката на опитен образец без да се отчитат неизбежните организационни забавяния. Финансовата оценка от ефекта на численото моделиране остава дискуссионна.

БЛАГОДАРНОСТИ

Представените изследвания и участието в настоящата научна конференция са осъществени с финансовата подкрепа на Фонд научни изследвания към Русенски университет «Ангел Кънчев» по договор No 2020 – МТФ – 02 „СЪЗДАВАНЕ НА ОПТИМИЗАЦИОННИ АЛГОРИТМИ ЗА МЕХАНИЧНИ, ТЕРМИЧНИ И ТЕРМОМЕХАНИЧНИ ЧИСЛЕНИ МОДЕЛИ“.

REFERENCES

- ABAQUS. Analysis User's Manual. ver. 6.14, DassaultSystemesSimulia Corp., Providence, RI, USA.
- Bathe K. (2006). *Finite Element Procedures*. Prentice-Hall, Pearson Education, Inc.
- Bergheau J., R. Fortunier. (2008). *Finite Element Simulation of Heat Transfer*. John Wiley & Sons, Ins.
- Brown S., Song H. (1992). Finite Element Simulation of Welding of Large Structures. *Journal of Engineering for Industry*, Vol. 114, pp. 441- 451.
- Daneshgar M., S. Habibi, E. Daneshgar, A. Daneshgar. (2016). Analysis of Residual Stresses and Angular Distortion in Stiffened Cylindrical Shell Fillet Welds Using Finite Element Method. *International Journal of Civil and Environmental Engineering* Vol:10, No:4, pp. 553-563.
- Draganov I., Y. Angelov, S. Mileva. (2018). *Overview of the Feasibility of Simulating Welding Processes Using the Finite Element Method*. University of Ruse, Proceedings Volume 57, book 2, Mechanical Engineering and Machine-Building Technologies, pp. 18-23.
- Fadaei A., H. Mokhtari. (2015). Finite element modelling and experimental study of residual stress in repair butt weld of st-37 plates. *IJST, Transactions of Mechanical Engineering*, Vol. 39 No. M2, pp 291-307.
- Goldak J., M. Akhlaghi.(2005). *Computational Welding Mechanics*. Springer.
- Илев S., R. Minev, N. Ferdinandov. (2019). Possibilities and Limitations of Modern Technologies and Equipment for Welding in a Protective Gas Environment. *International Journal "NDT Days"*, No Volume II, pp. 528-534.
- Lindgren L. (2007). *Computational Welding Mechanics. Thermomechanical and microstructural simulation*. Woodhead publishing Limited, Cambridge, England.
- Michaleris P., A. Debicari. (1996). Prediction of Welding Distortion. *AWS Annual Convention*, pp. 172-181.
- Tekriwal P., J. Mazumder. (1988). Finite Element Analysis of Three-Dimensional Transient Heat Transfer in GMA Welding. *Welding Journal*, pp. 150-156.