



Miroslav Mijajlović, Dragan Milčić, Miroslav Đurđanović, Vencislav Grabulov, Aleksandar Živković, Milenko Perović

## OSNOVNI POJMOVI KOD POSTUPKA ZAVARIVANJA TRENJEM SA MEŠANJEM PREMA AWS D17.3/D17.3M:2010 I ISO 25239-1: 2011

### BASIC TERMS IN FRICTION STIR WELDING ACCORDING TO AWS D17.3/D17.3M:2010 I ISO 25239-1: 2011

**Originalni naučni rad / Original scientific paper**

**UDK / UDC:** 629.791.13

**Rad primljen / Paper received:**

29.03.2012.

**Adresa autora / Author's address:**

Miroslav Mijajlović, dipl. inž. maš, IWE, Mašinski fakultet Niš, Srbija. e-mail: mijajlom@masfak.ni.ac.rs

Prof. dr Dragan Milčić, Mašinski fakultet Niš, Srbija. e-mail: milcic@masfak.ni.ac.rs

Prof. dr Miroslav Đurđanović, Mašinski fakultet Niš, Srbija. e-mail: djurdjan@junis.ni.ac.rs

Prof. dr Vencislav Grabulov, Institut IMS Beograd, e-mail: vencislav.grabulov@institutims.rs

Dr Aleksandar Živković, EWE, GOŠA FOM Smederevska Palanka, Srbija. e-mail: a.zivkovic@gosafom.com

Mr Milenko Perović dipl. inž. maš, Privredna komora Crne Gore, Podgorica, Crna Gora. e-mail: mperovic@pkcg.org

**Ključne reči:** zavarivanje, zavarivanje trenjem sa mešanjem, aluminijum, termini, standardi.

**Keywords:** welding, friction stir welding, aluminum, terms, standards.

#### Izvod

Zavarivanje trenjem sa mešanjem – ZTM (eng. Friction Stir Welding – FSW) je relativno mlad postupak zavarivanja u čvrstom stanju nastao na Institutu za zavarivanje (TWI) u Londonu, krajem 1991. godine. Prva primena ZTM postupka se vezuje za železnicu i zavarivanje aluminijuma i njegovih legura ali se sa vremenom proširio opseg primene tako da se danas ovim postupkom uspešno zavaruje veliki broj čistih metala, legura, ali i nemetala, u svim industrijskim granama (železnica, avioindustrija, automobilska, brodogradnja itd.). Dve decenije po nastajanju, ZTM postupak se ipak, najviše koristi za zavarivanje aluminijuma i njegovih legura, te nije iznenađujuće što su prvi koraci standardizacije ZTM postupka vezani za zavarivanje aluminijuma. Ovim radom se skreće pažnja na osnovne pojmove kod ZTM koji su dati u postojećim standardima i predlažu odgovarajući pojmovi na srpskom jeziku.

#### Abstract

Friction Stir Welding is relatively young welding process in solid state which is created in The Welding Institute – London, during 1991 year. The first application is connected with railway and aluminum and aluminum alloys welding but later the application range is extended, so today this process successfully welded many pure metals, alloys also, non-metals in all industrial branches (railway, aircraft, automotive, shipyard etc). Two decades after formation, FSW process is the mostly used for aluminum and aluminum alloys welding, so it is not surprise that the first step in FSW standardization is connected to aluminum welding. The aim of this paper is to draw attention to basic terms for FSW which are presented in actual standards and suggested appropriated terms on Serbian language.

#### UVOD

Prvi (nacionalni) standard vezan za zavarivanje aluminijuma ZTM postupkom usvojen je decembra 2009. godine u SAD, a prvi međunarodni standardi su usvojeni decembra 2011. godine (tabela 1).

Od početka dvadesetprvog veka postoji interesovanje za ZTM u Srbiji (a i šire na Balkanu). Pojavili su se prvi naučno-stručni radovi, usledili su prvi nacionalni projekti i istraživanja, nastali su centri za istraživanje ZTM, a odbranjene su i prve doktorske disertacije na ovu temu.

Autori i istraživači u Srbiji i Crnoj Gori su tokom svog rada pojmove vezane za ZTM tumačili na svoj način i pri tom koristili englenizovane termine, stvarali svoje na

maternjem jeziku ili koristili originalne termine, opisane na engleskom jeziku, a sve u zavisnosti od potreba rada i istraživanja ili svojih govornih sklonosti. Tek sa pojavom standardizovanih termina i definicija na engleskom jeziku stvorili su se uslovi za uniformisanje termina, pojmova i definicija koji se koriste kod ZTM na srpskom jeziku.

#### Osnovni pojmovi ZTM postupka

U tabeli 2 dati su standardizovani termini/definicije, preuzeti iz standarda [1, 2] kao i predloženi termini/definicije na srpskom jeziku. Termini u tabeli obeleženi "\*" ispred naziva predstavljaju pojmove koji se nalaze u međunarodnom ISO standardu [2], a nema ih u nacionalnom AWS standardu [1].



Tabela 1: Spisak usvojenih standarda za ZTM

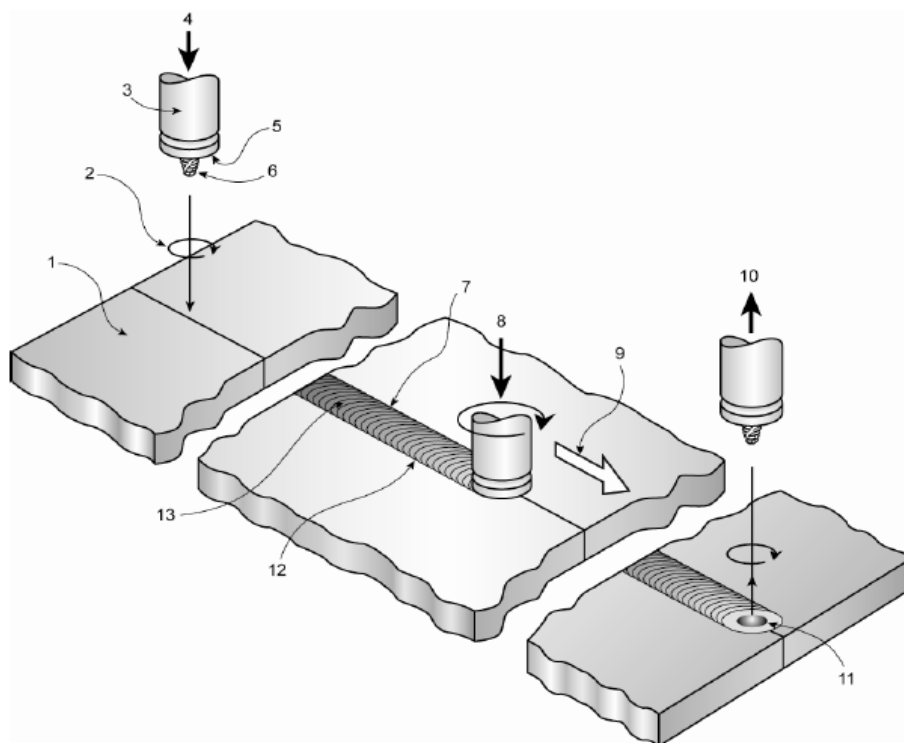
Standard	U upotrebi od
AWS D17.3/D17.3M:2010 Specification for Friction Stir Welding of Aluminum Alloys for Aerospace Applications.	15.12.2009.
ISO 25239-1:2011: Friction stir welding - Aluminium - Part 1: Vocabulary	16.12.2011.
ISO 25239-1:2011 Friction stir welding - Aluminium - Part 2: Design of weld joints	16.12.2011.
ISO 25239-1:2011 Friction stir welding - Aluminium - Part 3: Qualification of welding operators	16.12.2011.
ISO 25239-1:2011 Friction stir welding - Aluminium - Part 4: Specification and qualification of welding procedures	16.12.2011.
ISO 25239-1:2011 Friction stir welding - Aluminium - Part 5: Quality and inspection requirements	16.12.2011.

Tabela 2: Termini i definicije ZTM

Termin/Definicija na engleskom jeziku prema [1] i [2]	Predlog termina/Definicije na srpskom jeziku
<b>Friction stir welding methods.</b> Methods include, but are not limited to, robotic, single spindle, multiple spindles, self-reacting tool, and simultaneous two-sided welding.	<b>Postupci zavarivanja trenjem sa mešanjem.</b> Postupci uključuju, ali, nisu ograničeni na robotizovano, jednoalatno, viševalatno, zavarivanje sa samoregulišućim alatom i istovremeno dvostrano zavarivanje.
<b>Welding tool.</b> Rotating component that passes entirely through or partially through the workpiece, and may or may not have a shoulder.	<b>Alat za zavarivanje.</b> Rotirajući deo koji u potpunosti ili delimično prolazi kroz radni komad i može ili ne mora da ima rame alata.
<b>Direction of tool rotation.</b> Rotation as viewed from the spindle that is rotating the tool. (Figure 1)	<b>Smer rotacije alata.</b> Rotacija alata, pogled sa obrtne glave alata (slika 1).
<b>Tool rotation speed.</b> Angular speed of the welding tool in revolutions per minute.	<b>Broj obrtaja alata.</b> Ugaona brzina alata opisana kao broj obrtaja alata u jednom minutu.
<b>Tool shoulder.</b> Surface of the tool that contacts the workpiece surface during welding (Figure 1).	<b>Rame alata.</b> Površina alata koja dodiruje površine radnih komada za vreme zavarivanja (slika 1).
<b>Probe.</b> Part of the welding tool that extends into the workpiece to make the weld (Figure 1).	<b>Klin (Trn).</b> Deo alata koji prodire u radni komad kako bi pravio zavar (slika 1).
<b>Advancing side of weld.</b> Side of the weld where the direction of tool rotation is the same as the direction of welding (Figure 1).	<b>Strana napredovanja zavara.</b> Strana zavara kod koje se smer rotacije alata poklapa sa smerom zavarivanja (slika 1).
<b>Axial force.</b> Force applied to the work piece along the axis of tool rotation (Figure 1).	<b>Aksijalna sila.</b> Sila koja deluje na radni komad duž ose rotacije alata (slika 1).
<b>Exit hole.</b> Hole remaining at the end of a weld after the withdrawal of the tool (Figure 1).	<b>Izlazna rupa.</b> Rupa koji ostaje na kraju zavara posle izvlačenja alata (slika 1).
<b>Retreating side of weld.</b> Side of the weld where the direction of tool rotation is opposite to the welding direction (Figure 1).	<b>Povratna strana zavara.</b> Strana zavara gde je smer rotacije alata suprotan od smera zavarivanja (slika 1).
<b>Travel speed.</b> Rate at which the welding operation progresses in the direction of welding.	<b>Brzina zavarivanja.</b> Brzina kojom napreduje operacija zavarivanja u smeru zavarivanja.
<b>Anvil.</b> Structure supporting the root side of the joint.	<b>Podložna ploča.</b> Struktura koja podupire koren šava.
<b>*Position control.</b> Method to provide the required position of the tool during welding	<b>*Kontrola položaja.</b> Metod kojim se obezbeđuje odgovarajući položaj alata tokom zavarivanja.
<b>*Force control.</b> Method to provide the required force on the tool during welding	<b>*Kontrola sile.</b> Metod obezbeđenja tražene sile na alatu tokom zavarivanja.

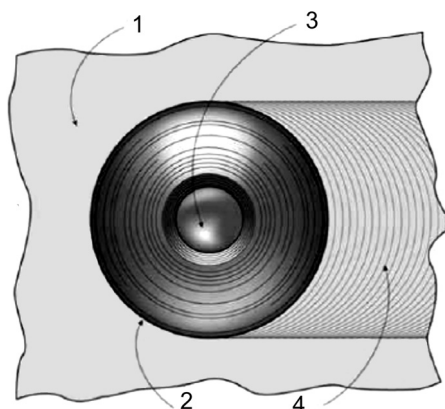


<p><b>*Shoulder footprint.</b> Partially or fully formed ring surrounding the exit hole (Figure 2)</p>	<p><b>*Otsak ramena.</b> Delimično ili potpuno formiran prsten koji okružuje izlaznu rupu (slika 2)</p>
<p><b>*Tool plunge.</b> Inserting the tool into the workpiece in order to make a weld</p>	<p><b>*Prodiranje alata.</b> Umetanje alata u radne komade sa ciljem pravljenja zavara</p>



**Slika 1:** Nomenklatura postupka zavarivanja trenjem sa mešanjem, 1-osnovni metal, 2-smer rotacije alata (u smeru kazaljke na satu), 3-alat za zavarivanje, 4-spuštanje alata, 5-rame alata, 6-klin (trn), 7-strana napredovanja zavara, 8-aksijalna sila, 9-smer zavarivanja, 10-podizanje alata, 11-izlazni otvor, 12-povratna strana zavara, 13-lice šava

**Figure 1:** Friction Stir Welding **Nomenclature**, 1-Base metal, 2-Direction of tool rotation (clockwise), 3-Weld tool, 4-Downward movement of tool, 5-Tool shoulder, 6-Probe, 7-Advancing side of weld, 8-Axial force, 9-Direction of welding, 10-Upward movement of tool, 11-Exit hole, 12-Retreating side of weld, 13-Weld face



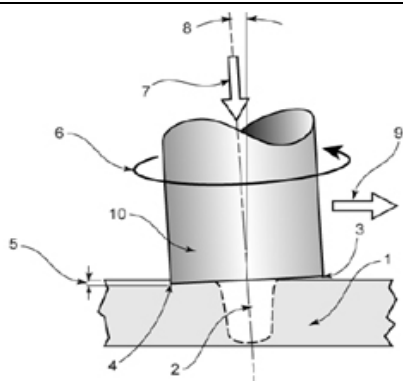
**\*Slika 2:** Otsak ramena alata kod izlazne rupe, 1 – radni komadi, 2 – otsak ramena alata, 3 – izlazna rupa, 4 – lice šava

**\*Figure 2:** Tool shoulder footprint visible at the exit hole, 1 - workpiece, 2 - shoulder footprint, 3 - exit hole, 4 - weld face

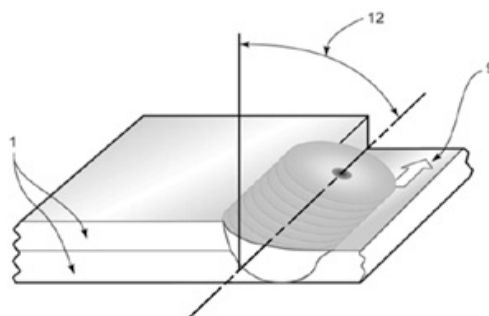
<p><b>Heel.</b> Part of the tool shoulder that is at the rear of the tool relative to its forward motion (Figure 3).</p>	<p><b>Peta alata.</b> Deo ramena alata koji je na zadnjem delu alata pri njegovom kretanju unapred (slika 3).</p>
<p><b>Heel plunge depth.</b> Distance the heel extends into the workpiece (Figure 3).</p>	<p><b>Dubina prodora pete alata.</b> Dubina do koje prodire peta alata u radni komad (slika 3).</p>



<p><b>*Fixed probe.</b> Probe that has a fixed length protruding from the shoulder and its rotation is the same as the shoulder during welding.</p>	<p><b>*Fiksirani klin.</b> Klin nepromenljive dužine koji se nastavlja na rame alata i tokom zavarivanja se okreće u istom smeru kao rame.</p>
<p><b>*Fixed bobbin tool.</b> Tool with two shoulders separated by a fixed length probe (see Figure 5).</p>	<p><b>*Fiksirani alat u obliku kalema.</b> Alat sa dva ramena odvojena klinom fiksirane dužine (slika 5)</p>
<p><b>*Dwell time at end of weld.</b> Time interval after travel has stopped but before the rotating tool has begun to withdraw from the weld.</p>	<p><b>*Vreme zastoja na kraju zavarivanja.</b> Interval vremena između trenutka kada prestaje translatorno kretanje i trenutka kada alat započne izvlačenje iz zavara</p>
<p><b>*Dwell time at start of weld.</b> Time interval between when the rotating tool reaches its maximum depth in the parent material and the start of travel.</p>	<p><b>*Vreme zastoja na početku zavarivanja.</b> Interval vremena između trenutka kada alat dostigne maksimalnu dubinu prodiranja u osnovni materijal i trenutka kad translatorno kretanje započne.</p>



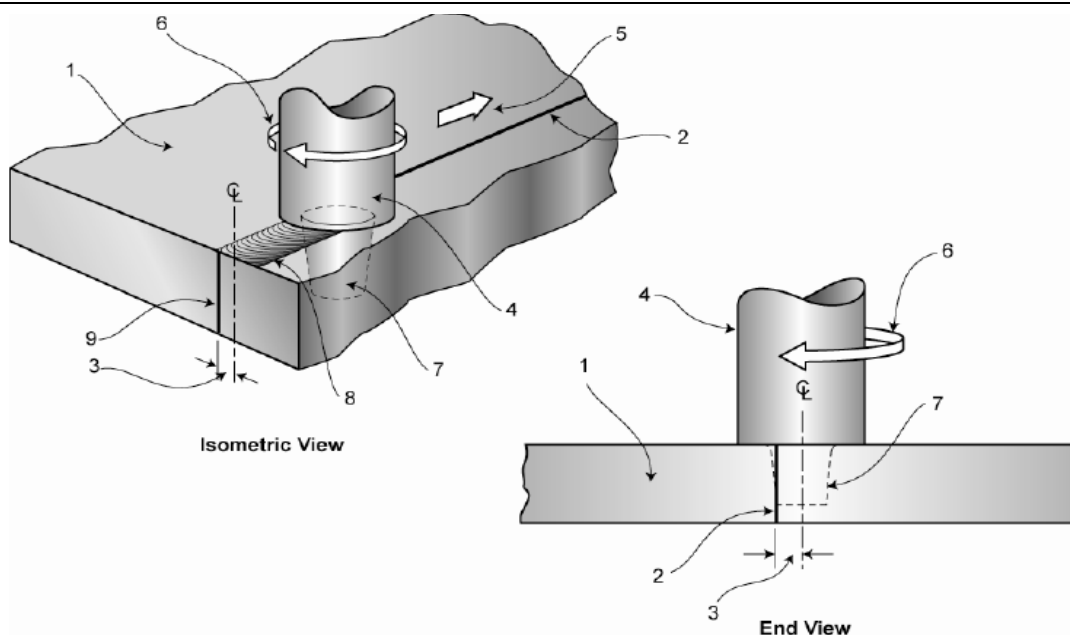
Pogled sa strane sučeonog spoja / Side View of Butt Joint



Pogled sa strane preklopnog spoja / Side View of Lap Joint

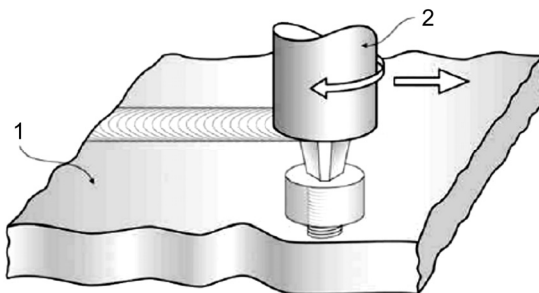
**Slika 3:** Peta alata i dubina prodora pete alata, 1-radni komad, 2-klin, 3-rame (vodeća ivica alata), 4-peta alata (prateća ivica ramena), 5-dubina prodora pete alata, 6-smer rotacija alata (suprotno od smera okretanja kazaljke na satu), 7-aksijalna sila, 8-ugao iskošenja, 9-smer zavarivanja, 10-alat, 11-lice šava, 12-ugao bočnog iskošenja alata

**Figure 3:** Heel and Heel Plunge Depth: 1-Workpiece, 2-Probe, 3-Shoulder (leading edge), 4-Heel (shoulder trailing edge), 5-Heel plunge depth, 6-Direction of tool rotation (counterclockwise), 7-Axial force, 8-Tilt angle, 9-Direction of welding, 10-Tool, 11-Weld face, 12-Side tilt angle



**Slika 4:** Odstupanje alata: 1-radni komad, 2-spoj, 3-odstupanje alata, 4-alat, 5-smer zavarivanja, 6-smer rotacije alata (smer kazaljke na satu), 7-klin, 8-lice zavara, 9-linija pripajanja pre zavarivanja

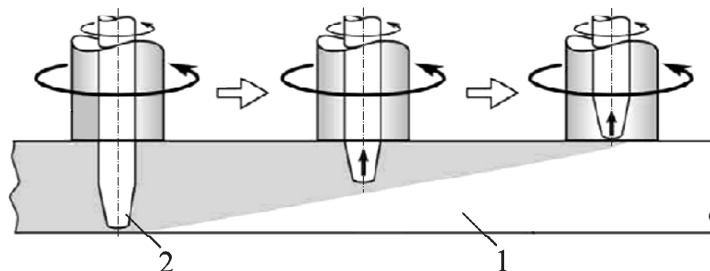
**Figure 4:** Tool Offset: 1-Workpiece, 2-Joint, 3-Tool offset, 4-Tool, 5-Direction of welding, 6-Direction of tool rotation (clockwise), 7-Probe, 8-Weld face, 9-Location of joint before welding



Slika 5: Fiksirani alat u obliku kalema, 1 – radni komad, 2 – alat u obliku kalema

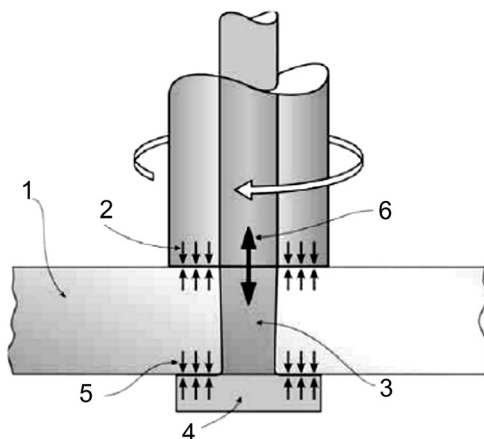
Figure 5: Fixed bobbin tool, 1- workpiece, 2 - bobbin tool

<p><b>*Adjustable probe tool.</b> Probe that has an adjustable length and its rotation may be different from the shoulder during welding (Figure 6).</p>	<p><b>*Alat sa podesivim klinom.</b> Klin koji ima podesivu dužinu i tokom zavarivanja njegov smer rotacije može biti različit od smera rotacije ramena alata (slika 6).</p>
<p><b>Self-reacting tool.</b> Tool with two shoulders separated by a fixed length probe or an adjustable length probe.</p>	<p><b>Samopodešavajući alat.</b> Alat sa dva ramena odvojena klinom fiksirane ili podesive dužine.</p>
<p><b>*Self-reacting bobbin tool.</b> Tool with two shoulders separated by a probe whose length can be adjusted during welding (see Figure 7) NOTE: The self reacting bobbin tool allows the shoulders to automatically maintain contact with the workpiece.</p>	<p><b>*Samopodešavajući alat u obliku kalema.</b> Alat sa dva ramena odvojena klinom čija dužina se može podešavati tokom zavarivanja (slika 7) NAPOMENA: Samopodešavajući alat u obliku kalema omogućava ramenu da automatski održava kontakt sa radnim komadom</p>
<p><b>Complex weld joint.</b> Continuous weld joint with variations in section thickness and/or tapered thickness transitions.</p>	<p><b>Kompleksan šav.</b> Kontinualni šav sa promenama debljine i/ili konusnim prelazima debljine u presecima šava.</p>



\*Slika 6: Alat sa podesivim klinom, 1 - radno mesto, 2 - alat sa podesivim klinom

\*Figure 6: Adjustable probe tool 1 - workplace, 2 - adjustable probe tool



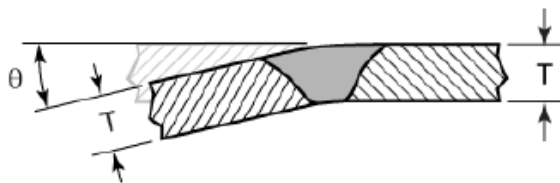
\*Slika 7: Samopodešavajući alat u obliku kalema, 1 – radni komad, 2 – gornje rame alata, 3 – klin, 4 – donje rame alata, 5 – reaktivne sile, 6 – samopodešavajući sistem

\*Figure 7: Self-reacting bobbin tool, 1 – workpiece, 2 - top shoulder, 3 – probe, 4 - bottom shoulder, 5 - reactive forces, 6 - self-reacting system



**Angular distortion of the joint.** Distortion between two welded pieces such that their surface planes are not parallel or at the intended angle (Figure 8).

**Ugaono krivljenje spoja.** Deformacija između dva zavarena dela zbog koje njihove površinske ravni nisu paralelne ili nisu pod zahtevanih uglom (slika 8).

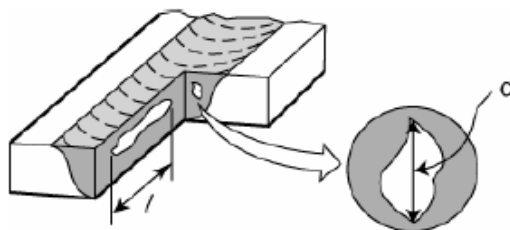


**Slika 8:** Ugaona distorzija spoja, T-debljina osnovnog metala,  $\theta$ -Ugao između površinskih ravni pre i posle zavarivanja

**Figure 8:** Angular Distortion of the Joint, T-thickness of base metal,  $\theta$ -Angle between original surface and postweld surface

**Cavity.** Void-type discontinuity within a solid-state weld (Figure 9).

**Šupljina.** Nesavršenost iz grupe poroznosti u šavu dobijenom zavarivanjem u čvrstoj fazi (slika 9).

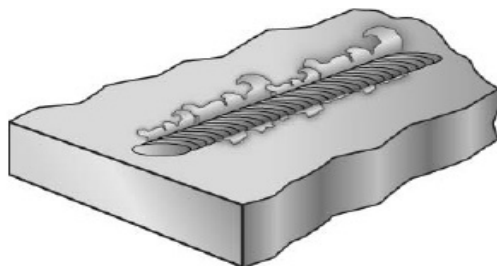


**Slika 9:** Šupljina, d-maksimalna dužina šupljine u transverzalnom preseku šava, l-dužina šupljine u pravcu šava

**Figure 9:** Cavity, d-Maximum transverse cross-sectional dimension of the cavity, l-Length of a cavity in the longitudinal direction of the weld

**Flash.** Material expelled along the weld toe during FSW (Figure 10).

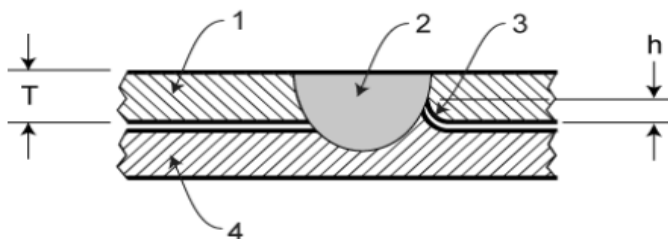
**Istisnuti materijal.** Materijal istisnut oko podnožja alata tokom ZTM (slika 10).



**Slika 10:** Istisnuti materijal / **Figure 10:** Flash

**Hook.** Faying surface that curves upward or downward along the side of the weld metal in a friction stir welded lap joint (Figure 11).

**Krivina.** Dodirna površina kod preklopnog spoja zavarenog trenjem sa mešanjem koja se iskrivila naviše ili naniže duž šava. (slika 11).

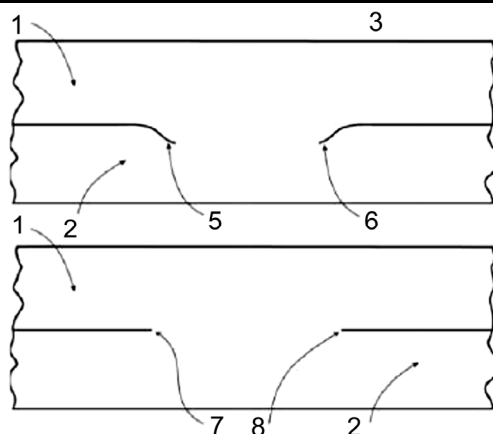


**Slika 11:** Krivina: 1-gornji radni komad, 2-zavar, 3-krivina, 4-donji radni komad, h-visina krivine, t-debljina gornjeg radnog komada

**Figure 11:** Hook: 1-Upper workpiece, 2-Weld, 3-Hook, 4-Lower workpiece, h-Height of hook, T-Thickness of upper workpiece

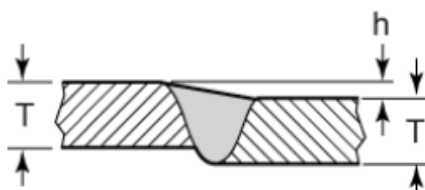


<p><b>Incomplete joint penetration.</b> Discontinuity where the full thickness of the joint has not been welded (Fig. 12).</p>	<p><b>Nepotpun provar.</b> Nesavršenost spoja gde nije provarena cela dubina spoja (slika 12).</p>
<p><b>NAPOMENA:</b> Postoji tri tipa nepotpunog provara. Oni uključuju originalnu liniju spoja (1) bez plastične deformacije nezavarene ivice spoja, kao što je prikazano na slici "a," (2) sa malim plastičnim deformacijama nezavarene ivice spoja, kao na slici "b," (3) sa ozbiljnim plastičnim deformacijama nezavarene ivice spoja, kao što je prikazano na slici pod "c"</p>	
<p><b>NOTE:</b> There are three types of incomplete joint penetration. They include the original joint line with (a) no plastic deformation of the unfused edge of the joint, as shown in graphic "a," (2) minor plastic deformation of the unfused edge of the joint, as shown in graphic "b," and (3) severe plastic deformation of the unfused edge of the joint, as shown in graphic "c."</p>	
<p><b>Slika 12:</b> Nepotpun provar: T- nominalna debljina osnovnog metala, h-visina nesavršenosti, 1 - radni komad, 2 - klin, 3 - linija spajanja - nema plastične deformacije, 4 - linija spajanja - ozbiljna plastična deformacija</p>	
<p><b>Figure 12:</b> Incomplete Joint Penetration: T- nominal thickness of the base metal, h-height of discontinuity, 1 - workpiece, 2 - probe, 3 - original joint line - no plastic deformation, 4 - original joint line - severely plastically deformed</p>	
<p><b>*Lap joint sheet thinning.</b> Workpiece thickness minus the distance from the weld face to the end of the hook (Figure 13).</p>	<p><b>*Stanjenje ploča pri preklopnom zavarivanju.</b> Debljina radnih komada umanjena za rastojanje od lica šava do kraja krivine (slika 13).</p>
<p><b>*Joint line remnant.</b> Imperfection consisting of a semi-continuous layer of oxide in the weld. NOTE: The severity of this imperfection depends upon its extent and the proximity of the adjacent oxide particle. Joint line remnants may have some effect on the mechanical performance of the joint.</p>	<p><b>*Ostatak na liniji spoja.</b> Nesavršenost koja se sastoji od polukontinualnog sloja oksida iz šava. NAPOMENA: Učestanost ove nesavršenosti zavisi od obima i blizine oksidne čestice. Ostatak na liniji spoja može imati uticaj na mehaničke karakteristike spoja.</p>
<p><b>*Lateral offset.</b> Distance from the tool axis to the root face.</p>	<p><b>*Bočno rastojanje.</b> Rastojanje od ose alata do površine korena.</p>
<p><b>Linear mismatch across joint:</b> Misalignment between two welded pieces such that while their surface planes are parallel, they are not in the required plane. (Fig. 14).</p>	<p><b>Linearno ulegnuće duž spoja:</b> Neravnost dva zavarena dela, takva da su površine delova paralelne ali ne i kolinearne (slika 14).</p>
<p><b>*Underfill.</b> Depression resulting when the weld face is below the adjacent parent material surface NOTE: This is a normal characteristic of the friction stir welding process.</p>	<p><b>*Podsečenost.</b> Depresija koja nastaje kada se lice šava nalazi ispod površine osnovnog materijala. NAPOMENA: Ovo je normalna pojava kod zavarivanja trenjem sa mešanjem.</p>



**\*Slika 13:** Poprečni presek preklopnog šava zavarenog trenjem sa mešanjem koji prikazuje ekstremno stanjenje ploče na strani povlačenja zavara i krivinom na strani napredovanja zavara, 1 – radni komad blizu ramena alata (gornji radni komad), 2 – donji radni komad, 3 – strana povlačenja zavara, vrh zareza okrenut ka ramenu alata (gornji radni komad), 4 – strana napredovanja zavara, vrh zareza (krivina) okrenut ka unutrašnjoj strani (gornji radni komad), 5 – strana povlačenja zavara, vrh zareza okrenut suprotno od strane ramena alata, 6 – strana napredovanja zavara, vrh zareza okrenut suprotno od strane ramena alata, 7 – strana povlačenja zavara, strmo prekinut zarez, 8 – strana napredovanja zavara, strmo prekinut zarez

**\*Figure 13:** Cross-section of friction stir lap weld showing extreme plate thinning on the retreating side and a hook feature on the advancing side of the weld, 1 - Near shoulder workpiece (top sheet), 2 - Underneath workplace (bottom sheet), 3 - Retreating side, notch tip orientation towards shoulder side (top sheet), 4 - Advancing side, notch tip orientation (hook feature) towards shoulder side (top sheet), 5 - Retreating side, notch tip orientation away from shoulder side, 6 - Advancing side, notch tip orientation away from shoulder side, 7 - Retreating side, notch up abrupt end, 8 - Advancing side notch tip abrupt end



**Slika 14:** Linearno ulegnuće duž spoja: T-nominalna debljina osnovnog metala, h-visina ulegnuća  
**Figure 14:** Linear Mismatch Across Joint T- nominal thickness of the base metal, h- height of mismatch

## ZAKLJUČAK

Pojmovi dati u ovom radu predstavljaju samo standardizovani deo brojnih pojmova koji definišu postupak zavarivanja trenjem sa mešanjem dok postoji ogroman broj pojmova koji su, prema misljenju autora, važni ali nisu uvedeni u standarde.

Predloženi prevod pojmova na srpskom jeziku predstavlja samo prvi od koraka ka ustaljivanju zvanične terminologije ZTM-a na srpskom jeziku, čime se poštuje regulativa koju nameću standardi, a u isto vreme, čuva svoj maternji jezik.

## LITERATURA

- [1] AWS D17.3/D17.3M:2010 Specification for Friction Stir Welding of Aluminum Alloys for Aerospace Applications,
- [2] ISO 25239-1: 2011 Friction stir welding - Aluminium - Part 1: Vocabulary.
- [3] Milan Vujaklija, Radomir Aleksić. *Leksikon stranih reči i izraza*, Prosveta, Beograd, 1961, dopunjeno izdanje iz 2008.