



## **Macroscopic Examinations of Welded Joints in the Qualification of Welding Procedures**

Marina MANILOVA, Rositza DIMITROVA, Radostina ZAEKOVA

Institute of Metal Science, Equipment and Technologies with Hydro- and Aerodynamics Centre  
“Acad. A. Balevski” at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria,  
e-mail: [mamanil@abv.bg](mailto:mamanil@abv.bg); [rossy@ims.bas.bg](mailto:rossy@ims.bas.bg); [rzaekova@ims.bas.bg](mailto:rzaekova@ims.bas.bg)

### **Abstract**

The main purpose of welding procedure qualification is to show that the method of joining proposed for a particular structure ensures the production of joints with the necessary mechanical properties for the intended application. The study of welded joints macrostructure gives us a visual information, which is used in welding procedures qualification.

This report presents different types of tested welded joints and draws conclusions about their quality.

**Keywords:** Qualification, welding procedures, welding processes, macroscopic examination

## **Макроскопски изследвания на заварени съединения при квалифициране на заваръчни процедури**

Марина МАНИЛОВА, Росица ДИМИТРОВА, Радостина ЗАЕКОВА

### **1. Увод**

Спецификациите на заваръчните процедури са необходими, за да се осигури добре дефинирана база за правилно планиране на заваръчните операции и за контрол на качеството по време на заваряване. В терминологията на стандартите към системите за качество заваряването се счита за специален процес. Стандартите към системите за качество изискват специалните процеси да се извършват в съответствие с писмени спецификации на процедурите.

Съставянето на спецификация за заваръчна процедура осигурява необходимата основа за осигуряване на качеството, но сама по себе си тя не гарантира, че заварените съединения отговарят на изискванията. Някои отклонения, като несъвършенства и изменения във формата и размерите, могат да се преценят чрез неразрушаващи методи за контрол върху готовия продукт.

Металургичните отклонения, обаче, представляват специален проблем. Оценяването им, а също и механичните свойства на завареното съединение въз основа на неразрушаващи методи, е невъзможно при сегашното равнище на технологиите за неразрушаващо изпитване и контрол. Това довежда до създаването на система от правила за признаване на заваръчната процедура, преди спецификацията да бъде реализирана в производството.

Дефиницията на „заваръчна процедура“, съгл. стандарт БДС EN ISO 15609 е: „Определен начин и последователност от действия, които трябва да се следват при изготвяне на заварено съединение, включително определянето на материалите,

подготовката, предварителното нагриване (ако е необходимо), методът и контролът на заваряването и термообработката след заваряване (ако е необходимо) и технологичното обзавеждане, което следва да се използва“. За заваръчните процеси в този стандарт се използват номенклатурата и дефинициите, дадени в ISO 857. Спазена е системата на номериране за процеси на заваряване в ISO 4063.

Понастоящем съществуват голям брой национални стандарти за специфициране и одобрение на заваръчни процедури. Въпреки, че стандартите са сходни, изискванията им се различават в множество подробности. Стандартът БДС EN ISO 15609 (част 1 и следващите части) представлява европейска стандартизирана система за специфициране и одобрение на заваръчни процедури, приета и одобрена от нашата страна.

Посоченият стандарт допуска следните методи за одобрение на заваръчната процедура:

- изпитвания на заваръчна процедура по БДС EN ISO 15614:2017 – „Спецификация и квалификация на заваръчни процедури за метални материали. Изпитване на заваръчна процедура“ от 1 до 14 за различните методи на заваряване [2];
- одобрени допълнителни заваръчни материали по EN 288-5;
- предишен заваръчен опит по EN 288-6;
- стандартна (нормирана) заваръчна процедура по EN 288-7;
- предпроизводствено изпитване на заваряване по EN 288-8.

С изключение на методи 3 и 4, всички останали изискват прякото участие на заваръчния персонал, ангажиран в производството, т.е. заваръчният персонал не само ползва заваръчната процедура, но участва и в нейното одобряване.

## **2. Квалифициране на заваръчни процедури**

Терминът „квалифициране“ означава доказване, че избраната специфицирана заваръчна процедура отговаря, с така заложените елементи, на процеса заваряване, за получаване на качествено заварено съединение според изискванията за него.

Квалифицирането на специфицираната заваръчна процедура се извършва съгласно стандарт БДС EN ISO 15614:2017 – „Спецификация и квалификация на заваръчни процедури за метални материали. Изпитване на заваръчна процедура“ от 1 до 14 за различните методи на заваряване.

Основната цел на квалификацията на процедурата по заваряване е да покаже, че начинът на съединяване, предложен за конкретна конструкция, гарантира производството на съединения с необходимите механични свойства за предвиденото приложение. Провеждат се две нива на тестовете на процедурата по заваряване, за да може да се прилагат върху широка гама от заварени изделия. Те са обозначени съответно с нива 1 и 2. В ниво 2 степената на тестване е по-голяма и диапазоните на квалификация са по-ограничителни, отколкото в ниво 1. Процедурите, извършени на ниво 2, автоматично отговарят на изискванията за ниво 1, но не обратното. Когато в договор или стандарт за прилагане не е посочено ниво, се прилагат всички изисквания на ниво 2. Стандартът ISO 15614-1:2017 се отнася за електродъгово и газово заваряване на стомани във всички продуктови форми и електродъгово заваряване на никел и никелови сплави във всички форми на продукта.

### 3. Изпитване и изследване на образци по заваръчна процедура

Заваряването и изпитването на пробните тела се извършва съгласно прилагания стандарт.

Изпълняващият заварчик или оператор, който изпълни успешно изпита на заваръчната процедура в съответствие с този документ, се квалифицира съгласно съответния национален/международен стандарт, който се прилага, при положение, че са изпълнени съответните изисквания към изпитването на този стандарт [1].

#### 3.1. Вид и обхват на изпитването

За ниво 1: Видът и обхватът на изпитването трябва да бъдат в съответствие с изискванията на таблица 1. В случай, че приложен стандарт или спецификация изисква изпитване на ударна жилавост, изпитване на твърдост или изпитване без разрушаване (NDT), то тези изпитвания трябва да се проведат и оценят в съответствие с изискванията на ниво 2, доколкото в приложения стандарт или спецификация няма други изисквания.

За ниво 2: Видът и обхватът на изпитването трябва да бъдат в съответствие с изискванията на таблица 2.

Даден приложен стандарт може да установи и допълнителни изпитвания, например:

- изпитване на опън надлъжно на заваръчния шев;
- изпитване на огъване на метала на заваръчния шев;
- изпитване на корозия;
- химически анализ;
- макроскопско изследване;
- определяне съдържанието на делта-ферит;
- изпитване на твърдост;
- изпитване на опън на кръстообразна проба;
- изпитване на ударна жилавост;
- изпитване без разрушаване (NDT, en: non-destructive testing).

**ЗАБЕЛЕЖКА:** Определени условия, отнасящи се до въвеждането в експлоатация, до материала или до производството, могат да изискват по-широкообхватни изпитвания от посочените в този документ, целта на които е да се получи повече информация и да се избегне евентуално повторение на изпитването на заваръчната процедура на по-късен етап за получаването на допълнителни данни от изпитванията.

Таблица 1 – За ниво 1: Изследване и изпитване на пробните тела

Пробно тяло	Вид изпитване	Обхват на изпитването
Челно съединение с пълен провар	Визуално изпитване	100%
	Напречно изпитване на опън	2 пробни тела
	Напречно изпитване на огъване	4 пробни тела
Ъглови шевове	Визуално изпитване	100%
	Макроскопско изследване	2 пробни тела

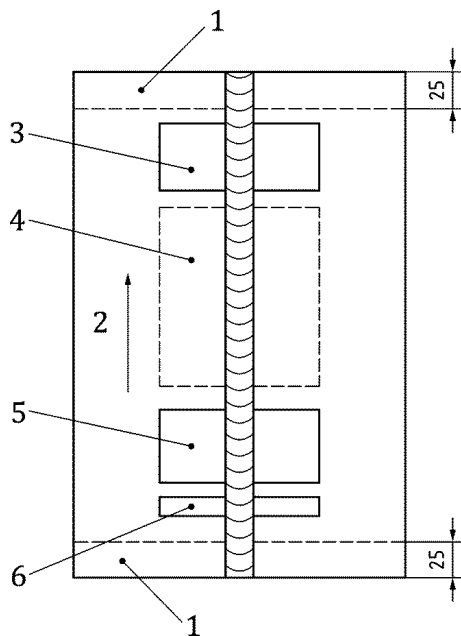
Таблица 2 – За ниво 2: Изследване и изпитване на пробните тела

Пробно тяло	Вид изпитване	Обхват на изпитването	Забележка
Челно съединение с пълен провар	Визуално изпитване	100%	–
	Радиографично или ултразвуково изпитване	100%	a
	Изпитване за откриване на повърхностни пукнатини	100%	b
	Напречно изпитване на опън	2 пробни тела	–
	Напречно изпитване на огъване	4 пробни тела	c
	Изпитване на ударна жилавост	2 комплекта	d
Т-образно съединение с пълен провар Тръбно разклонение с пълен провар	Изпитване на твърдост	изисква се	e
	Макроскопско изследване	1 пробно тяло	–
	Визуално изпитване	100%	b
	Изпитване за откриване на повърхностни пукнатини	100%	b
Ъглови шевове	Радиографично или ултразвуково изпитване	100%	a, g
	Изпитване на твърдост	изисква се	e
	Макроскопско изследване	2 пробни тела	
<p><sup>a</sup> Ултразвуковото изпитване не трябва да се използва при <math>t &lt; 8</math> mm и при групи материали 8, 10, 41+48</p> <p><sup>b</sup> При достъпност до повърхността на заваръчния шев: изпитване с проникващи течности или магнитно-прахово изпитване. За немагнитни материали – само изпитване с проникващи течности.</p> <p><sup>c</sup> За изпитванията на огъване виж 7.4.2.</p> <p><sup>d</sup> Един комплект за метала на шева и един комплект за ЗТВ при материали с дебелина <math>\geq 12</math> mm и с определени свойства за ударната жилавост, изисквани от техническите условия на доставката и/или отговарящи на условията за въвеждане в експлоатация. Някои приложни стандарти могат да изискват изпитване на ударна жилавост при дебелини под 12 mm. Температурата на изпитване трябва да бъде избрана от производителя по отношение на приложението или приложението стандарт. За допълнителни изпитвания виж 7.4.4.</p> <p><sup>e</sup> Не е необходимо при основни материали метали от: подгрупа 1.1, групи 8 и от 41 до 48 и при смесени съединения между материали от тези групи, с изключение на смесените съединения между материали от подгрупа 1.1. и група 8.</p> <p><sup>f</sup> Когато при ползването на даден приложен стандарт са необходими механичните свойства, те трябва да бъдат съответно изпитани. В случай, че е необходимо допълнително пробно тяло, то размерите му трябва да бъдат достатъчни, за да могат да се изпитат механичните свойства. За това допълнително пробно тяло трябва да се запазят същи следните: обхват на заваръчните параметри, група на основния материал, добавъчен материал и термична обработка.</p> <p><sup>g</sup> При външен диаметър <math>\leq 50</math> mm не е необходимо ултразвуково изпитване, а радиографично изпитване при условие, че формата на завареното съединение гарантира получаването на достоверни резултати. При външен диаметър на тръбата <math>&gt; 50</math> mm и когато по технически причини е невъзможно ултразвуково изпитване, трябва да се приложи радиографично изпитване при условие, че формата на завареното съединение гарантира получаването на достоверни резултати.</p>			

### 3.2. Разположение и вземане на образците за изпитване

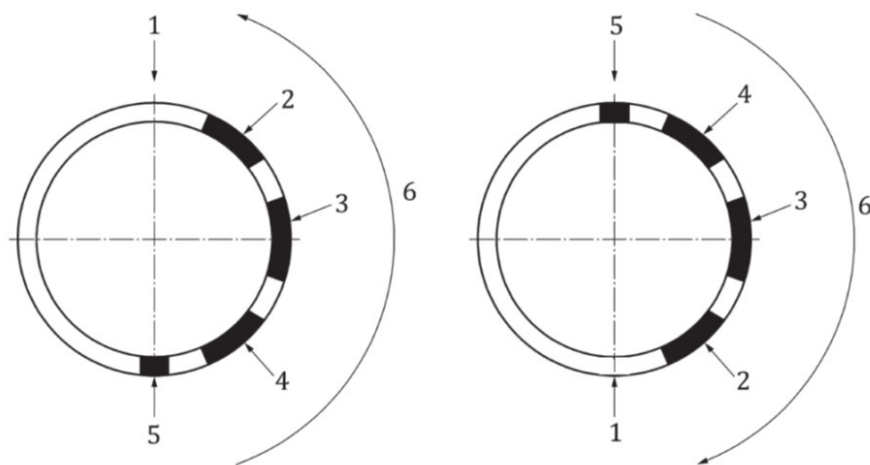
Образците за изпитване трябва да се вземат в съответствие с фигури 1, 2, 3 и 4.

Допуска се образците за изпитване да се вземат по такъв начин, че да не бъдат обхванати области с несъвършенства, които са в границите на приемане за съответния/ите метод/и за изпитване без разрушаване.



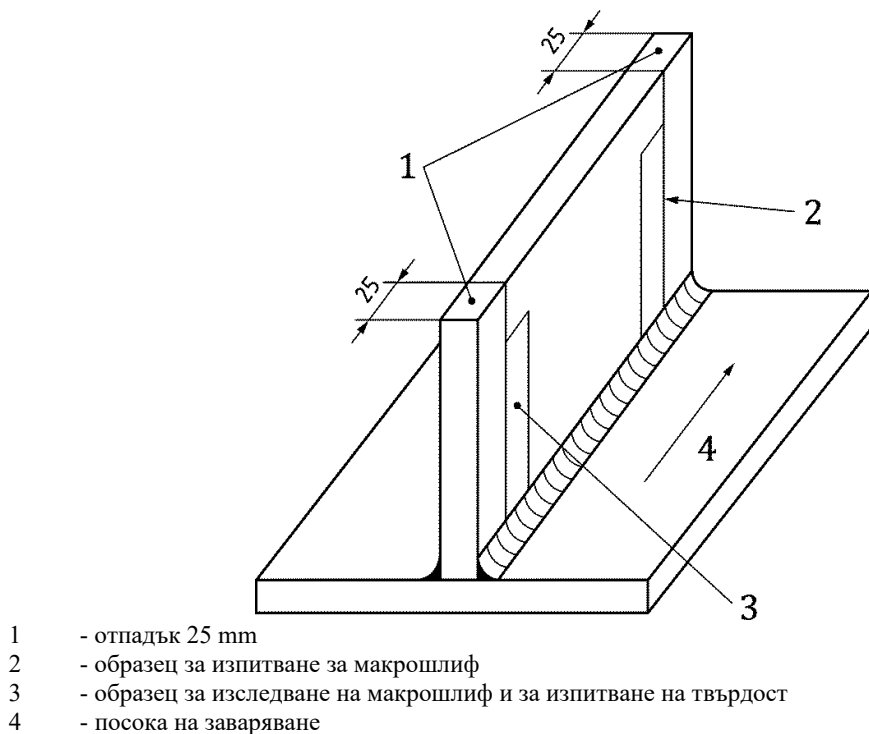
- 1 – отпадък 25 mm;
- 2 – посока на заваряване;
- 3 – област за:
  - образец за изпитване на опън и
  - образци за изпитване на огъване;
- 4 – област за:
  - образци за изпитване на ударна жилавост и при необходимост на допълнителни образци за изпитване;
- 5 – област за:
  - образец за изпитване на опън и
  - образци за изпитване на огъване;
- 6 – област за:
  - 1 образец за изследване на макрошлиф, и
  - 1 образец за изпитване на твърдост

**Фигура 1. Разположение на образците за изпитване при челно съединение от листов материал**

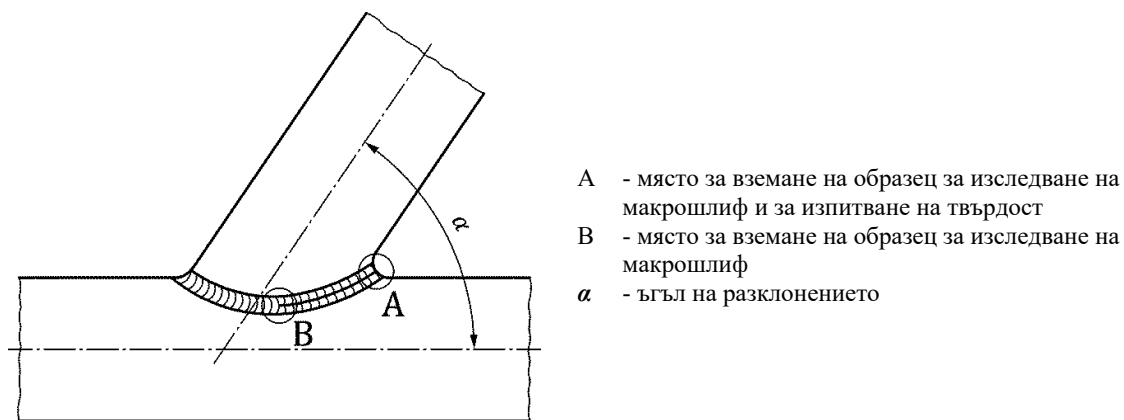


- 1 край на заваръчния шев
- 2 област за:
  - 1 образец за изпитване на опън
  - образци за изпитване на огъване
- 3 област за:
  - образци за изпитване на ударна жилавост и при необходимост на допълнителни образци за изпитване
- 4 област за:
  - 1 образец за изпитване на опън
  - образци за изпитване на огъване
- 5 начало на заваряването; област за:
  - 1 образец за изследване на макрошлиф
  - 1 образец за изпитване на твърдост (взет в началото на заваръчния шев)
- 6 посока на заваряване

**Фигура 2. Разположение на образците за изпитване при челно съединение на тръба**



**Фигура 3. Разположение на образците за изпитване при Т-образно съединение**



**Фигура 4. Разположение на образците за изпитване при тръбно разклонение**

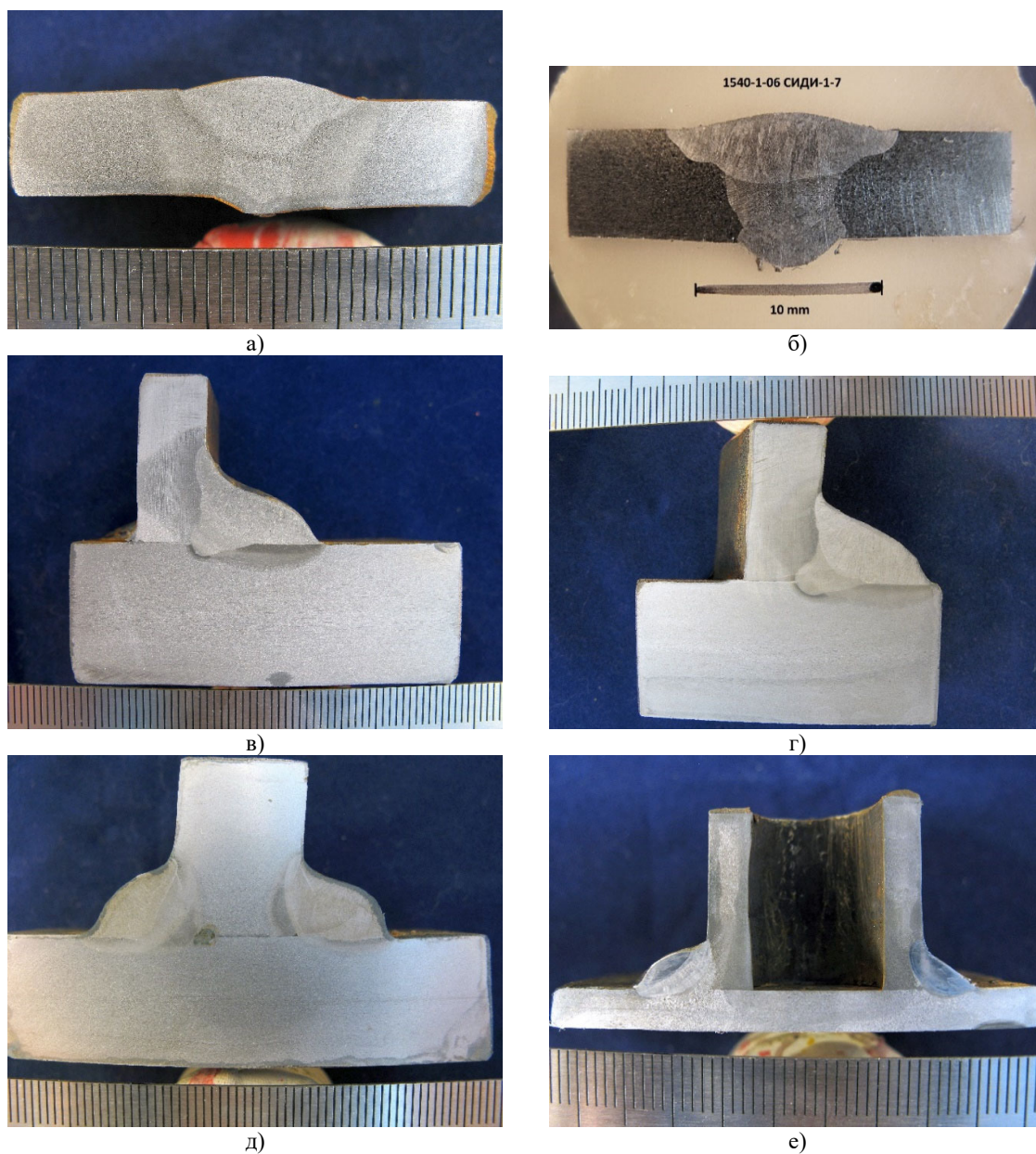
### **3.3. Обработка след вземане на образците за изпитване**

Образците са подготвени по стандартна процедура, съгласно стандарт БДС EN ISO 17639 [3]. При по-малки размери на заварените съединения, с цел правилната им подготовка за макроскопско изследване, те се опаковат в акрилна смола, като това не се прави когато размерите са достатъчно големи. Следваща стъпка е да се шлифват на мокро с шкурки до номер 600, след което се проявяват с подходящ разтвор според вида на метала, чрез потапяне.

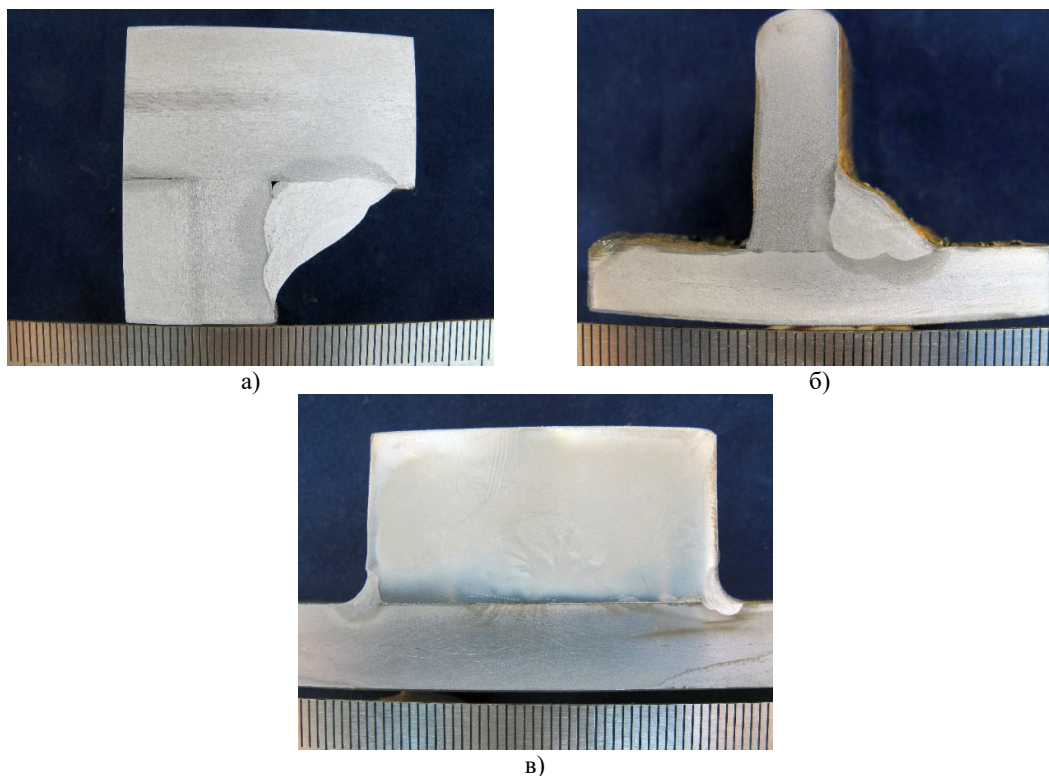
Макроструктурите на заварените съединения са заснети с помощта на цифров фотоапарат Canon Powershot G7. Изследванията се провеждат при стайна температура.

#### 4. Резултати от изпитването

Наблюдаваните макроструктури се демонстрират в издадения протокол, като се описва структурата на завареното съединение – неговата геометрия; зона на термично влияние; непровар, пукнатини, ивично разкъсване, кухини, включвания, ликвация – ако са налични; слоеве и преходи; граници и структура на зърна; кристализационна структура на заваръчния шев и т.н. Изпитваните заварени съединения биват челни или ъглови (фиг. 5), като за основен материал се ползват следните сплави: обикновена стомана, алуминиеви сплави или неръждаващи стомани (фиг. 6).



Фигура 5. Макроструктура на образци: а) и б) челни заварени съединения, като даденото на б) е опаковано в смола; в) и г) едностранни ъглови заварени съединения; д) и е) двустранни ЪЗС



**Фигура 6. Макроструктура на образци от: а) алуминий; б) обикновена стомана; в) неръждаваща стомана**

## 5. Изводи

Докладът (записът) за квалифицирането на заваръчната процедура представлява изложение на резултатите от оценяването на всяко пробно тяло, включително от повторните изпитвания. Съответстващите детайли, описани в WPS съгласно съответната част на ISO 15609, трябва да бъдат включени заедно с детайлите на онези показатели, които поради изискванията на раздел 7 са били отхвърлени. В случай, че не са открити показатели, изискващи отхвърляне или не са налице неприемливи резултати от изпитването, то даденият WPQR, съдържащ резултатите от изпитването на пробното тяло на заваръчната процедура, се квалифицира и трябва да бъде подписан и датиран от лице или орган за изпитване.

Изпитването на заварени съединения чрез изследване на макроструктурата е добър начин за онагледяване на качеството им.

## Литература

1. Marina Manilova, Guidelines on the use of the new standard BDS EN ISO 9606 for the testing and qualification of welders (REVIEW) International Journal “NDT Days, Volume II, Issue 5, Bulgarian Society for NDT (BG S NDT), 2019, ISSN:2603-4018, 603-611
2. EN ISO 15614-1- Спецификация и квалификация на заваръчни процедури за метални материали. изпитване на заваръчна процедура. част 1: Електродръгово и газово заваряване на стомани и електродръгово заваряване на никел и никелови сплави (ISO 15614-1:2017)
3. EN ISO 17639:2013 – Механични изпитвания на заварени съединения от метални материали. Макроскопско и микроскопско изследване на заварените съединения (ISO 17639:2003)