

## **ОЦЕНКА НА ВЛИЯНИЕТО НА ТВЪРДОСТТА НА ЗАВАРЪЧЕН ШЕВ И НА ЗОНАТА НА ТЕРМИЧНО ВЛИЯНИЕ ВЪРХУ КОЕФИЦИЕНТА НА КОНЦЕНТРАЦИЯ НА ШЕВА**

*Иван Коларов*

[ikolarov@vtu.bg](mailto:ikolarov@vtu.bg)

*ВТУ "Тодор Каблешков",  
ул. "Гео Милев" № 158, София  
България*

**Ключови думи:** *Структурни промени в заваръчен шев, неравномерност в механичното натоварване в заваръчен шев*

**Резюме:** *Якостта на заваръчния шев е комплексна характеристика, която зависи едновременно от значителен брой фактори, като размери и форма на заваръчния шев, свойства на материалите на заваряваните елементи и на добавъчния в шева материал, технологията за заваряване и свързаните с нея зони на термично влияние в шева и около него, нецялостности в шева и др. Многобройните изследвания на структурата на заваръчния шев между материали на желязна основа доказват, че е налице значителна нееднородност, която се дължи на разлика в кристалната решетка на еластичната среда.*

*Цел на настоящата разработка е да оцени възможното влияние на твърдостта на заваръчния шев и на еластичната среда в зоната на термично влияние на заваръчен шев върху коефициента на концентрация на шева.*

*Целта се постига чрез провеждане на виртуален експеримент за определяне на напрегнатото състояние в различни участъци в челен заваръчен шев. В компютърна инженерна среда е направен 3D модел на заварени образци, за който са налице литературни данни за твърдостта на еластичната среда в различни зони от заваръчния шев и зоната на термично влияние. Моделът е създаден без отчитане на типични геометрични отклонения, които се дължат на технологията на заваряване. За целта зоните с относително еднородна структура са предварително създадени като отделно елементи, след което моделът е сглобен в компютърна чертожна среда.*

*Конструкцията се натоварва статично чрез метод на крайните елементи в границата на провлачване. Получени са стойности на напрегнатото състояние в заваръчния шев и в зоните около него.*

*Установено е типично влияние на структурните промени в заваръчен шев върху напрегнатото състояние в шева. Налице е неравномерност в шева, която се обяснява с различното деформационно поведение в различните зони на шева. Изчислени са относителните изменение на напрегнатото състояние в различните зони. Получени са стойности в рамките на 4 - 25% от теоретичното натоварване.*

*Получените резултати могат да послужат за оценка на структурата на шева и на зоната на термично влияние при обосновка на общ коефициент на концентрация в заваръчен шев.*

## **ВЪВЕДЕНИЕ**

Механичните свойства на съединението и на зоните около него се формират от комплекс от фактори, свързани с технология на заваряването и точността за нейното спазване за конкретен случай, добавъчни материали и състояние на заготовките преди заваряване и др. [1 – 8].

В [1] са показани резултати от микроструктурен анализ и за твърдост на еластичната среда в различни зони за заварен образец от стомана DP600. Регистрират се зони с феритна, мартензитна, аустенитна и беанитна структура. Регистрира се смесване на посочените структури. За модульт на еластичност на феритната структура е приета стойността 210 GPa. Чрез моделиране на структурата и измерване на твърдостта в реален образец е установени твърдости в различни зона на заваръчното съединение в диапазона от 120 до 200 HV.

Формата на заваръчния шев и големината на зоната на термично влияние зависят от технологията за заваряване [2]. Чрез заваряване със светлинен сноп се постига чувствително по-тясна зона на термично влияние. Налице е и разлика в структурата и в механичните свойства на метала в различните участъци от шева.

Изследванията в [3], показват Експерименталните изследвания на механичните свойства на стоманите показват, че модульт на линейна деформация зависи от вида на стоманата и от дебелината на заготовката. Модульт на линейна деформация за стомана може да се променя в диапазона 190 – 230 GPa [3].

При изследване на фазата и на структурата на заварена ниско въглеродна стомана чрез електронен микроскоп и с помощта на радиографичен метод в [4] в околошевната зона са идентифицирани зони на перлит, ферит, като се забелязва нееднородност в ориентацията на зърната. Измерена е твърдостта в различни участъци на шева и са получени стойности в диапазона от 180 до 250 HV. Установена е нееднородност в разположението на зърната в зоната на термично влияние.

В [5] е изследвана структурата на околошевните зони на лазерно и TIG заварена аустенитна стомана. От показаните изображения, получени чрез електронен микроскоп е установена значителна разлика на структурата на шева, основния метал и зоната на термично влияние. Налице е известна нееднородност в разположението на зърната на стоманата в зоната на термично влияние. Средната твърдост в тези зони е в диапазона от 270 до 290 HV в зависимост от технологията за заваряване, което се счита за предпоставка за създаване на по-малки концентрации на напрежение. Твърдостта на заготовките, получени от тази стомана достига до 320 HV. Измерена е зависимостта между напрежение на опън и относителна деформация за различните опитни образци. Не се регистрира праволинейна зависимост и е регистрирана разлика между деформационното поведение на изследваните образци. От показаните данни не може да се направи еднозначен извод за зависимост на деформационното поведение на пробните образци от използваната технология за заваряване. Очевидна е разликата в модулите на еластичност на образците.

В [6] са представено изследване на деформируемостта на стомана Armoх 500Т и на заваръчен шев с феритна структура. Установена е значителна разлика в деформационното поведение на изследваните еластични среди, индикатор за разлика в линейните модули на еластичност. Налице е нееднородност в разположението на

зърната на стоманата, предпоставка за известни локални отклонения в механичните свойства на средата.

При конструиране заваръчните съединения се пресмятат на якост, като се определя средното напрежение в идеализиран заваръчен шев, като в някои случаи се отчитат коефициенти на концентрация на напрежения [9]. Налице са препоръки за избор на електроди за заваряване в съответствие с вида на заваряваните материали и с приложението на шева [7]. Налице са възможни отклонения в механичните свойства на заваръчното съединение [8], като те се минимизират от технолог чрез установяване на технология за изпълнение.

На базата на горните данни се правят следните изводи:

Структурата и размерите на заваръчния шев и на зоната на термично влияние се формират от фактори, част от които, напр. технологията на заваряване и конструкцията на съединението, са предвидими и се повтарят при изработването на серия от заготовки. Други фактори зависят от конкретни за съединението технологични операции при заваряване и при допълнителна обработка. В зависимост от структурата се променят механичните характеристики в съответните зони. Поради валидността на закона на Хук ( $\sigma = E \cdot \varepsilon$ ,  $\sigma$  - напрежение,  $E$  - модул на линейна деформация  $\varepsilon$  - относителна деформация) при еднаквост на деформацията и разлика в модулите на еластичност в съседни зони се очаква изменение на напрегнатото състояние в тези зони. Тези особености не се отчитат при конструиране на заваръчните съединения.

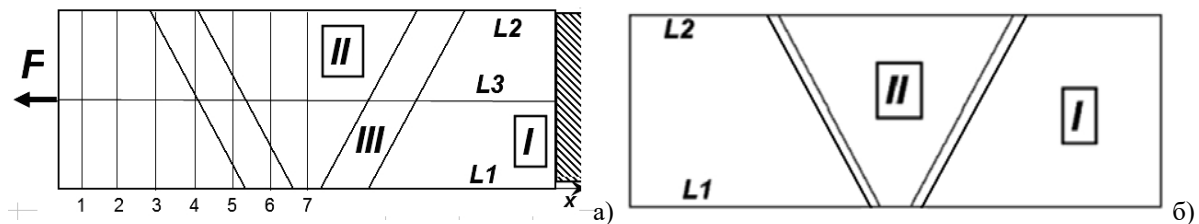
Цел на настоящата разработка е да оцени възможното влияние на твърдостта на заваръчния шев и на еластичната среда в зоната на термично влияние на заваръчен шев върху коефициента на концентрация на шева.

## ПОСТАНОВКА ЗА РЕШАВАНЕ НА ЗАДАЧАТА

Целта се постига чрез провеждане на виртуален експеримент за определяне на напрегнатото състояние в различни участъци в челен заваръчен шев. Използвани са данни за образци от ниско легирана стомана DOMEX 700MC с дебелини 10 и 18 mm, заварени чрез газ-метал технология (MIG) и чрез електронен сноп лъчи (Electron Beam Welding - EBW), като формата на заваръчния шев и на зоната на термично влияние са съгласно резултатите, получени за тези технологии за заваряване в [2]. За целта в компютърна инженерна среда е направен 3D модел на заварените образци, а механичните свойства се задават съгласно резултатите в [1 - 5]. Моделът е създаден без отчитане на типични геометрични отклонения, които се дължат на технологията на заваряване от вида промяна на формата на изделието, нецялостности с допустими или недопустими размери. Зоните от шева с относително еднородна структура са предварително създадени като отделно елементи, след което моделът е сглобен в компютърна чертожна среда. Формата на заваръчния шев и на околошевната зона за MIG технологията са зададени съгласно фотографските изображения на микроструктурата на заваръчния шев в [2], като са зададени праволинейни граници. За EBW технологията с цел по-добра съпоставка на резултатите се използва за форма на шева се използва тази за MIG технологията, а дебелината на зоната на термично влияние се приема за пренебрежимо малка, съгласно данните от микроскопския анализ в [2]. Схема на постановка на задачата е показана на фиг. 1. Механичните свойства се определят за твърдост в рамките на диапазона 120 до 200 HV, който обуславя модул на линейна деформация в диапазона 195 – 210 GPa. Твърдостта на еластичната среда в зоната с термично влияние е зададена 160 HV, а модулът на еластичност - 200 GPa.

Изследваните образци след създаване в средата на CAD като 3D обекти като основен метал (I), заваръчен шев (II), зона на термично влияние (III) и са транслирани

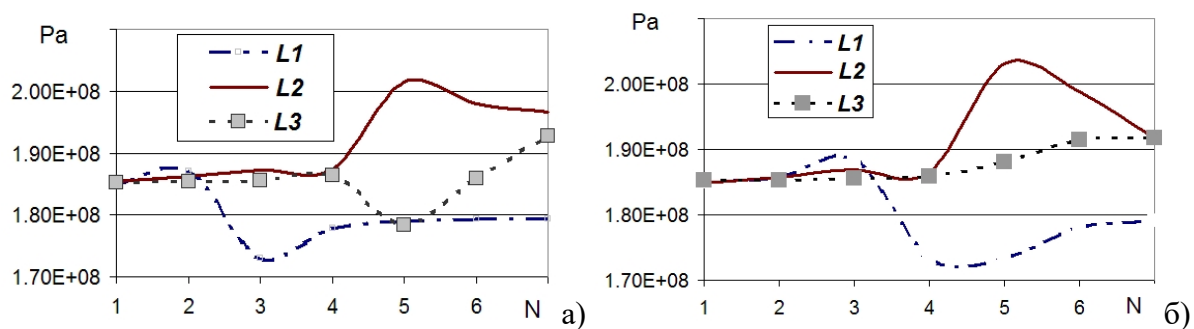
за анализ в FEA среда, където са зададени граничните условия между тях. Зададени са опорни реакции и външна сила, така че шевът е натоварен на опън (виж фиг. 1) до напрегнато състояние в границата на провлачване на материала. Резултатите са отчетени в различни нива (L) от шева, а именно: L1 L2 по повърхността на образците, като L1 е откъм страната на изпълнение на шева и L3 – в средата на образца. Отчетено е напрегнатото състояние по оста x, т.е. по направление на приложената външна сила F в 7 точки симетрично на шева. Разстоянието между точките е в рамките на 3 – 5 mm, като тяхното местоположение е избрано така, че да не се намират на границата между две среди.



Фиг. 1. Схема на постановка на задачата за заваръчен шев, изпълнен с MIG (а) и EBW (б) технологии; I – основен метал, II – заваръчен шев, III - зона на термично влияние.

### РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

На фиг. 2 са показани резултати за напрегнатото състояние в образец с дебелина 18 mm, изпълнен с MIG (а) и EBW (б) технология за заваряване. Установено е изменение на напрегнатото състояние по горната и долната повърхнина и в средата на образца независимо от технологията за заваряване. Максимално е изменението на напрежението на ниво L2 и до достига до 25% над средната стойност в образца. Относително по-малко е натоварването по ниво L21 и в средата на образца. Тук изчислената промяна е до 7%, но тя е налице в по-голям участък на образца.



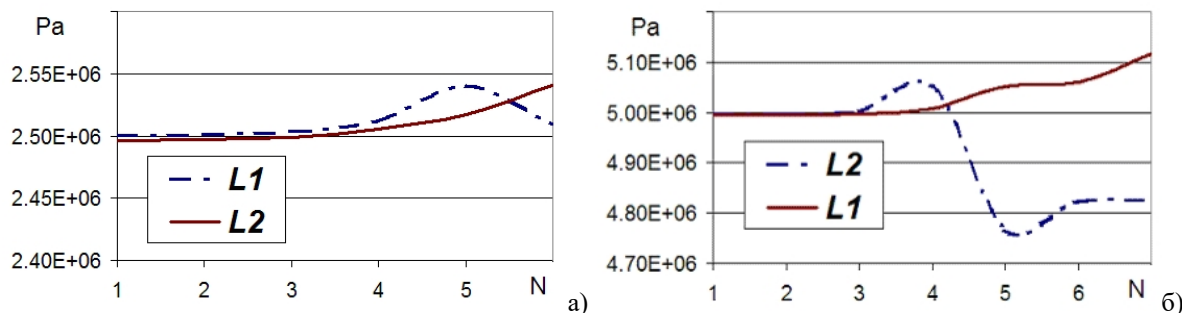
Фиг. 2. Резултати от изследването на образец с дебелина 18 mm, формиран чрез MIG (а) и EBW (б) технология за заваряване.

На фиг. 3 а) и б) са показани резултатите, получени за нива L1 и L2 за образец с дебелина 10 mm. И тук се забелязва отклонение на напрегнатото състояние в шева, като то достига в рамките от 2 до 4% и зависи от напрегнатото състояние.

### ИЗВОДИ

На базата на направените изследвания се установяват следните изводи:

- Налице е неравномерно натоварване в заваръчния шев и зоната на термично влияние в резултат на разликата в механичните характеристики в тези зони.
- Неравномерното натоварване зависи от големината на приложената външна сила, като по-голямата сила предизвиква относително по-голяма неравномерност.



Фиг. 3. Резултати от изследването на образец с дебелина 10 mm, формиран чрез MIG (а) и EBW (б) технология за заваряване.

В направеното по-горе изследване е установено количествено нарастване на напрежението в шева от 4 до 25 %. При якостно изчисляване на шева тези стойности следва да бъдат използвани за обосновка на коефициент, отчитащ структурата на шева и на зоната на термично влияние и съобразен с технологията на заваряване.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] A. Ramazani , K. Mukherjee, A. Abdurakhmanov, U. Prael, M. Schleser, U. Reisgen , W. Bleck. Micro–macro-characterisation and modelling of mechanical properties of gas metal arc welded (GMAW) DP600 steel. *Materials Science & Engineering A* 589 (2014) 1–14.
- [2] Peter Kopas1,, Milan Sága1, Michal Jambor, František Nový, Libor Trško, Lenka Jakubovičová1. Comparison of the mechanical properties and microstructural evolution in the HAZ of HSLA DOMEX 700MC welded by gas metal arc welding and electron beam welding. *MATEC Web of Conferences* 244, 01009 (2018)
- [3] Mahendran M. THE MODULUS OF ELASTICITY OF STEEL -IS IT 200 GPa? Thirteenth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures St. Louis, Missouri U.S.A., October 17-18,1996.
- [4] Boumerzoug Z., C. Derfouf , T. Baudin. Effect of Welding on Microstructure and Mechanical Properties of an Industrial Low Carbon Steel. *Engineering* , 2010, 2, 502-506 doi:10.4236/eng.2010.27066.
- [5] Milton Sergio Fernandes de Limaa, Sheila Medeiros de Carvalhob, Viviane Teleginskia, Moisés Parionad. Mechanical and Corrosion Properties of a Duplex Steel Welded using Micro-Arc or Laser. *Materials Research*,vol.18 no.4 São Carlos July/Aug. 2015.
- [6] Ambuj Saxena, A. Kumaraswamy, G. Madhusudhan Reddy, Vemuri Madhu. Influence of welding consumables on tensile and impact properties of multi-pass SMAW Armoх 500T steel joints vis-a-vis base metal. *Defence Technology* 14 (2018) 188-195.
- [7] Добавъчни материали за заваряване. Наръчник. ЕСаб България ЕАД.
- [8] Talabi, S.I., Owolabi, O.B., Adebisi, J.A., Yahaya,T. Effect of welding variables on mechanical properties of low carbon steel welded joint. *Advances in Production Engineering & Management*, Volume 9 | Number 4 | December 2014 | pp 181–186.
- [9]. Коларов И., Г. Димчев. Машинни елементи. Учебник. ВТУ, София. 2018 г.

**Благодарности:** *Работата е създадена при разработване на научноизследователски проект «Напрегнато състояние в характерни зони от еластичната среда в типични конструкции от заваръчни съединения», подкрепен от МОН.*

# ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF WELD STIFFNESS AND THERMAL ZONE ON THE WELD COEFFICIENT OF CONCENTRATION

*Ivan Kolarov*

[ikolarov@vtu.bg](mailto:ikolarov@vtu.bg)

*Todor Kableshkov University,  
158 Geo Milev Str., Sofia, Bulgaria*

**Keywords:** Structural despoliations in weld, uniformity in mechanical stress in weld

**Abstract:** Weld strength is a complex characteristic that depends on a large number of factors, such as the size and shape of the weld, the properties of the materials of the welding elements and of the additive in material, the welding technology and the associated zones of thermal influence in the seam, imperfections in stitching etc. Numerous studies on the weld structure between iron-based materials have shown that there is considerable heterogeneity due to the difference in the crystal lattice of the elastic medium.

The purpose of the present study is to evaluate the possible influence of weld stiffness and elastic medium in the area of thermal zone on the concentration coefficient of weldings.

The objective is achieved by virtual experiments to determine the stress state in different parts in a butt weld. A 3D model of welded specimens has been made in CAD, for which literature data are available on the hardness of the elastic medium in different weldings and thermal impact zones. The model was created without taking into account the typical geometric deviations due to the welding technology. The areas with a relatively homogeneous structure are pre-created as separate elements and the model is assembled in CAD. The structure is loaded statically by the finite element method at the yield limit. The stresses in the weld and in the areas around it are calculated. The typical effect of structural changes in the weld on the stress state in the weld is determined. There is an uneven load, which is explained by the different deformation behavior in the different areas of the welding. The relative changes in the stress in the welding zones are calculated and values within 4 - 25% of the theoretical load are obtained.

The results can justify a common coefficient of concentration in the weld due to structural changes.