

КОМПЛЕКСНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗАВАРЕНИ СЪЕДИНЕНИЯ С ВГРАДЕНИ НЕЦЯЛОСТНОСТИ

Варвара Веселинова – Гутева; Биляна Димчева Димова

Abstract: The publication is dedicated to the study of complex welded joints with built – discontinuity **type B** «slag inclusions and metallic inclusions», **type D** «cavities» and **type E** «cracks». The influence of the type, size, location number and characteristics of embedded discontinuity on the acoustic and mechanical properties of the tested welds are studied.

Key words: discontinuity in welded joints, non – destructive testing methods, destructive methods, acoustic characteristics, physical – mechanical characteristics.

1. ВЪВЕДЕНИЕ.

Публикацията е посветена на комплексното изследване на заварени съединения с вградени нецялостности от **тип В** «шлакови включения и метални включения», от **тип D** «непровари» и от **тип E** «пукнатини». Изследвано е влиянието на вида, размерите, разположението, броя и характеристиките на вградените нецялостности върху акустичните и механични характеристики на изследваните неразглобяеми заварени съединения.

Познаването на акустичните и механичните характеристики на заварените съединения е от съществено значение при разработване на оптимални ултразвукови методики за безразрушителен контрол, при проектиране на оптимални конструкции и при оптимизиране на технологичните процеси за реализиране на неразглобяеми заварени съединения. В изследването на сложната структура на съединението «заваръчен шев и основни метали» се открояват няколко подхода за схематизация: като «**изотропен материал**» с характеристики отлични от тези на основните метали «с и без отчитане на геометрията» [Волков А.И. и др. 1994; Киреган Д.Е. 1997]; като «**единичен кристал с кубична симетрия**» [Silk M.G. 1999] и като «**ортотропен материал**» [Лозев М. 1994].

Установяването на акустичните и на физико – механичните характеристики на заварените съединения значително се усложнява при наличие на нецялостности в зоната на заваръчния шев. Необходимо е съставяне на «**теоретичен подход**» за определяне на акустичните и механичните характеристики

на заварени съединения в зависимост от вида, броя, размерите, разположението и характеристиките на нецялостностите, който да бъде апробиран върху реални заварени конструкции; или съставяне на «**експериментален подход**», резултатите от който да получат съответните теоретични потвърждения.

Образците са подготвени за «**X-образен шев**». Данните за изкуствено вградените нецялостности в шева за отделните серии образци са посочени в таблица 1. Операцията заваряване за част от образците е изпълнена «**ръчно**» с апарат тип «Кракра ИЗА – 500», на «**обратна полярност**», при «**сила на тока 85А**», с електрод марка «Nort», с диаметър «**d = 2,5мм**»; а за образците от останалите серии е изпълнена по «**ВИГ-метод**, при използване на газ «аргон, с разход 9 L.min⁻¹» със заваръчен апарат инверторен тип марка «Invertec V-400», при «**сила на тока 68А**», с добавъчен материал «**тел от стомана 20, помеднена**», с диаметър «**d = 1.2 мм**».







2. БЕЗРАЗРУШИТЕЛЕН КОНТРОЛ НА ЗАВАРЕНИ СЪЕДИНЕНИЯ.

За всички серии образци са направени радиограми на заваръчните шевове. Съгласно указанията на нормативните документи за оценяване на радиограмите са **определени: вида, относителния размер, честотата** на нецялостностите в изследвания нормиран участък, а това позволява **да се установи степента и класа** на дефектност на заварените съединения. Обобщените резултатите са представени в таблица 2.

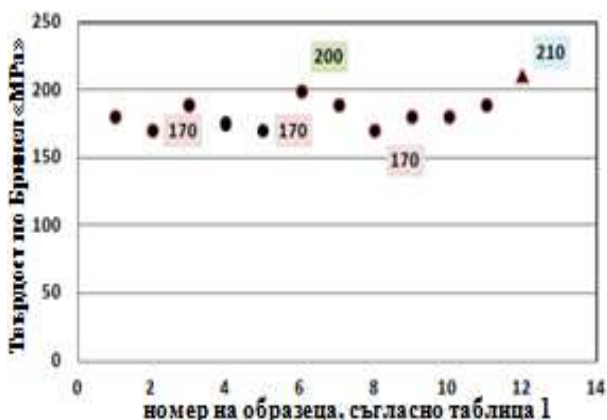
Таблица 1. **ДАНИИ ЗА ВГРАДЕНИТЕ НЕЦЯЛОСТНОСТИ В ИЗСЛЕДВАНИТЕ ЗАВАРЪЧНИТЕ ШЕВА**

№ НА СЕРИЯТА	ВИД НА ВГРАДЕНИТЕ НЕЦЯЛОСТНОСТИ	БРОЙ НА ВГРАДЕНИТЕ НЕЦЯЛОСТНОСТИ В ШЕВА	ХАРАКТЕРНИ РАЗМЕРИ НА НЕЦЯЛОСТНОСТИТЕ «ММ»	РАЗПОЛОЖЕНИЕ НА НЕЦЯЛОСТНОСТИТЕ
1.	без вградена нецялоостност			
2.	без вградена нецялоостност			
3.	волфрам – парче електрод	една нецялоостност		едностранно
4.	волфрам – парче електрод	две нецялоостности		двустранно
5.	корунд	една нецялоостност		едностранно
6.	шлака			
7.	камък	една нецялоостност	«5 x 6»	едностранно
8.	камък	две нецялоостности	«4,4x2,7» и «4,5x3,6»	двустранно
9.	корунд	две нецялоостности		двустранно
10.	непровар			
11.	камък	две нецялоостности	«4,5x3,8» и «5,6x3,5»	едностранно
12.	еталонен образец без заваръчен шев			

Таблица 2. **РЕЗУЛТАТИ ОТ РАДИОГРАФИЧНИЯ КОНТРОЛ НА ИЗСЛЕДВАНИТЕ ОБРАЗЦИТЕ**

№ НА ИЗСЛЕДВАНИЯ ОБРАЗЕЦ И ВЪВЕДЕНИ ОЗНАЧЕНИЯ	3. 	4. 	5. 	6. 	7. >.<	8. >:<	9. 	10. 	11. >..<
ВИД НА ВГРАДЕНИТЕ НЕЦЯЛОСТНОСТИТЕ В ШЕВА	Vc	Vc	Va	Ea	Va	Va	Va	Dc	Vb
ХАРАКТЕРЕН РАЗМЕР НА НЕЦЯЛОСТНОСТИТЕ В «X – ММ»	3	2,5	1,4		5	4	3,5	7	5,6
ОТНОСИТЕЛЕН РАЗМЕР НА НЕЦЯЛОСТНОСТИТЕ «W – %»	30	25	14		50	40	35	70	56
СТЕПЕН НА ДЕФЕКТНОСТ НА ЗАВАРЪЧНИЯ ШЕВ СПОРЕД РАЗМЕРА НА НЕЦЯЛОСТНОСТИТЕ	3	3	2		4	4	4	5	5
ЧЕСТОТА НА НЕЦЯЛОСТНОСТИТЕ «ВС» В ИЗСЛЕДВАНИТЕ НОРМИРАНИ УЧАСТЪЦИ «N – %»	3	2,5	1,4		5	4	3,5	7	5,6
СТЕПЕН НА ДЕФЕКТНОСТ НА ЗАВАРЪЧНИЯ ШЕВ СПОРЕД ЧЕСТОТАТА НА НЕЦЯЛОСТНОСТИТЕ	1	1	1		1	1	1	1	1
СЪКРАТЕНИ ОЗНАЧЕНИЯ НА ВГРАДЕНИТЕ НЕЦЯЛОСТНОСТИ	Vc31	Vc31	Va21	Ea	Va41	Va41	Va41	Dc51	Vb51
КЛАС НА ДЕФЕКТНОСТ НА ИЗСЛЕДВАНИТЕ ЗАВАРЪЧНИ СЪЕДИНЕНИЯ	3	3	2		5	5	5	5	5

Резултатите, относно твърдостта по Бринел «*HB*» за всички серии образци в зоната на заваръчния шев «*I зона, при $l = 0$* », в зоните на основните метал «*III зона, при $l = \pm 10$ мм*» и в преходните зони на шева «*II зона, при $l = \pm 8$ мм*» са представени на фигура 1. Характерният размер на нецялостностите оказва слабо влияние върху твърдостта по Бринел «*HB*» на заварените съединения, но разположението им оказва съществено влияние. При образци с едностранно разположение на вградените нецялостности в шева твърдостта по Бринел «*HB*» е по – голяма в сравнение с тази при двустранно разположение на нецялостностите.



Фиг.1. Връзка между твърдостта на материала, разположението, броя и вида на вградените нецялостности в изследваните заварени съединения.

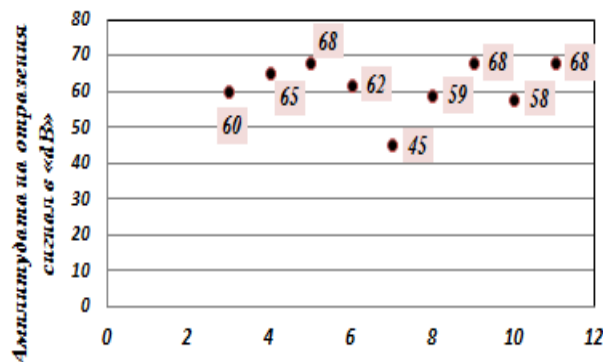
Основната задача на проведения ултразвуков безразрушителен контрол е откриването, локализирането и определянето на еквивалентните размери на вградените нецялостности в изследваните заварени образци. За изпълнение на така формулираната задача са определени **амплитудата** на отразения сигнал *A* «*dB*», **акустичния тракт *L*** «*мм*» и **дълбочината** на разположение на нецялостностите в шева *h* «*мм*». Получените резултати са обобщени, част от тях графично са представени на фигури 2, 3, 4, и 5; и аналитично – чрез зависимостите (1) и (2):

(1.) при $R^2 = 0,9773A^{**} = 0,3033. x^2 - 1,5165. x + 65,162$

(2.) при $R^2 = 0,9666A^{**} = 0,5376. x^2 - 0,1613. x + 52,043$

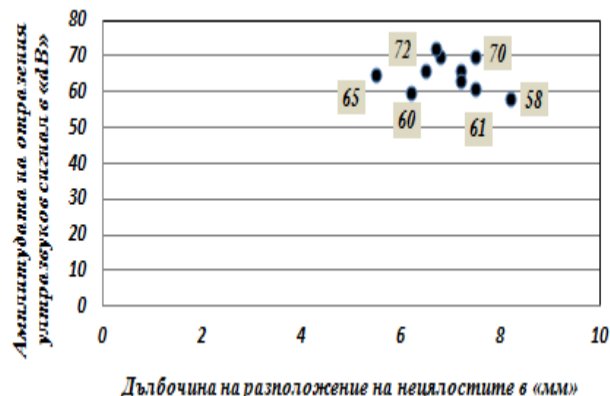
където: A^{**} и A^{**} са съответно амплитудите на отразения сигнал при едностранно и двустранно разположение на нецялостностите в шева «*dB*»; *x* е характерен размер на

вградената нецялостност в «*мм*». Графичните зависимости дават достатъчно нагледна представа за влиянието на характерния размер на вградените нецялостности върху амплитудата на отразения сигнал тя се изменя в интервала «*40÷70 dB*» за изследваните об-

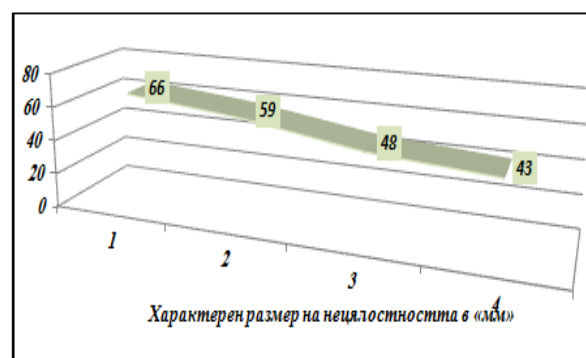


Номер на образца, съгласно таблица 1.

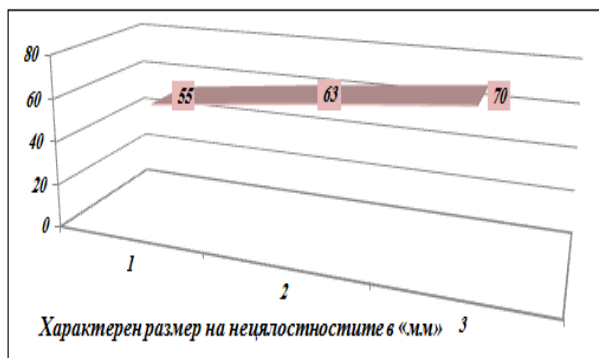
Фиг.2. Зависимост между амплитудата на отразения ултразвуков сигнал, разположението, броя и вида на вградените нецялостности в изследваните заварени съединения.



Фиг.3. Зависимост между амплитудата на отразения ултразвуков сигнал и дълбочина на разположение на вградените нецялостности в изследваните заварени съединения.



Фиг.4. Зависимост между амплитудата на отразения ултразвуков сигнал, разположението, размерите и вида на едностранно вградените нецялостности в изследваните заварени съединения.



Фиг.5. Зависимост между амплитудата на отразения ултразвуков сигнал, броя, вида и характерния размер на вградените двустранно нецялостности в изследваните заварени съединения.

разци. Броят на вградените нецялостности и тяхното разположение в шева оказват влияние върху амплитудата на отразения сигнал. **Например:** при вградена една нецялостност «камък» с характерен размер « $x=5\text{мм}$ » амплитудата на отразения сигнал е $A^{*} = 50 \text{ dB}$; при вградени две нецялостности «камък» с характерен размер « $x=5\text{мм}$ » и едностранно разположени в зоната на шева амплитудата на отразения сигнал е $A^{*} = 60 \text{ dB}$. Установява се, че влиянието на вградените нецялостности от корунд върху амплитудата на отразения сигнал, се отразява по-слабо, тя се изменя в интервала – $A = 59 \div 62 \text{ dB}$. Този факт се дължи на различните стойности на акустичното съпротивление на материалите при различните вградени нецялостности в заварените съединения.

3. РАЗРУШИТЕЛНИ ИЗПИТВАНИЯ НА ЗАВАРЕНИ СЪЕДИНЕНИЯ

Вградените нецялостности оказват влияние върху механичните характеристики на основния материал и на заварените съединения. Това се установява от работните диаграми « $P - \Delta l$ » получени в резултат от разрушителните изпитвания на образците при центричен опън. Измененията нямат само количествен характер, те имат и качествено отражение, което се изразява в сгъстяване на характерни точки и отпадане на характерни участъци от работните диаграми. **Например:** намаляване продължителността на процеса провлачане т.е. съкращаване на площадката на провлачане; намаляване продължителността на допълнителното уякчаване на материала, отпадане на етапите формиране и разрушаване на шийката. Регистрираните

изменения обуславят промяна в поведението на изследваните съединения в процеса на разрушаване, като се наблюдава преход от пластично към крехко разрушаване. Експерименталните резултати за всички серии образци са обобщени, графично представени на фигури 6.÷ 8. и аналитично чрез зависимостите:

(3.) при $R^2 = 0,5846$

$$\sigma_S^{*} = 3,5101 \cdot x^2 - 2,5455 \cdot x + 367,467$$

(4.) при $R^2 = 0,8754$

$$\sigma_S^{*} = 2,9787 \cdot x^2 - 2,1535 \cdot x + 264,414$$

(5.) при $R^2 = 0,7415$

$$\sigma_B^{*} = 3,5101 \cdot x^2 - 38,401 \cdot x + 428,460$$

(6.) при $R^2 = 0,5846$

$$\sigma_S^{*} = 3,5101 \cdot x^2 - 2,5455 \cdot x + 367,467$$

(7.) при $R^2 = 0,8754$

$$\sigma_S^{*} = 2,9787 \cdot x^2 - 2,1535 \cdot x + 264,414$$

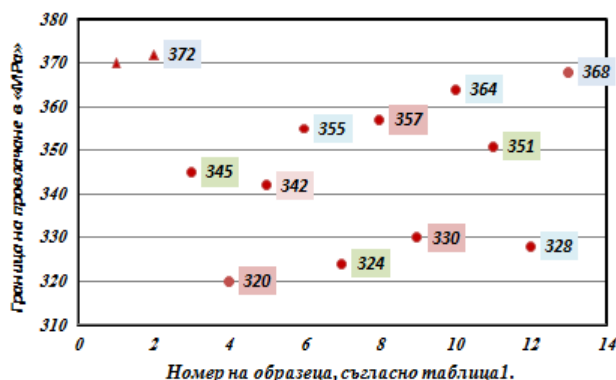
(8.) при $R^2 = 0,7415$

$$\sigma_B^{*} = 3,5101 \cdot x^2 - 38,401 \cdot x + 428,460$$

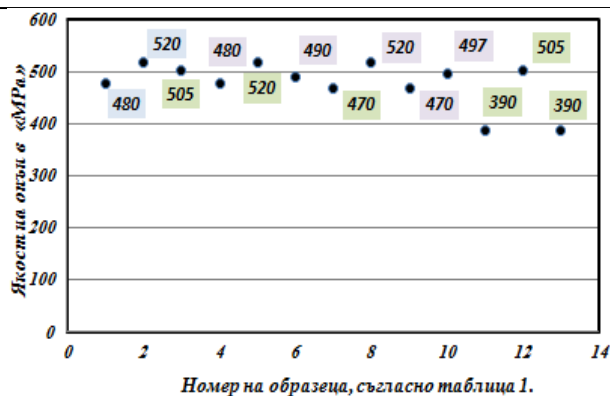
където: σ_S^{*} ; σ_B^{*} ; $\sigma_{уст.}^{*}$ са установените механичните характеристики при опън за образци с едностранно вградени нецялостности в заваръчните шевове – «МРа»;

σ_S^{*} ; σ_B^{*} ; $\sigma_{уст.}^{*}$ са установените механичните характеристики при опън за образци с двустранно вградени нецялостности в заваръчните шевове – «МРа»;

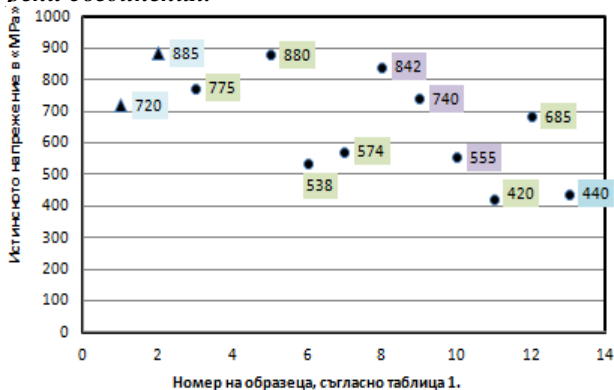
x е характерния размер на вградена-та нецялостност в шева – «мм».



Фиг.6. Зависимост между границата на провлачане, разположението, броя, вида и характерния размер на вградените нецялостности в изследваните заварени съединения.



Фиг.7. Зависимост между якостта на опън, разположението, броя, вида и характерния размер на вградените нецялостности в изследваните заварени съединения.



Фиг.8. Зависимост между истинското напрежение, разположението, броя, вида и характерния размер на вградените нецялостности в изследваните заварени съединения.

Сравнявайки експерименталните резултати за механичните характеристики: границата на провлачане σ_s , якостта при опън σ_B и истинското напрежение $\sigma_{ист}$ за образците със заварени съединения без вградени нецялостности и за образците без заварени съединения, се установява, че подготовката и изпълнението на процеса заваряване са подходящо подобрени.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на проведените експериментални изследвания върху образци със заварени съединения с изкуствено вградени нецялостности от *типа В* «шлакови включвания и метални включвания», от *типа D* «непровари» и от *типа E* «пукнатини» са обобщени оценките за амплитудата на отразените ултразвукови сигнали *A*, за границата на провлачане σ_s , якостта при опън σ_B и за истинското напрежение $\sigma_{ист}$. Построени са работните диаграми за всеки образец и е детерминиран вида на разрушаването. **Доказано** е определящото влияние на размерите,

местоположението, броя и акустичното съпротивление на вградените нецялостности върху изследваните характеристики и са получени нови данни за тях. **Установено е**, че изследваните характеристики са носители на информация относно броя, местоположението, размерите и вида на вградените нецялостности в заварените съединения, което ги определя като диагностични параметри и **е желателно** да намерят приложение при разработване на нови методи за диагностика и безразрушителен контрол. **Предстои** тези резултати да бъдат допълнени след изследване на заварени съединения с вградени нецялостности от *типа А* «пори» и да се предложи обобщена, единна методика за апробиране на подхода върху реални заварени конструкции.

БЛАГОДАРНОСТИ.

Обобщените и представени резултати са част от фундаментални изследвания относно дълготрайността на конструкционни материали, подложени на променливи натоварвания. Изследванията са подкрепени и финансирани по научен проект ДУНК-01/3 към «Фонд Научни изследвания» при «Министерството на образованието, младежда и науката», България.

ЛИТЕРАТУРА:

- Волков А.С.; И.Н. Армолов; Л.В. Басацкая; И.А. Вятков; В.С. Гребеник. Прохождение ультразвуковых волн через границу сплавления аустенитного шва. Дефектоскопия, 2004, 5, 8377.
- Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. Москва, Машиностроение, 1991.
- Лозев М.Г. Безразрушителен контрол на заварени съединения в химическото машиностроение, София, ИМБМ – БАН, 1994.
- Kuperman D.E.; N.I. Fiore. Role of microstructure in ultrasonic inspectability of austenitic stainless steel welds. Material evaluation, 2007, 36, 76.
- Silk M.; G.B. Lidington; G.F. Hammond. A time domain approach to crack location and sizing in austenitic welds. British Journal of NDT, 1999, 55 – 61.

За контакти:

доц. д-р инж. **Варвара Веселинова – Гутева**
9010 Технически университет – Варна
служебен телефон: 052 383 576
GSM 0894 645 313 gutevavv@abv.bg

доц. д-р инж. **Биляна Димчева Димова**
1000 Технически университет – София
служебен телефон: 02 383 576
GSM 9888 866 531 bdimova@tu-sofia.bg