



## **Experimental Study of Butt-Welded Joint of High Strength Steel**

Pavlin SHARBANSKI, Daniela GRIGOROVA

University of Chemical Technology and Metallurgy, Department of Metallurgical Technologies,  
Electrotechnics and Electronics,  
1756 Sofia, Bulgaria, 8 Kl. Ohridsky Blvd., e-mail: [d.dimitrova@uctm.edu](mailto:d.dimitrova@uctm.edu)

### **Abstract**

Controlling the quality of the welding process is necessary due to the complex nature of the process and the various factors that can affect it. T-shaped butt welded joint was tested on non-destructive methods – visual, magnetic-powder, and radiographic control. The Vickers hardness in the directions of four weld lines, the zone of thermal influence, and the base metal were studied. The tensile strength and fracture site were determined on welded flat test specimens of four smelters.

**Keywords:** Butt welding, experimental investigation, non-destructive methods, tensile strength, hardness

## **Експериментално изследване на челно заварено съединение от високоякостна стомана**

Павлин ШАРБАНСКИ, Даниела ГРИГОРОВА

### **1. Увод**

Заваряването е процес, чрез който се получава монолитно съединение от заварявани части. Този метод е технологичен процес, основаващ се на строго определени физични процеси, използващ определен вид енергия [1, 2]. Освен изискването за високо качество на заваръчния шев, целта на заваряването, е да гарантира получаване на заварени съединения без деформации и напрежения, които да издържат на високи натоварвания. Предпоставка за качествен процес е комплекс от многото фактори, които влияят на заваряемостта и са свързани с конструкцията и производствените особености [3, 4]. Определянето на качеството на заварените съединения изисква прилагането на различни методи на контрол, тъй като е възможно при заваряване да се получат дефекти – горещи и студени пукнатини, микро пори, неплътности или липса на съединяване. Геометрията, размерите и дефектите в завареното съединение се измерват върху металографски образец. Изследването на микроструктурата дава възможност за оценка на заваръчния процес и на очакваната якост на съединението [5]. В процеса на заваряване, всеки метал първоначално кристализира като лята структура, вследствие на това, образуваната микроструктура зависи от параметрите на заваряване, типа и размера на заваръчната вана и условията на охлаждане. Контролирането на качеството на заваръчния процес е абсолютно необходимо поради комплексния характер на процеса и различните фактори, които могат да му повлияят.

Целта на настоящата работа е да се изследва качеството на шева на заварено Т-образно челно съединение от високоякостна стомана.

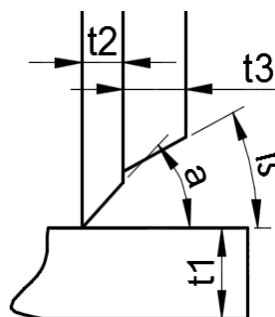
## 2. Експериментална част

За изработване на челно завареното съединение е подбрана предварително марка стомана S890. Тази стомана издържа на високи натоварвания, има висока якост, жилавост и е пригодна за заваряване. Избран е MAG 135, като метод на заваряване. За да се избегне ненужно висока якост на метала на шева в сравнение с тази на основния метал е използван добавъчен материал ОК Aristorod 89 G 89 4Mn4Ni2CrMo (съгласно БДС EN ISO 16834-A: G Mn4Ni2CrMo (тел) и БДС EN ISO 16834-A: G 89 4 M Mn4Ni2CrMo) [6]. Използван е защитен газ M21 – CO<sub>2</sub>-82%, Ar-18%.

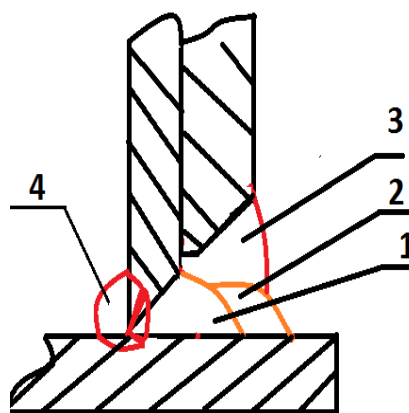
На таблица 1 са показани дебелините на материала и ъглите на скосяване. Част от сложността при заваряване на този детайл е, че сглобката трябва да се направи от три стоманени плоскости с различни дебелини – 4, 6 и 10 mm. За да се обезпечи съответната здравина на изделието елементите се разполагат под различни ъгли – 30° и 45°. На фиг. 1 е показано начина на сглобката подготвена за заваряване. Изделието е заварено с четири заваръчни шева, чието разположение е визуализирано на фиг. 2.

Таблица 1. Размери и дебелини, mm

Thickness t1-t2+t3 Дебелина	t1=10mm, t2=4mm, t3=6mm
Angle "α" Ъгъл скосяване на материал t2	45°
Angle "β" Ъгъл на скосяване на материал t3	30°
Contact area "c" Чело на контакт	0-0.5



Фигура 1. Схема на събиране и оразмеряване



Фигура 2. Заваряване с четири заваръчни шева. 1 – Първи заваръчен шев; 2- Втори заваръчен шев; 3- Трети заваръчен шев; 4- Подложен заваръчен шев (от вътрешната страна)

### 2.1 Безразрушителен контрол

Сред най-широко използваните методи за безразрушителен контрол са: радиографичен контрол; ултразвуков контрол; контрол с проникващи течности;

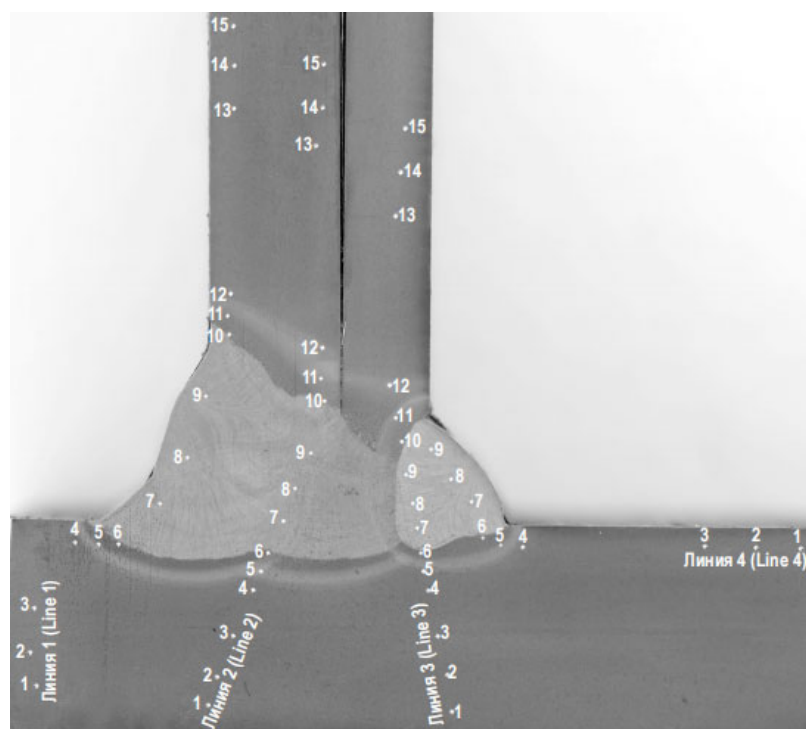
магнитно-прахов контрол; визуален контрол; контрол на плътност; вихротоков контрол; контрол на непрекъснатостта на изолация; контрол на твърдостта; вибродиагностика [7].

*Визуален контрол.* Резултатът от извършеният визуален контрол показва, че не са регистрирани повърхностни несъвършенства с вид и големина превишаващи изискванията на БДС EN ISO5817:2014 – ниво „В“.

*Магнитно прахов контрол.* Използван е дефектоскоп Magnaflux Y7, AC/DC №011Y001 със сила на магнитното поле над 4.5 kg с надлъжно намагнитване в приложено магнитно поле. При извършения контрол не са регистрирани линейни индикации с размери, превишаващи изискванията на БДС EN ISO 23278 – ниво „2X“.

*Радиографичен контрол.* Използван е ТС Рентген ХХН-2505Z. Фокусно разстояние е 700, а чувствителността 13 W. Изследванията са по отношение наличието на пори – сферични, канални, верижни, групирани, продълговати, наличие на шлака и метални включения, пукнатини (основни, напречни и радиални), недозавареност, подкопаване и подрез. Контролираното заварено съединение съответства на изискванията на БДС EN ISO 5817 – ниво „В“, като отсъстват пори ръбестост, шлаки и включения.

*Металографски контрол.* С металографското изследване се контролират несъвършенства на макро структурата на заваръчен шев – пукнатини, кухини, твърди включения и несъвършена форма и размери (в т.ч. прекъснат и непрекъснат подрез, прекомерна изпъкналост на ъглов заваръчен шев, прокапване, излишно проваряване, прекомерна дебелина на ъглов шев) [8, 9]. Металографският контрол е осъществен на Микроскоп (Microscope) Neophot-2. Металографската снимка е представена на фиг. 3. Проведените наблюдения отговарят на изискванията на ниво на приемане, съгласно БДС EN ISO 5817 за заваряване чрез стопяване на съединения от стомана.



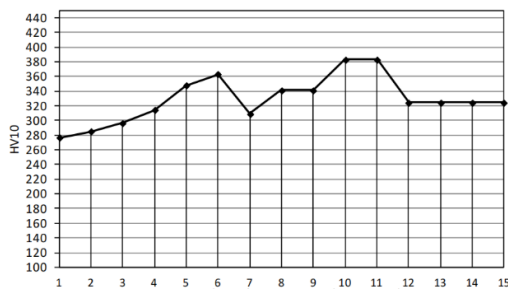
Фигура 3. Металографска снимка на Т-образно челно заварено съединение с четири заваръчни шева

*Твърдост по Викерс.* Твърдостта е една от най-разпространените характеристики, определящи качеството на металите и сплавете и възможностите за тяхното използване в различни конструкции и при различни условия на работа. Контролът на твърдостта е изследван по Викерс HV10 в направления от четири линии, показани на фиг. 3. Измерена е твърдостта на заваръчния шев, зоната на термично влияние и на основния метал. На фигура 4 са представени зависимостите на твърдостта по Викерс спрямо позициите на изследваните линии.

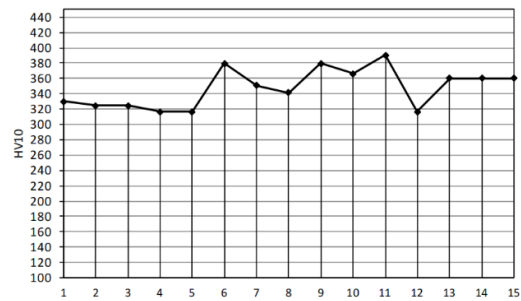
## 2.2 Разрушителен контрол.

*Якост на опън.* За да се определи поведението на материала при различни натоварвания са проведени серия от тестове. Тъй като натоварването постепенно се увеличава, аксиалното отклонение на материала се увеличава също. Накрая, тестовата проба се разрушава. Връзката между силата, приложена към материала, и точката на счупване на материала се влияе от структурата на материала.

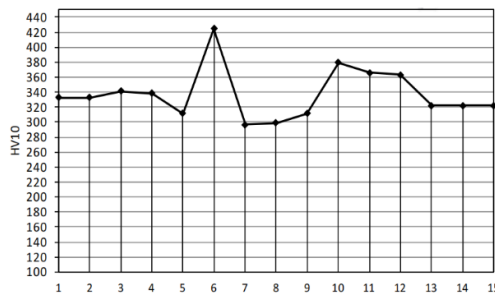
Изследвани са плоски пробни тела  $b=20\text{ mm}$  на напречно заварени съединения от четири плавки. На фигура 5 са представени стойностите на якост на опън за всяка плавка. На всяка колонка на фигура 5, е посочено разстоянието на зоната на разрушаване от линия на заваряване с основният метал в mm. При първа плавка разстоянието на разрушаване е от 12 до 19 mm, при втора от 9 до 17 mm, при трета от 14 до 27 mm и при четвърта плавка от 8 до 17 mm от линията на сплавяне. Средната стойност от проведените изпитания на якостта на опън е в диапазона 1024 – 1067,8 МРа. При минимално изискване от 940, съгласно действащият стандарт БДС EN ISO 15614-1- S890 – EN 10025-6, може да се заключи, че изделието покрива необходимите якостни изисквания.



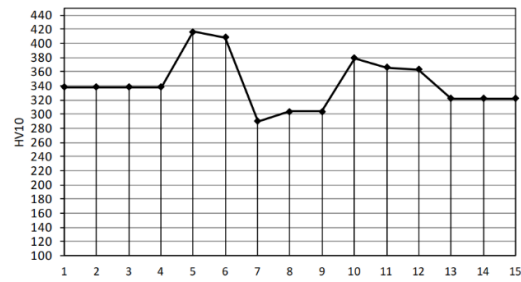
а) HV10 спрямо позиции на линия 1



б) HV10 спрямо позиции на линия 2



в) HV10 спрямо позиции на линия 3



г) HV10 спрямо позиции на линия 4

**Фигура 4. Зависимост на твърдост по Викерс (HV10) спрямо изследваните позиции**



Фигура 5. Якост на опън

Някои от особеностите, вида и мястото на разрушаване от изпитването на якостите на опън са представени на снимки на фигура 6.



Фигура 6. Скъсване в основния материал.

При всички образци, както се вижда от фигура 6, се получиха задоволителни резултати на якостта на опън.

### 3. Заключение

T-образно челно съединение е заварено по предварително подобрани технологични параметри. Не са регистрирани повърхностни несъвършенства. Всички стойности на твърдостта измерени по основният метал, зоната на заваръчния шев и термично влияние отговарят на стандартизационните изисквания. Най-високи стойности на твърдост по Вickers имат зоните на термично влияние. Якостта на опън на изследваните образци е в интервала 1024 МПа – 1067 МПа, покриващо изискванията от 940 МПа. Може да се твърди, че подобрите условия и технология на заваряване са удовлетворителни и отговарят на действащите стандарти.

### References

1. Tongov M., Welding. part one – Processes, Softtrade, 2009.
2. Mihailov V., V. Kahrin, and P. Petrov, Basics of Welding, Building constructions, 2012.
3. Mihailov L., Welding Technique and Technology, Technika Publishing House 1990.
4. Kamenova L., N. Lolov, P. Penchev, Welding Technique and Technology, Technika, 2008.
5. Pencheva T., M. Yotsova, E. Georgieva, Technology of Machine-Building Materials, Tehnika, 1990.
6. Catalog Manual (ESAB), Welding Additives, ESAB, ESAB Bulgaria Ead, 2012.
7. Stoyanov K., P. Davidov, B. Dyankov, Methods of Non-Destructive Testing, University Publishing House, Bishop Konstantin Preslavski, 2019.
8. Balevski A., Materials Science, Tehnika Publishing House 1975.
9. Gogachev I., M. Karimihova, Metallurgy and Heat Treatment, Technika 1989.