



## **Standardization of the Friction Stir Welding (FSW) Process**

Lilia DIMITROVA

Bulgarian Academy of Science, Institute of Metal Science, Equipment, and Technologies  
with Center for Hydro- and Aerodynamics “Acad. A. Balevski”, Sofia, Bulgaria,  
e-mail: [l.dimitrova@ims.bas.bg](mailto:l.dimitrova@ims.bas.bg)

### **Abstract**

The purpose of this study is to set out the main provisions lay down in the standards for FSW, which aim to improve the quality of manufactured products and to facilitate negotiations between the parties.

**Keywords:** Standards, Friction Stir Welding (FSW), aluminium

## **Стандартизиране на процеса Заваряване чрез триене с размесване (ЗТР)**

Лилия ДИМИТРОВА

### **1. Увод**

Стандартизацията е дейност за определяне на предписания за общо и повтарящо се прилагане, отнасящи се за действителни или евентуални проблеми, чрез които се постига оптимален ред в дадена съвкупност от обстоятелства.

Дейността по стандартизация включва процесите на разработване, одобряване, издаване и прилагане на стандартите, като се спазват общопризнатите основни принципи и правила за работа на стандартизацията. Стандартите се разработват и публикуват в интерес на обществото и представляват мощно средство за информация и взаимно разбиране между партньори. Стандартът е документ, който определя и установява правила за продукти, процеси, технологии или услуги.

Стандартизацията предлага важни предимства, изразяващи се в подобряване на пригодността на продуктите, процесите и услугите за предвиденото им предназначение, отстраняване на пречките в търговията и улесняване на техническото сътрудничество.

Поради това и стандартизирането на различните процеси за заваряване подпомага развитието на индустрията в областта, както и развитието на нови заваръчни методи и технологии.

### **2. Преглед на действащите стандарти за заваряване чрез триене с размесване**

Процесите на заваряване се използват широко при производството на инженерни конструкции. През втората половина на XX век процесите на заваряване със стопяване, при които съединяването се получава чрез стопяване на основния материал и обикновено и на добавъчен материал, доминират при заваряването на големи конструкции. През 1991 г. Уейн Томас (Wayne Thomas) от TWI разработва заваряване чрез триене с размесване (ЗТР), което се извършва изцяло в твърда фаза (без стопяване).

Все по-широкото използване на ЗТР създаде необходимост от създаването на серията стандарти ISO 25239, за да се гарантира, че заваряването се извършва по най-ефективния начин и че се упражнява подходящ контрол върху всички аспекти на операцията. Тези стандарти се фокусират върху ЗТР на алуминий, тъй като към момента на публикуването им по-голямата част от търговските заявления за ЗТР включват алуминий. Примерите включват железопътни вагони, потребителски продукти, оборудване за преработка на храни, аерокосмически структури и морски плавателни съдове[1].

Първата публикация на тази серия стандарти е през 2011 г. Тя е разработена от Международния институт по заваряване (IIW) съвместно с Международната организация за стандартизация (ISO) и Европейския комитет по стандартизация (CEN), чрез Виенското споразумение. Въведени са и като български стандарти (БДС EN ISO 25239:2011). През 2020 г. те са преразгледани и публикувани като EN ISO 25239:2020 и съответно БДС EN ISO 25239:2020. Серията се състои от 5 части, които са разгледани по-долу:

**БДС EN ISO 25239-1:2020** „Заваряване чрез триене с размесване. Алуминий. Част 1: Речник (ISO 25239-1:2020)“ [1]

Този документ определя термини, свързани със заваряването чрез триене с размесване на алуминий и неговите сплави. Установяването на термините и определенията към тях, се прави за да могат да се опишат правилно и еднозначно всички препоръки и изисквания, описани в другите части на серията.

Новата версията на стандарта от 2020 г. преминава от триезична (версията от 2011 г.) в едноезична, което налага отделно закупуване на другите езикови версии при интерес към тях. В нея са добавени следните определения: деформация в областта на съединението, оператор, фаза на проникване (plunger phase), дефект на корена, инструмент с неподвижно рамо и контрол на температурата. Изтрити са определенията за непълнопровар, многопреходно заваряване, производствено изпитване за заваряване и еднопреходно заваряване.

Забележка: Преводът на термините е неофициален и не е съгласуван с БИС/ТК 30.

По-долу са дадени някои от по-важните термини и определения, като:

- т. 3.12, friction stir welding (FSW) - заваряване чрез триене с размесване (ЗТР): процес на съединяване, при който въртящ се инструмент, движещ се в посоката на заваряване, се използва за получаване на заваръчен шев чрез триене, загряване и размесване на материала в пластично състояние.

- т. 3.1, adjustable tool probe – регулируем инструмент с щифт - инструмент, чиято дължина на щифта, скоростта на въртене и посоката на въртене на щифта са регулируеми. По време на заваряване скоростта и посоката на въртене на щифта могат да се различават от тези на рамото.

Забележка 1 за термина: Виж фигура 1.

Забележка 2 за термина: Този инструмент позволява свързването да се осъществи, без да се създава прекомерно изпъкване в началния и в изходния отвор.

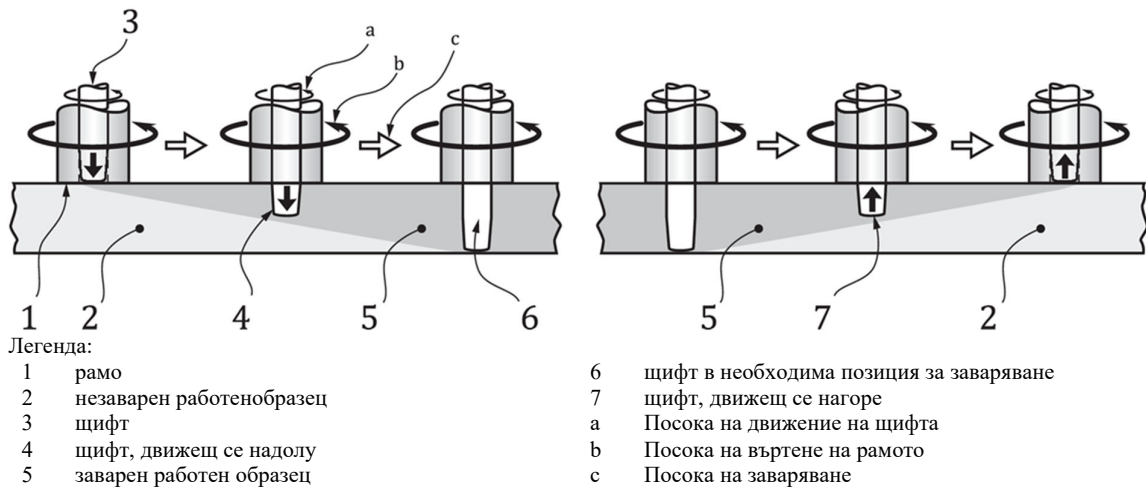
-т. 3.2, advancing side - страна на навлизане – страната на заваръчния шев, където посоката на въртене на инструмента съответства на посоката на заваряване.

Забележка 1 за термина: Виж фигура 2.

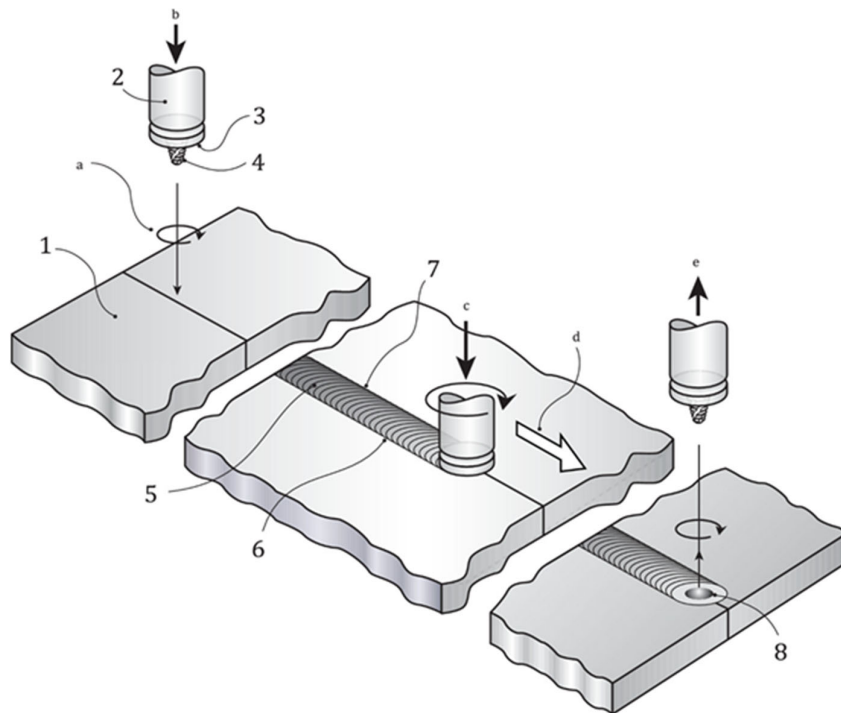
- т. 3.23, retreating side - страна на оттегляне – страната на заваръчния шев, където посоката на въртене на инструмента е срещуположна на посоката на заваряване.

Забележка 1 за термина: Виж фигура 2.

-т. 3.21, probe – щифт: част от инструмента, която прониква в основния материал, за извършване на заваряването.



Фигура 1. Регулируем инструмент с шифт



Фигура 2. Основни принципи на заваряването чрез триене с разместване

Всички термини и определения на английски и френски език, могат да се намерят свободно на следния адрес: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:25239:-1:ed-2:v1:en>.

**БДС EN ISO 25239-2:2020** „Заваряване чрез триене с размесване. Алуминий. Част 2: Проектиране на заварени съединения (ISO 25239-2:2020)“ [2]

В тази част на стандарта са дадени изискванията за конструиране на заварени чрез триене с размесване съединения. Точка 4.1 дава какво да съдържа документацията, която трябва да определи всички изисквания за заваръчния шев. Трябва да се определят основни контролни процеси, за да се докаже, че всички проектни изисквания могат да бъдат изпълнени от заваръчните шевове, произведени в съответствие със спецификацията на заваръчната процедура (WPS) и изискванията за инспекция.

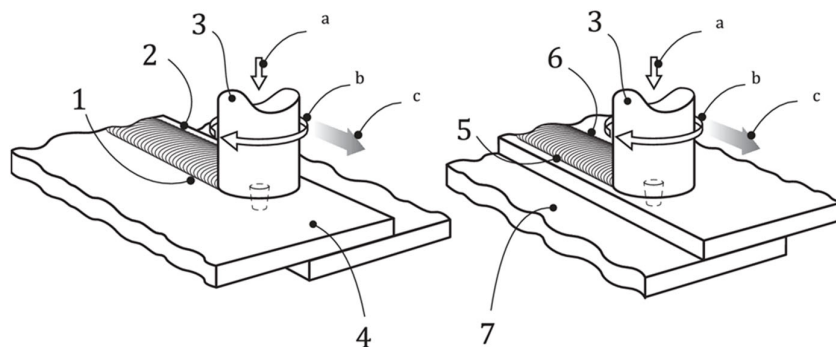
Използваните символи за заваряване трябва да бъдат в съответствие с ISO 2553.

В т.4.2 се изисква при проектирането на заварените съединения да се вземат предвид свойствата на материалите. Някои примери за заварени съединения, преди и след заваряване, са показани в таблица 1 от стандарта: челни съединения с еднаква и с различна дебелина, съединения с пълно и частично припокриване, съединения на многолистов материал, Т-образни, ъглови и кръгови челни съединения.

Допълнителни изисквания за челни съединения и съединения с припокриване са дадени съответно в т.4.2.2 и т.4.2.3:

- за челните съединения, основните променливи се определят във WPS в съответствие с ISO 25239-4;
- при съединенията с припокриване разстоянието от централната линия на инструмента до ръба на всеки припокриващ се елемент се определя във WPS.

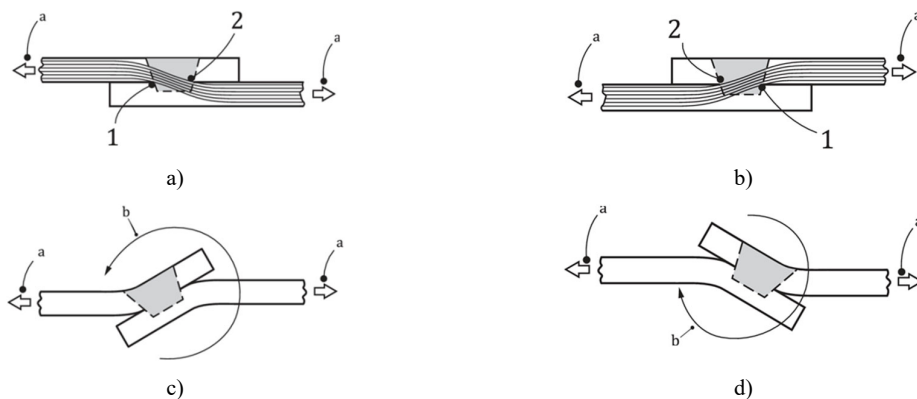
Завареният чрез триене с размесване шев с припокриване се различава от всички други заваръчни шевове, за да се избегне неразбиране на неговата уникалност. Конвенционалният ЗТР е асиметричен процес. Например едната страна на заваръчния шев се нагрява повече от другата. Друг пример за неговата асиметрия е разликата в якостта между страната на навлизане и страната на оттегляне. В зависимост от това дали страната на навлизане или страната на оттегляне на заваръчния шев е близо до ръба на листа (виж фигура 3), по-силната или по-слабата страна на съединението може да бъде поставена върху напрегнатата страна на заваръчния шев, както е показано на фигура 4. Това е критично важно и зависи от конфигурацията на шева при навлизане близо до ръба или оттеглянето близо до ръба, както е показано на фигура 3.



Легенда:

- |   |   |   |                                  |
|---|---|---|----------------------------------|
| 1 | страна на оттегляне   | 6 | страна на навлизане              |
| 2 | страна на навлизане в близост до ръба на заварения лист (ANE) | 7 | долен работен образец            |
| 3 | инструмент  | a | Осова сила                       |
| 4 | горен работен образец   | b | Посока на въртене на инструмента |
| 5 | страна на оттегляне в близост до ръба на заварения лист (RNE) | c | Посока на заваряване             |

**Фигура 3. Страни на навлизане и на оттегляне при съединения с припокриване**



Легенда:

- 1 страна с напрежение при опън на горния работен образец
- 2 страна с напрежение при опън на долния работен образец
- a Сила на опън
- b Завъртане на съединението

**Фигура 4. Пътища на натоварване при съединения с припокриване**

**БДС EN ISO 25239-3:2020** „Заваряване чрез триене с размесване. Алуминий. Част 3: Квалификация на оператори за заваряване (ISO 25239-3:2020)“

Тази част на стандарта описва начина за квалификация на операторите за ЗТР. Операторите за заваряване трябва да бъдат квалифицирани чрез едно от следните изпитвания, както е описано в т. 4.3 на този стандарт:

- стандартно изпитване за заваряване;
- изпитване на заваръчна процедурата;
- пред производствено или производствено изпитване за заваряване;
- изпитване за заваряване на производствена проба.

При квалификация въз основа на изпитване на заваръчна процедура или предпроизводствено изпитване, се дава връзка с точки 6 и 7 от ISO 25239-4:2020. Ако заваръчният оператор успешно завърши изпитването на заваръчна процедура в съответствие с ISO 25239-4:2020, т. 6 или предпроизводствено изпитване за заваряване в съответствие с ISO 25239-4:2020, т. 7, може да се счита за квалифициран за метода и типа на използваната заваръчна машина. Изпитващият може да спре изпита, ако условията на заваряване не са правилни или ако се окаже, че заваръчният оператор не притежава уменията да изпълни изискванията на тази част на ISO 25239.

Нивата на приемане за изпитваните заваръчни шевове трябва да бъдат същите като тези, използвани за квалификация на WPS. Трябва да се направят най-малко следните изпитвания: визуално изпитване 100%, макроскопично изследване и изпитване на огъване (важи само за квалификация, основана на стандартно изпитване за заваряване).

Ако завареният възел не отговаря на изискванията, изпитването се отхвърля. Може да бъде заварен дубликат по същата процедура и подложен на изследване. Ако и вторият възел не отговаря на изискванията, заваръчният оператор трябва да проведе допълнително обучение преди да се яви на нов изпит. Ако образецът за изпитване на огъване не отговори на изискванията, тогава се изготвят и изпитват два допълнителни образца за изпитване от същия заварен възел. Ако и двете повторни изпитвания са приемливи, заваръчният оператор трябва да бъде квалифициран. Ако едно или и двете повторни изпитвания не са приемливи, заваръчният оператор не се квалифицира.

След успешна квалификация се издава сертификат. Той е валиден от датата на заваряване на образците за изпитване за период от 3 години, като срокът на валидност приключва на последния ден от месеца. На всеки 6 месеца заваръчния надзорник или

друго отговорно лице трябва да потвърди, че заваръчния оператор е работил в рамките на първоначалната квалификация. В противен случай заваръчния оператор трябва да премине нов изпит за квалификация. Сертификатите за квалификация на заваръчните оператори могат да се удължават на всеки 3 години от изпитващо лице или изпитващ орган.

**БДС EN ISO 25239-4:2020** „Заваряване чрез триене с размесване. Алуминий. Част 4: Спецификация и квалификация за заваръчни процедури (ISO 25239-4:2020)“

Този стандарт определя изискванията за спецификация и квалификация на заваръчните процедури за заваряване чрез триене с размесване (FSW) на алуминий. В него са описани изискванията за изготвяне на предварителна спецификация на заваръчна процедура (pWPS) и за спецификация на заваръчна процедура (WPS).

Квалификацията на процедурите за заваряване се извършва преди производственото заваряване.

Производителят изготвя предварителна спецификация на заваръчна процедурата (pWPS) и гарантира, че тя е приложима за производството, използвайки опит от предишни производствени задачи и общите знания за заваръчни технологии. pWPS се изготвя с цел постигане на необходимите нива на качеството за приемане, посочени в ISO 25239-5:2020, приложение A.

pWPS се използва като основа за установяване на доклад (запис) за квалифициране на заваръчната процедура (WPQR).

Спецификация на процедурата за заваряване (WPS) обхваща определен обхват от дебелини на основния материал, както и редица алуминиеви сплави.

Изпитване за квалификация, извършено от производител, е валидно при заваряване на същия тип заваръчна машина, инсталирана в работилници или обекти под техническия контрол и контрола на качеството на този производител. Счита се, че заваряването се извършва при същите технически условия и за контрол на качеството, ако производителят, който е извършил изпитването на процедурата за заваряване, запази пълната отговорност за всички съответни заварявания.

В т.4.2 са дадени техническите изисквания за съдържанието на pWPS, които обхващат информация за производителя, основния материал, оборудването и инструментите, закрепването на детайлите, проектирането, подготовката и почистването на съединенията, детайли за заваряването, скоростта и позицията на заваряване, управление на топлинните процеси и термичната обработка.

По аналогия със стандартите за квалификация на заваръчни процедури за други методи на заваряване и в този стандарт са дадени 3 схеми за подготовка на пробните тела на местата за вземане на образци от тях, за различни видове заварени съединения (за листови челни съединения, за тръбни челни съединения и за съединения с припокриване).

Изпитването на пробните тела включва както изпитване без разрушаване (NDT) (визуално изпитване), така и изпитване с разрушаване (изпитване на опън напречно на шева, изпитване на разрушаване, макроскопско изследване). За всеки вид изпитване са дадени и нивата на приемане. Когато се изисква изпитване без разрушаване (NDT), то трябва да се извърши върху пробните тела, преди образците за изпитване да бъдат отрязани от тях.

В зависимост от геометрията на съединението, основните материали и изискванията за работа, изпитване без разрушаване, ако е необходимо, трябва да се извърши в съответствие с ISO 3452 (изпитване с проникващи течности), ISO 17636 (радиографично изпитване) и ISO 17640 (ултразвуково изпитване). Ако има строги изисквания за целостта на заваръчните шевове, може да се наложи да се разработят

специфични методи (например ултразвуково изпитване с многоелементниосезатели или изпитване с вихрови токове).

**БДС EN ISO 25239-5:2020** „Заваряване чрез триене с размесване. Алуминий. Част 5: Изисквания за качество и инспекция (ISO 25239-5:2020)“

Този документ установява метод за определяне на способността на производителя да използва процеса на заваряване чрез триене с размесване (FSW) за производство на продукти с определено качество. Той определя изискванията за качество, но не ги приписва на която и да е конкретна продуктова група.

В него са дадени изисквания към персонала на производителя, който трябва да е достатъчно компетентен за планиране, изпълнение и надзор на операциите по инспектиране и изпитване. Дадени са и изисквания към използваното оборудване и неговото поддържане.

Точка 4.12 дава изисквания относно инспекцията и изпитването по време на различните етапи на производството (преди, по време и след заваряване) на съединенията. Честотата и местоположението на инспекцията и изпитването зависят от продуктовия стандарт и вида на конструкцията. След заваряването могат да се приложат следните видове изпитвания:

- изпитване без разрушаване – визуално изпитване, изпитване с проникващи течности, радиографично и ултразвуковоизпитване;
- изпитване с разрушаване – изпитване на опън, на огъване, на твърдост и на разрушаване

Ако при извършването на ремонт на повреден заваръчен шев се използва заваряване, тогава ремонтът трябва да се извърши в съответствие с WPS. Ремонтът трябва да приведе заваръчния шев в пълно съответствие с изискванията на спецификацията.

Корекция на геометрията на заваръчния шев при изпъкнал материал по краищата на заваръчния шев и излишно проваряване може да бъде отстранено по метод, който не влошава свойствата на основния метал. Тази операция трябва да се извърши по такъв начин, че дебелината на заваръчния шев и основния материал да останат в рамките на допустимите отклонения.

В таблица А.1 от стандарта са описани несъвършенствата, които се основават на означения, дадени в ISO 10042, заедно с означения, специфични за заваряването чрез триене с размесване. Изборът на ниво на качество за всяко приложение трябва да отчита съображенията за проектиране, последващата обработка (напр. обработка на повърхността), режима на натоварване (напр. статично, динамично), условията на експлоатация (напр. температура, околна среда) и последиците от повредата. Икономическите фактори също са важни и трябва да включват не само разходите за заваряване, но и инспекция, изпитване и ремонт.

## **5. Заключение**

Разгледаните стандарти дават рамката, която да улесни производителите на заварени чрез триене с размесване съединения и да помогне за осигуряване на стабилно качество по време на целия производствен процес. Това поражда нуждата за стандартизиране и на други процеси свързани със ЗТР. Така през 2018 г. ISO публикува серията стандарти ISO 18785 „Friction stir spot welding — Aluminium“, отново състояща се от 5 части и структурирана по същия начин като разгледаната по-горе серия ISO 25239. Серията ISO 18785е въведена в България през 2021 г. чрез публикуване на

английски език като БДС EN ISO 18785 „Точково заваряване чрез триене с размесване. Алуминий“[6].

### **Литература**

1. БДС EN ISO 25239-1:2020, Заваряване чрез триене с размесване. Алуминий. Част 1: Речник (ISO 25239-1:2020)
2. БДС EN ISO 25239-2:2020, Заваряване чрез триене с размесване. Алуминий. Част 2:Проектиране на заварени съединения (ISO 25239-2:2020)
3. БДС EN ISO 25239-3:2020, Заваряване чрез триене с размесване. Алуминий. Част 3:Квалификация на оператори за заваряване (ISO 25239-3:2020)
4. БДС EN ISO 25239-4:2020, Заваряване чрез триене с размесване. Алуминий. Част 4:Спецификация и квалификация за заваръчни процедури (ISO 25239-4:2020)
5. БДС EN ISO 25239-5:2020, Заваряване чрез триене с размесване. Алуминий. Част 5:Изисквания за качество и инспекция (ISO 25239-5:2020)
6. БДС EN ISO 18785(всички части),Точково заваряване чрез триене с размесване. Алуминий