



Friction Stir Welding European Qualifications

EUROPEAN FRICTION STIR WELDING SPECIALIST (EFSW-S) AND ENGINEER (EFSW-E)



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



7. Calitate

Domeniu de aplicare:

7.1 Teste distructive

7.2 Standarde pentru testele distructive si domeniile de aplicare

7.3 Teste nedistructive(NDT)

7.4 Standarde pentru testele nedistructive si domeniile de aplicare

7.5 Calibrarea echipamentului si reproductibilitatea

7.1 Teste distructive

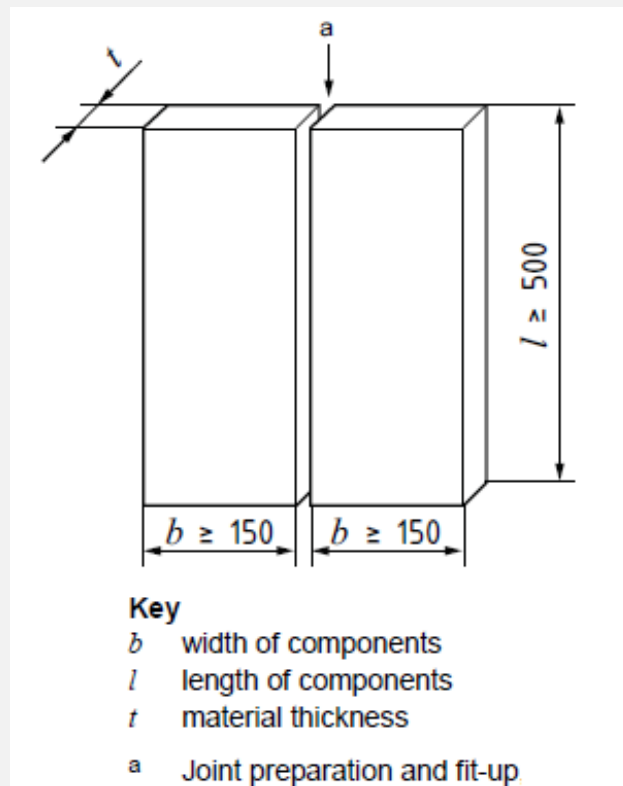
Testele distructive la imbinarile sudate la FSW **sunt prezentate in calificarea procedurii de sudare (WPQR)**. Deoarece majoritatea aplicațiilor comerciale ale FSW implică **aluminii și aliaje de aluminii**, standardele existente se ocupă doar de acest metal:

ISO 25239-4:2011: Sudare prin frecare cu element activ rotitor. Aluminii. Partea 4: Specificația și calificarea procedurilor de sudare

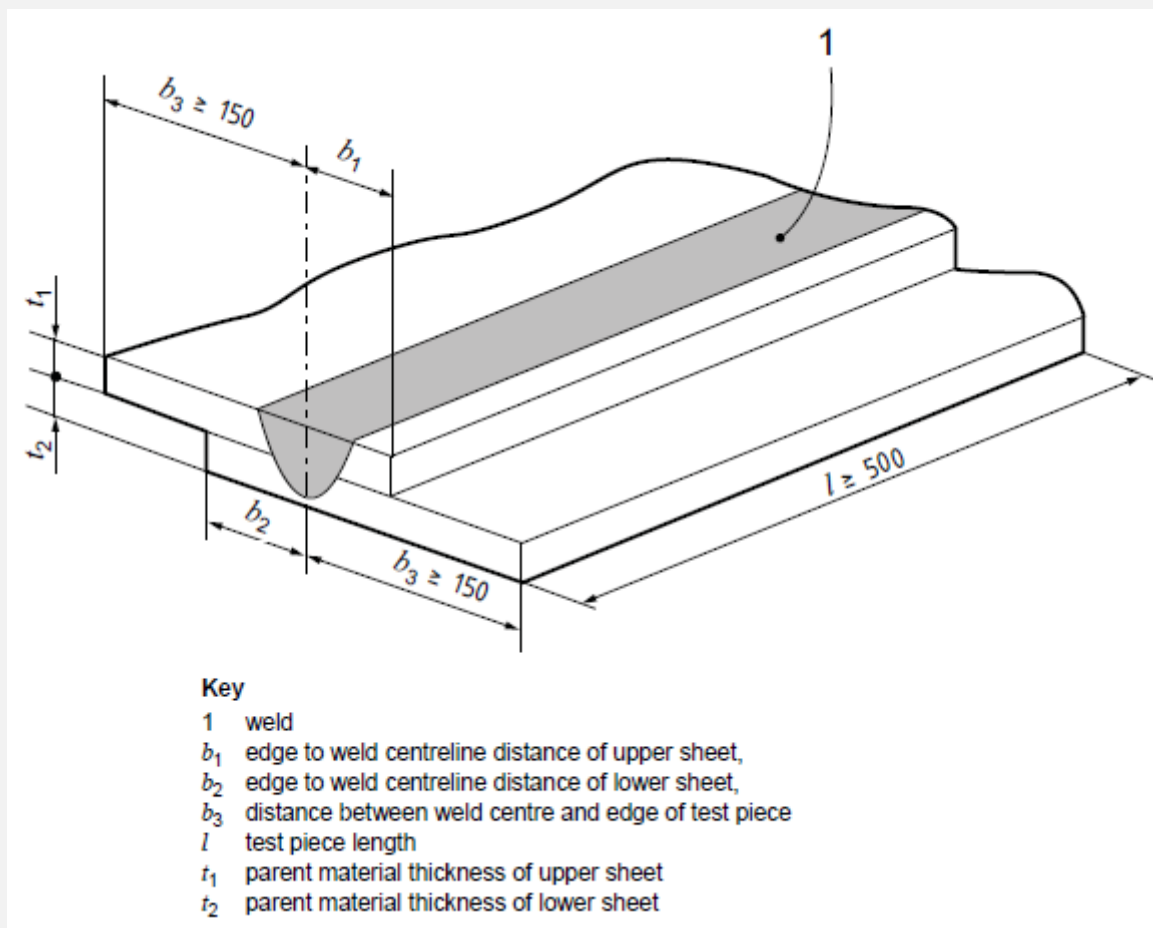
➤ AWS D17.3/D17.3M:2016 : Specificații pentru sudarea prin fFSW a aliajelor de aluminii pentru aplicații aerospațiale

Aceste două standarde acoperă atât imbinările cap la cap, cât și pe cele suprapuse. **Imbinările de sudură cap la cap reprezintă mai mult de 85% din totalul sudurilor, produse prin procedeul FSW.**

Epruvete pentru incercare (forma și dimensiunea) conform ISO 25339-4



Epruveta de încercare pentru o îmbinare sudată cap la cap cu penetrare completă



Epruveta pentru incercare , imbinare suprapuns[

Teste distructive la imbinarile cap la cap pentru procedeul FSW

Tipul epruvetelor	ISO 25329-4	AWS D17.3
Teste de tractiune pe directie transversala	2 specimene	4 specimens
Teste de indoire pe directie transversala (materiale forjate)	2 specimene (radacina) 2 specimense (suprafata)	/
Teste mecanica ruperii (materiale turnate)	2 specimene (radacina) 2 specimene (suprafata)	/
Examinari macroscopice	1 specimen	2 specimene
Duritate	/	daca existiata cerinta

Testele distructive speciale la imbinările cap la cap includ::

- Teste de oboseala
- Duritate si microduritate

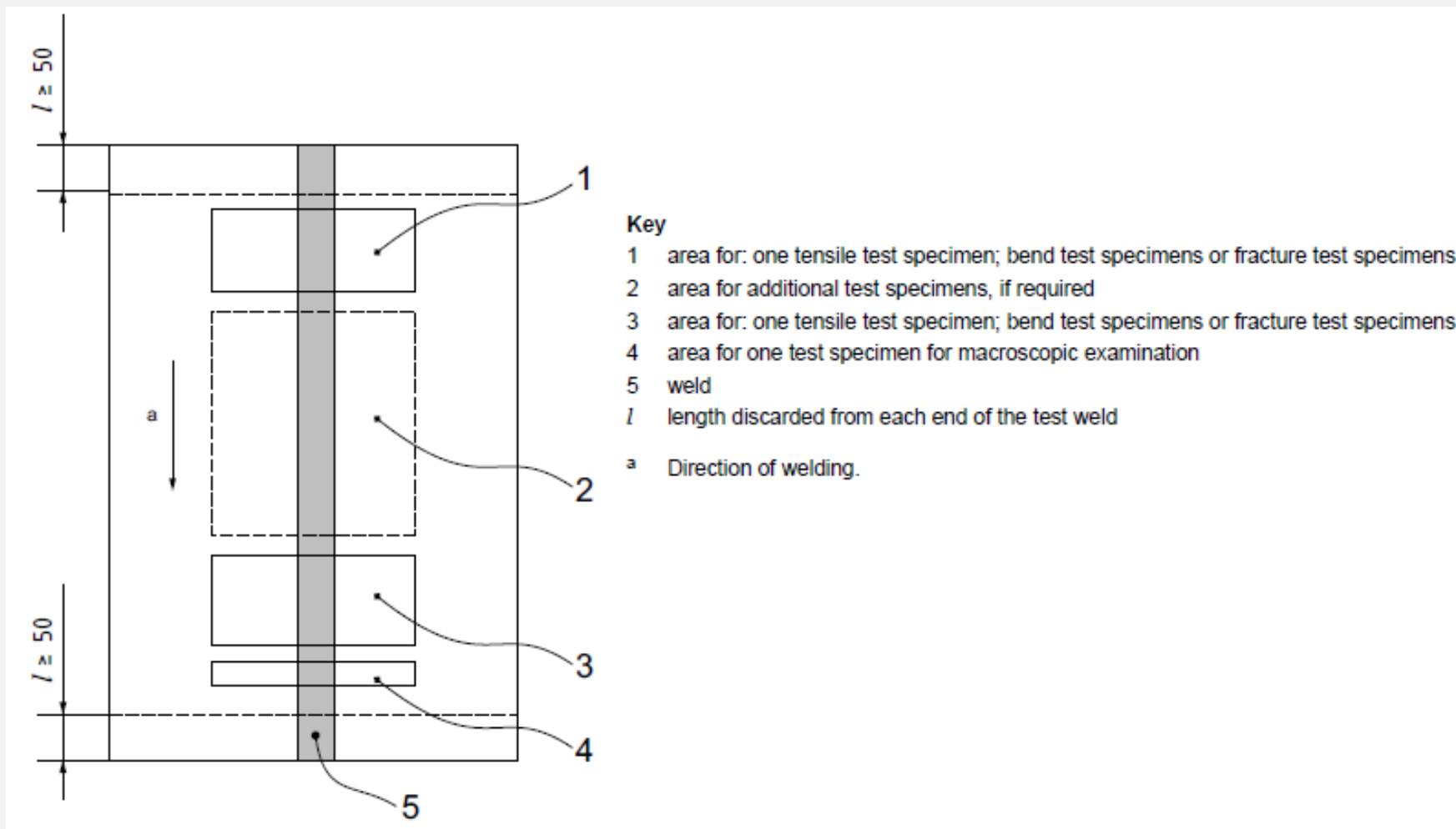
Teste distructive la imbinarile prin suprapunere pentru procedeul FSW

Tipul testului	ISO 25239-4	AWS D17.3
Examinare macroscopica	2 specimene	2 specimene
Teste de forfecare	Daca exiata cerinta	2 specimene
Peel test	Daca exiata cerinta	/
Teste de rezilienta	Daca exiata cerinta	/

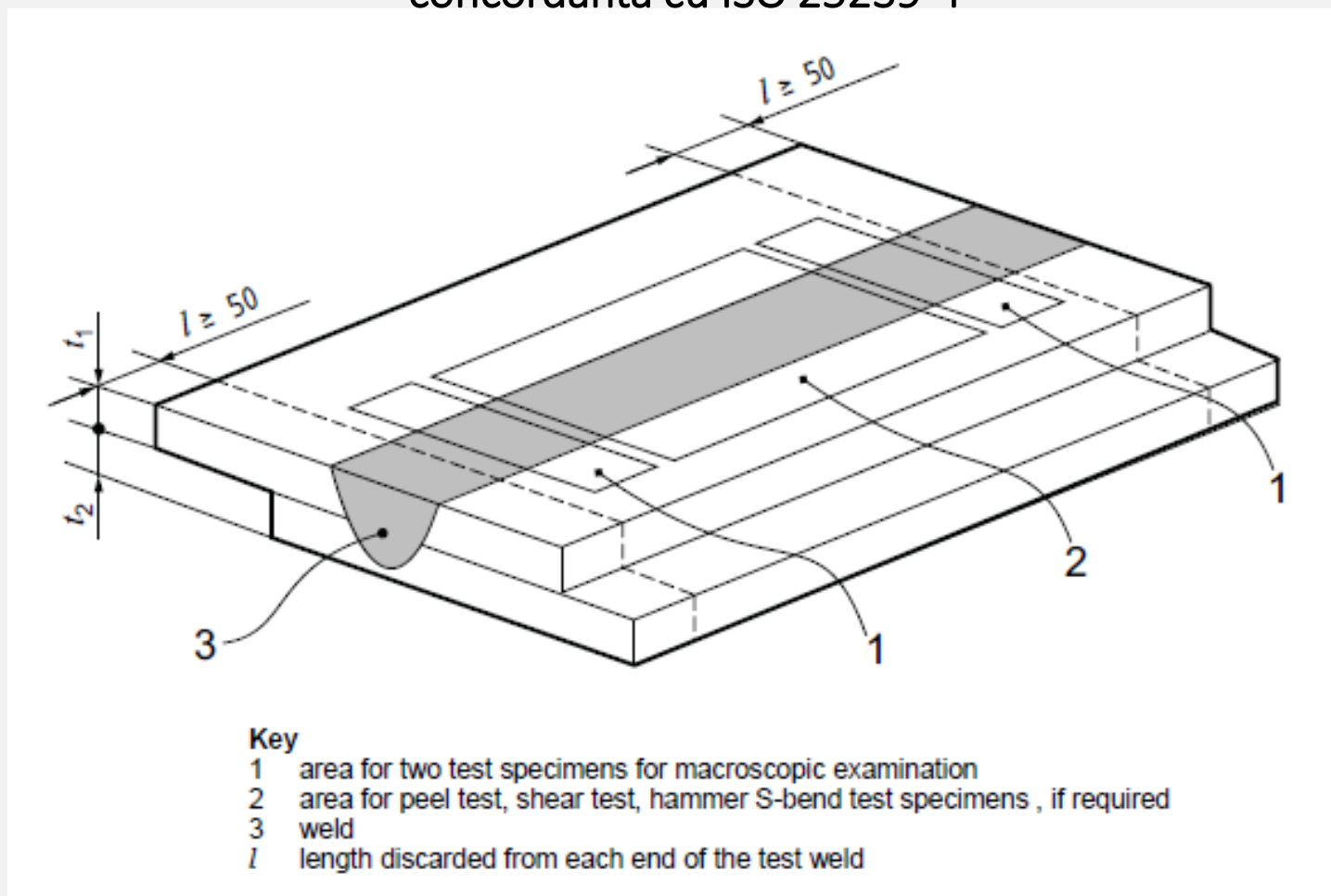
Testele distructive speciale la îmbinările prin suprapunere includ:

- Teste de oboseala
- Duritate si microduritate

Modul de prelevare a epruvetelor de incercare la imbinarile cap la cap in concordanta cu ISO 25239-4

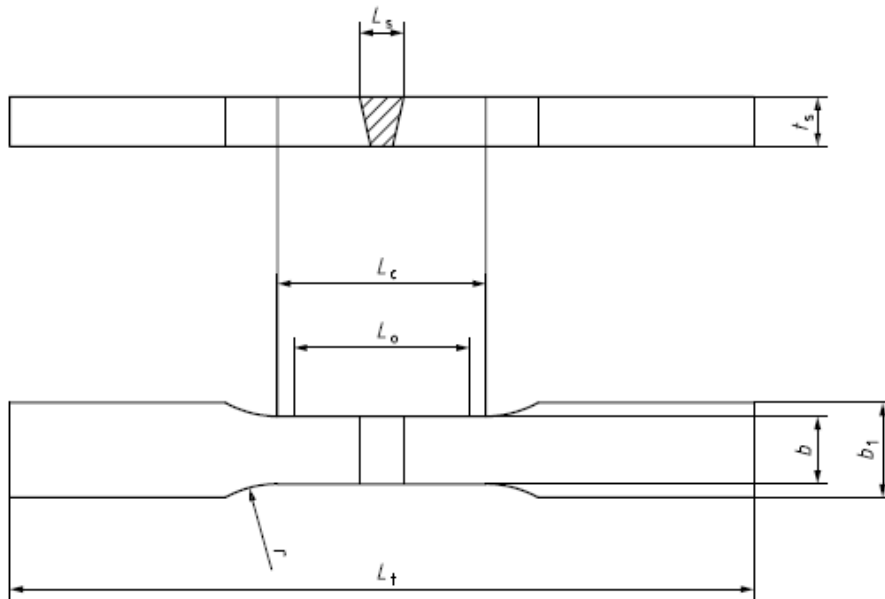


Modul de prelevare a epruvetelor de incercare la imbinarile prin suprapunere in concordanta cu ISO 25239-4



7.2 Standarde pentru testele distructive si criterii de acceptabilitate

- teste de tractiune pe directie transversa la imbinarile cap la cap ISO 4136:2012



Denomination	Symbol	Dimensions
Total length of the test specimen	L_t	to suit particular testing machine
Width of shoulder	b_1	$b + 12$
Width of the parallel length	b	12 for $t_s \leq 2$ 25 for $t_s > 2$
Parallel length ^a	L_c	$\geq L_s + 60$
Radius at shoulder	r	≥ 25

^a For some other metallic materials (e.g. aluminium, copper and their alloys) $L_c \geq L_s + 100$ may be necessary.

➤ Transverse bend testing of butt joints in plate: EN ISO 5173:2010

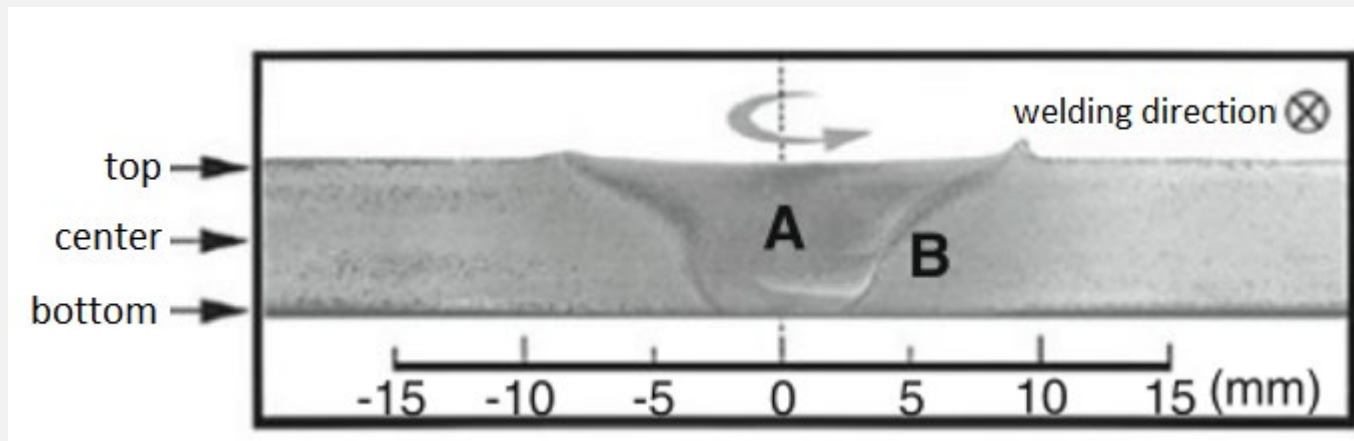
The advancing and retreating sides of the test specimens shall be marked prior to testing. **For all parent materials, the minimum bend angle shall be 150°**, using the calculated **maximum former diameter d** based upon the parent material minimum elongation A as (for $A > 5 \%$):

$$d = \frac{100 \times t_s}{A} - t_s$$

t_s ...thickness of the bend test specimen (this includes side bends) [mm]

For an elongation $A \leq 5 \%$, **annealing shall be carried out** before testing. The former diameter shall be calculated with the elongation given by the specified “O” temper conditions. If the bend tests fail due to grain growth that occurred during the annealing process, additional bend tests shall be performed. **During testing, the test specimens shall not reveal any single crack > 3 mm in any direction.**

- Specimenul de încercare trebuie pregătit și examinat pe o parte **pentru a se vedea clar zona de sudare**. Examinarea macroscopică trebuie să includă materialul neafectat. Examinarea macroscopică înainte de imbinare nu va evidenția fisuri.



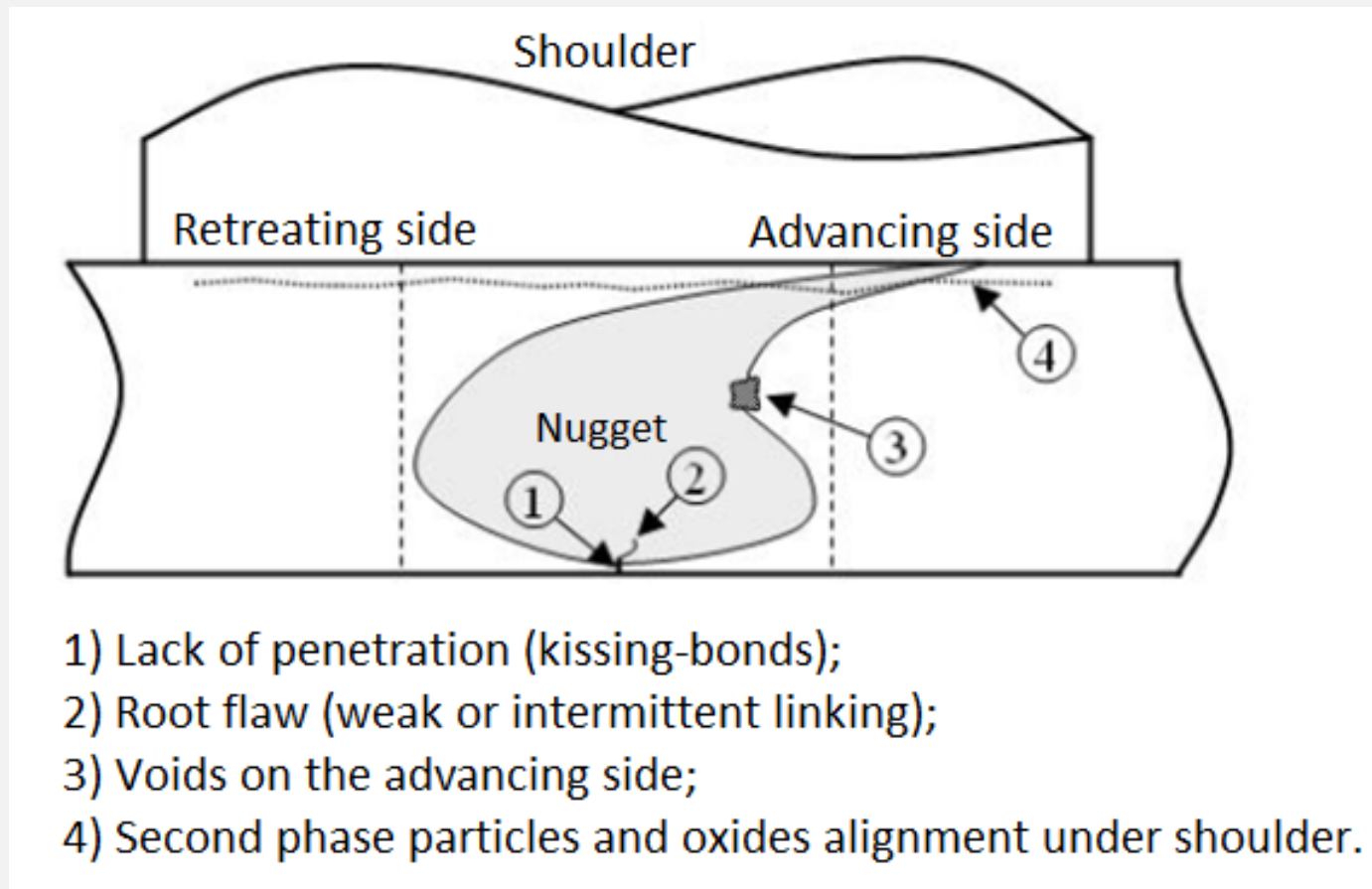
Examninare macro imbinare cap la cap la aliajul de aluminiu AA6063-T5, imbinare prin procedeul FSW

➤ Examinare vizuala (VT) la imbinarile cap la cap: ISO 17637:2016

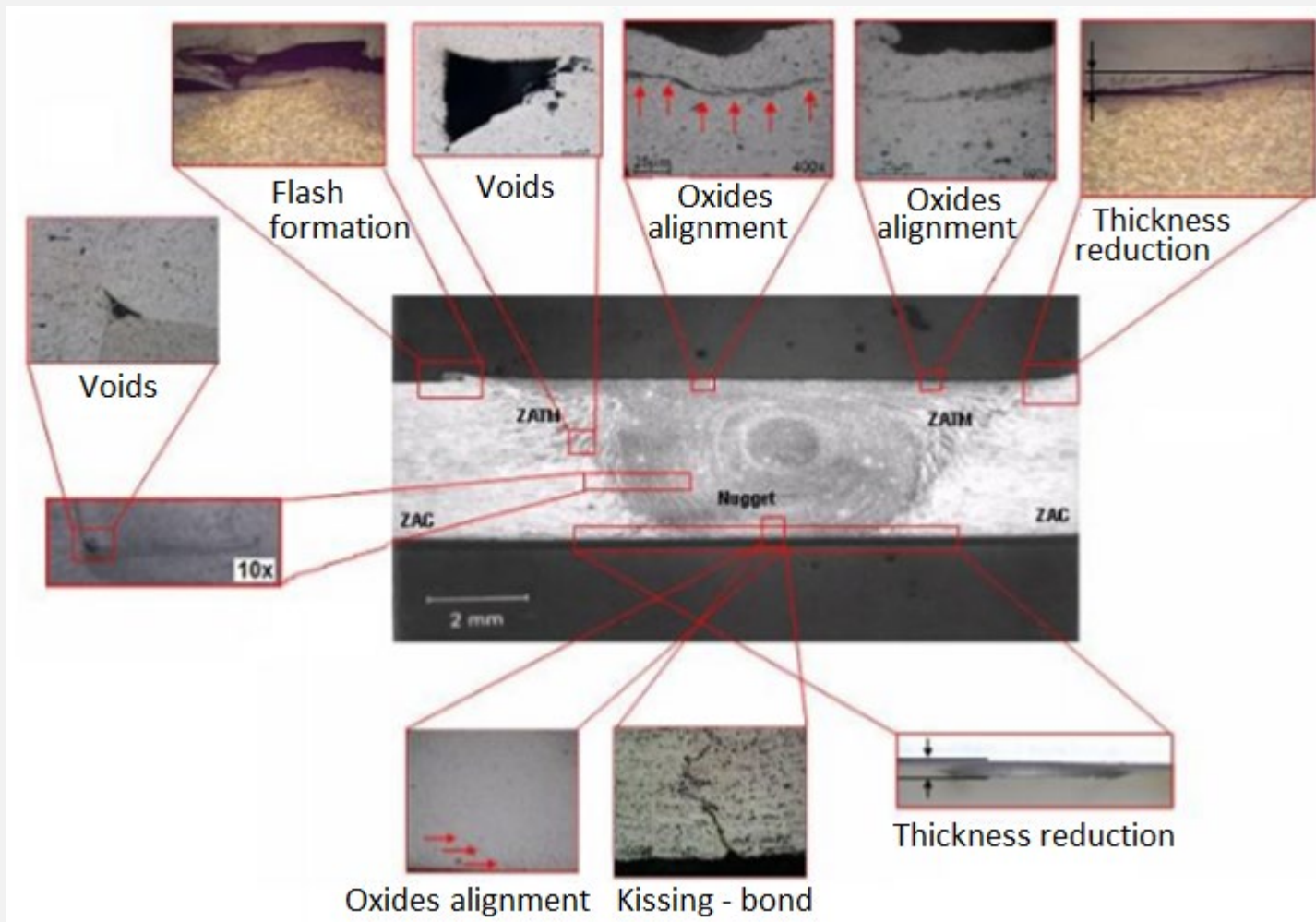
Această inspecție este în general **primul și cel mai simplu tip de inspecție**. Inspecția VT pe fața și rădăcina sudurilor se va face în proporție de 100% la îmbinările cu procedeul FWS .

- **Pentru ambele teste (ME, VT), se aplică nivelurile de acceptare ale ISO 25239-5: 2011, anexa A.** Alte imperfecțiuni se încadrează în limitele specificate ale cerințelor relevante sau ale caietului de sarcini.

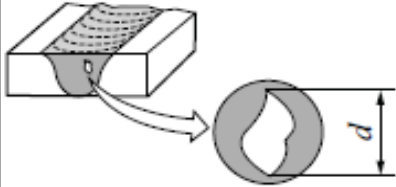
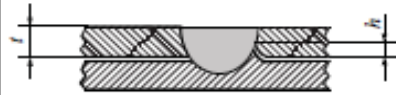
Imperfectiuni tipice in cazul imbinarilor cap la cap cu procedeul FSW



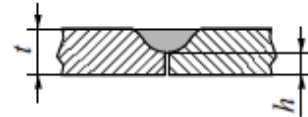
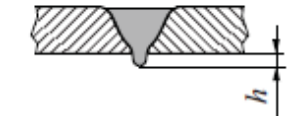

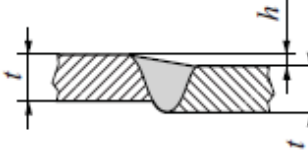
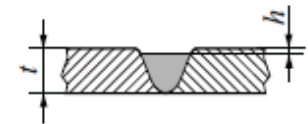
Imperfectiuni relevante la examinarea macroscopica (ME)



Imperfecțiuni interne și niveluri de acceptare pentru teste VT, ME - ISO 25239-5

Designation of imperfection	Remarks	Testing and examination in ISO 25239-4 ^a	Acceptance levels ^a	Reference number in ISO 6520-1 ^[3]
Internal imperfections				
Cavity		ME	$d \leq 0,2s$ or 4 mm, whichever is less	200
Hook		ME	— ^b	— ^c
<p>Symbols and abbreviated terms</p> <p><i>d</i> maximum transverse cross-sectional dimension of cavity (mm)</p> <p><i>h</i> height of an imperfection (mm)</p> <p><i>s</i> nominal butt weld thickness (penetration) (mm)</p> <p><i>t</i> nominal thickness of the parent material (mm)</p> <p>ME macroscopic examination</p> <p>VT visual testing</p>				
<p>^b Acceptance levels shall be within the specified limit of the relevant requirements or the design specification.</p> <p>^c See ISO 25239-1.</p>				

Imperfecțiuni de suprafață și niveluri de acceptare pentru teste VT, ME - ISO 25239-5

Designation of imperfection	Remarks	Testing and examination in ISO 25239-4 ^a	Acceptance levels ^a	Reference number in ISO 6520-1 ^[3]
Surface imperfections				
Incomplete penetration		ME	Not permitted	— ^c
Excess penetration		VT, ME	$h \leq 3 \text{ mm}$	504
Toe flash		VT, ME	— ^b	— ^c
Linear misalignment		VT, ME	$h \leq 0,2t$ or 2 mm, whichever is less	507
Underfill		VT, ME	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1t$ for $t \geq 2 \text{ mm}$: $h \leq 0,15t$ for $t < 2 \text{ mm}$	— ^c
Irregular width	Excessive variation in width of the weld	VT	— ^b	513
Irregular surface	Excessive surface roughness	VT	— ^b	514

7.3 teste nedistructive(NDT)

Metodele NDT utilizate pentru inspecția îmbinărilor prin FSW sunt **aceleași** cu cele utilizate pentru alte tipuri de suduri

Metode NDT obligatorii :

- lichide penetrante(PT)
- examinare radiografica(RT)
- examinarecu ultrasunete(UT)

Metode speciale NDT:

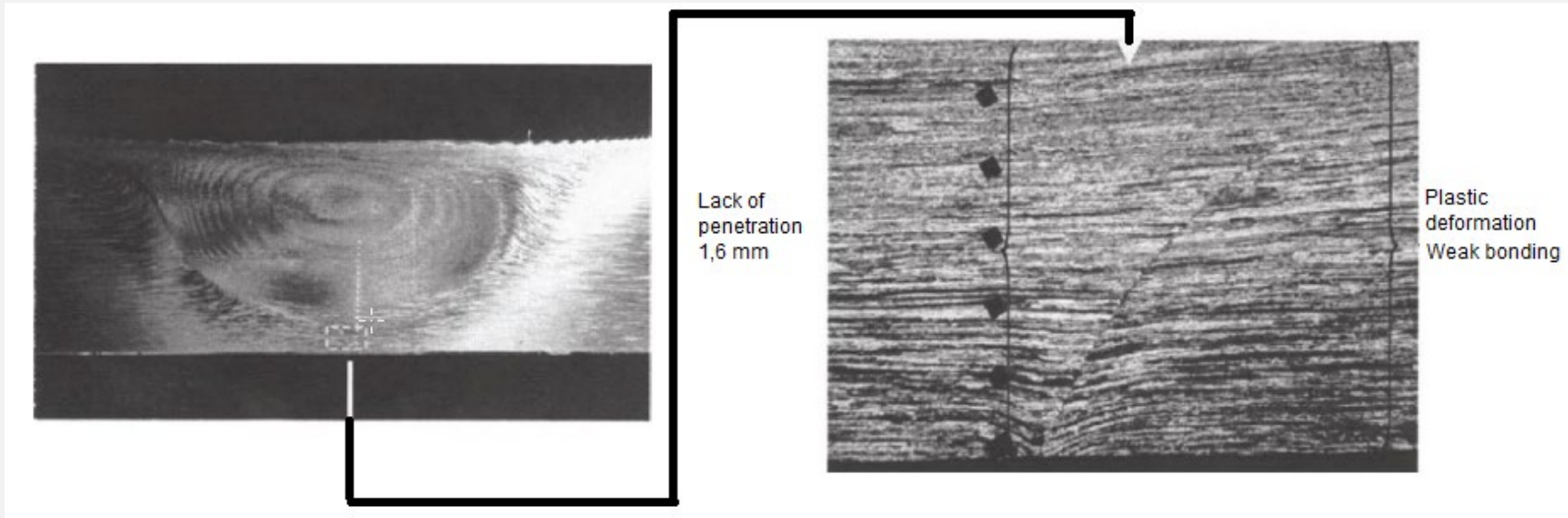
- Curenti turbionali (ET)

➤ examinare cu lichide penetrante(PT):

Aceasta este o metodă de inspecție aplicată pe scară largă și cu costuri reduse, **utilizată pentru localizarea imperfecțiunilor de rupere a suprafeței în toate materialele neporoase** (metale, materiale plastice, ceramică). PT se bazează pe acțiunea capilară, în care lichidul de tensiune superficială scăzută (colorant) pătrunde în întreruperi curate și uscate de rupere a suprafeței.

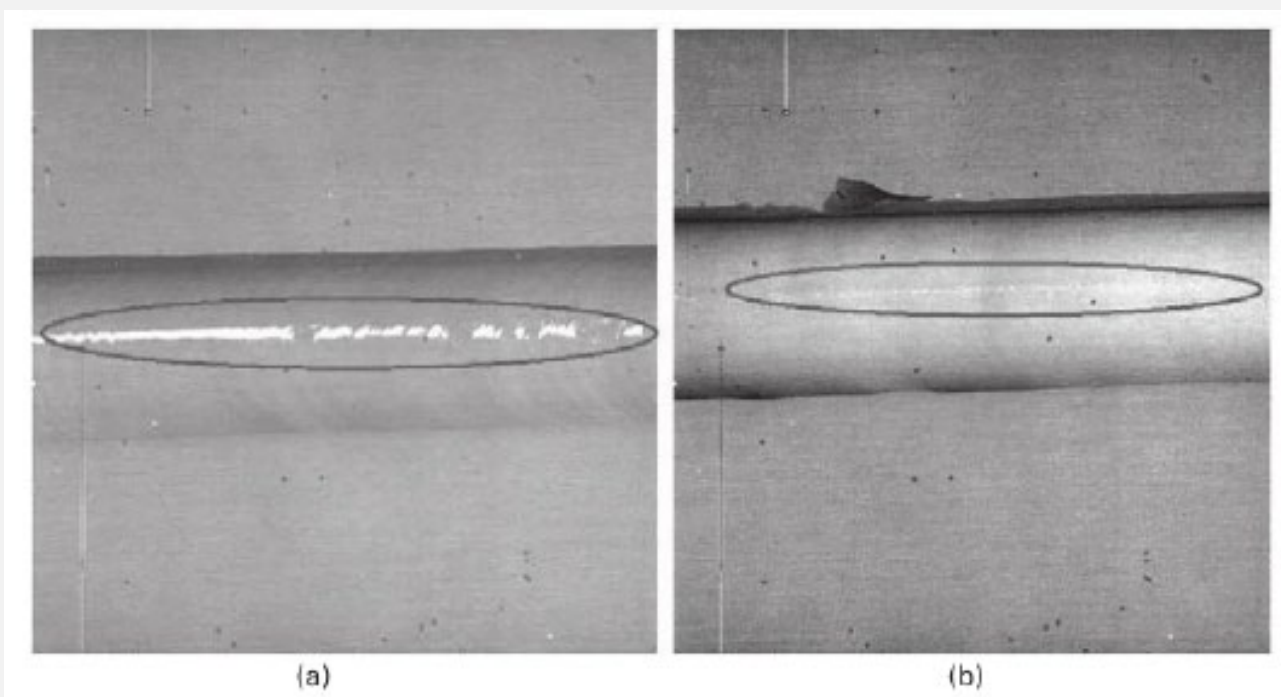
Caracteristicile inspecției PT

Aplicatii (tipuri de imperfectiuni)	Avantaje	Dezavantaje
<ul style="list-style-type: none"> • Fisuri • Pori • scurgeri • cusatura • suprapunere 	<ul style="list-style-type: none"> • ieftin • sensibil • Echipament minimal • Aplicare la forme iregulare • Versatil • Scolarizare minima 	<ul style="list-style-type: none"> • Doar suprafețe netede • Detectarea numai a imperfectiunilor de suprafață • Cerințe de ventilație • mudar




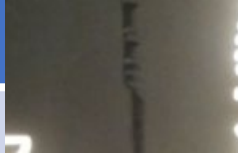






Secțiune transversală macroscopică a lipsei de nepatrundere (LOP), dezvăluită de inspecția PT. Această imperfecțiune este cea mai frecventă în imbinările cu procedeul FSW și este în corelație cu adâncimea de patrundere a sculei/uneltei FSW.

- examinare radigrafica (RT): Este utilizata pe scară largă la examinarea pieselor turnate și a îmbinărilor sudate, în special acolo unde există o nevoie critică **de a asigura ca nu exista imperfecțiuni interne**



Exemplu de RT care arată (a) **găuri de vierme** mari și (b) mici in imbinarile cap la cap cu FSW la aliaj de Al

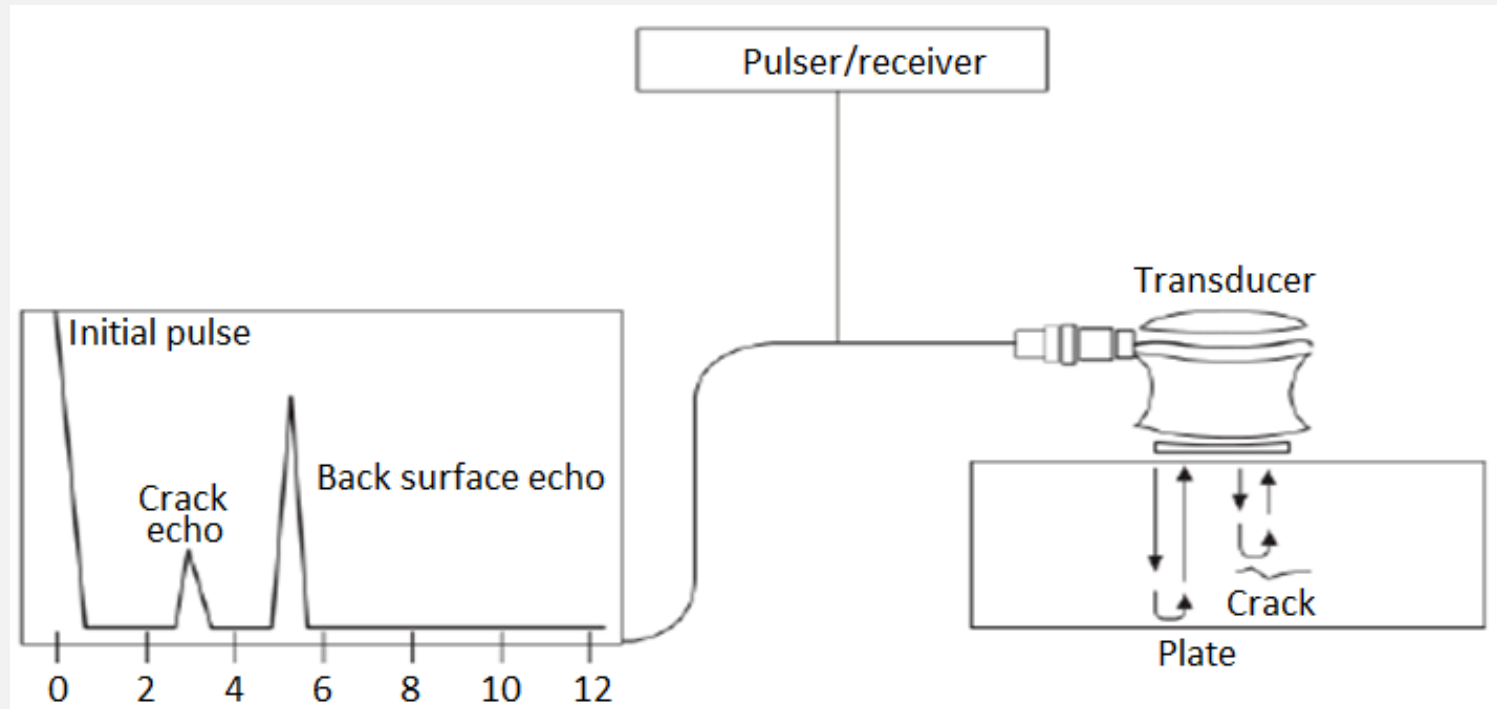
Câteva radiografii tipice pentru îmbinările prin FSW ale aliajelor de Al

			Imperfectiuni
			Lipsa de nepatrundere , gara de vierme
			Lipsa de nepatrundere , fisuri, goluri
			Lipsa de nepatrundere , fisuri, imbinare incompleta
			Lipsa de nepatrundere , fisuri, imbinare incompleta

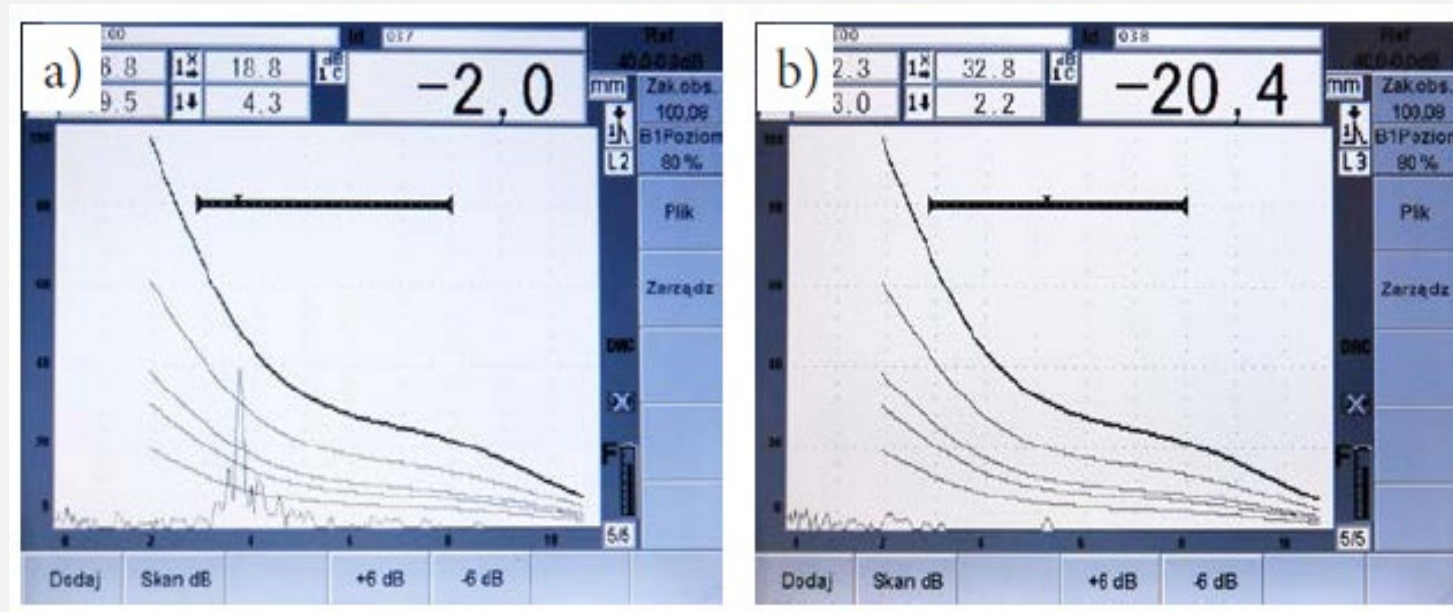
Cracteristici ale inspectiei RT

Aplicatii (tipuri de imperfectiuni)	Avantaje	Dezavantaje
<ul style="list-style-type: none"> • fisuri • Incluziuni • Pori • Bavuri/resturi • Lipsa de fuziune • Lipsa de nepatrundere • scurgeri 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibil la găsirea imperfecțiunilor pe tot volumul materialelor • Înregistrare permanentă ușor de înțeles • Inspectie volumica completa • Portabilitate 	<ul style="list-style-type: none"> • Pericol de radiație • Relativ ieftin • Timp lung de configurare • Accesul necesar pe ambele părți ale îmbinării • Adâncimea indicatorului nu este indicată • Grad înalt de calificare necesar pentru executarea și interpretarea rezultatelor

- Utilizează energia sonoră **de înaltă frecvență pentru a efectua** examinarea și pentru a face măsurători. Examinarea UT permite detectarea imperfecțiunilor interne care nu ies la suprafață. UT poate fi aplicat **pentru testarea îmbinărilor pe o parte.**



Exemplu de examinare UT a îmbinării prin procedeul FSW cu metoda ecoul puls a aliajul AA6082-T6 (scanare A)



a) cu o imperfecțiune introdusă în mod deliberat, având un diametru de 3 mm, situat în mijlocul unei îmbinări sudate

b) o îmbinare sudată făcută corect, fără imperfecțiuni

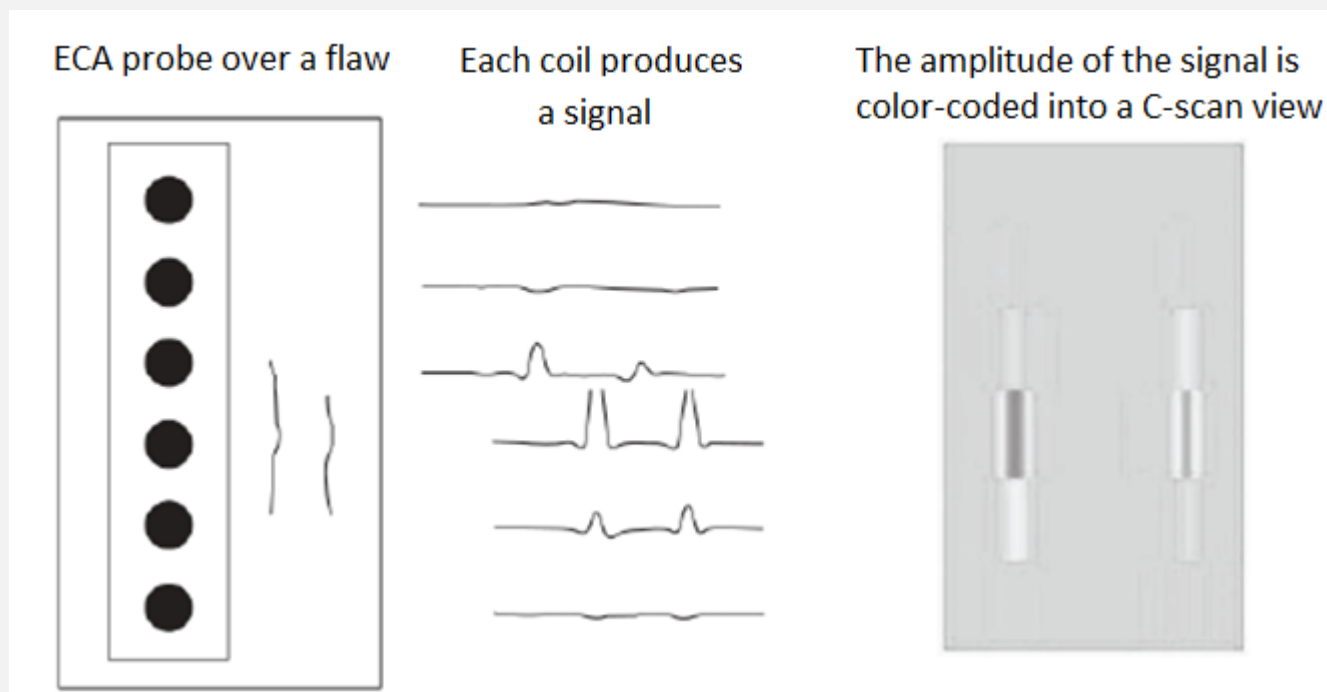
Caracteristicile examinarii cu UT

Aplicatii(tipuri de imperfectiuni)	Avantaje	Dezavantaje
<ul style="list-style-type: none"> • Lipsa de nepatrundere • Gauri de viermi • Imperfectiuni de suprafata si interne • Măsurarea grosimii 	<ul style="list-style-type: none"> • Metoda rapida • Doar accesul unilateral este necesar • Examinare volumetrica completa • Este necesară pregătirea minimă a pieselor • Rezultate instantanee • Imaginile detaliate pot fi produse automat • Înregistrare permanentă • Poate fi utilizat pentru măsurători de grosime 	<ul style="list-style-type: none"> • Suprafața trebuie să fie accesibilă și netedă • Rezultatele testelor depind de experiența operatorilor • Localizarea unei imperfecțiuni în raport cu o undă afectează detectabilitatea imperfecțiunii • Interpretarea poate fi dificilă • Necesitatea standardelor de referință și a blocurilor de calibrare • Dificultate cu geometriile complexe ale îmbinărilor de sudură • Utilizarea obligatorie a cuplului • Nu este permisă examinarea UT în zona inspecțiilor PT anterioare

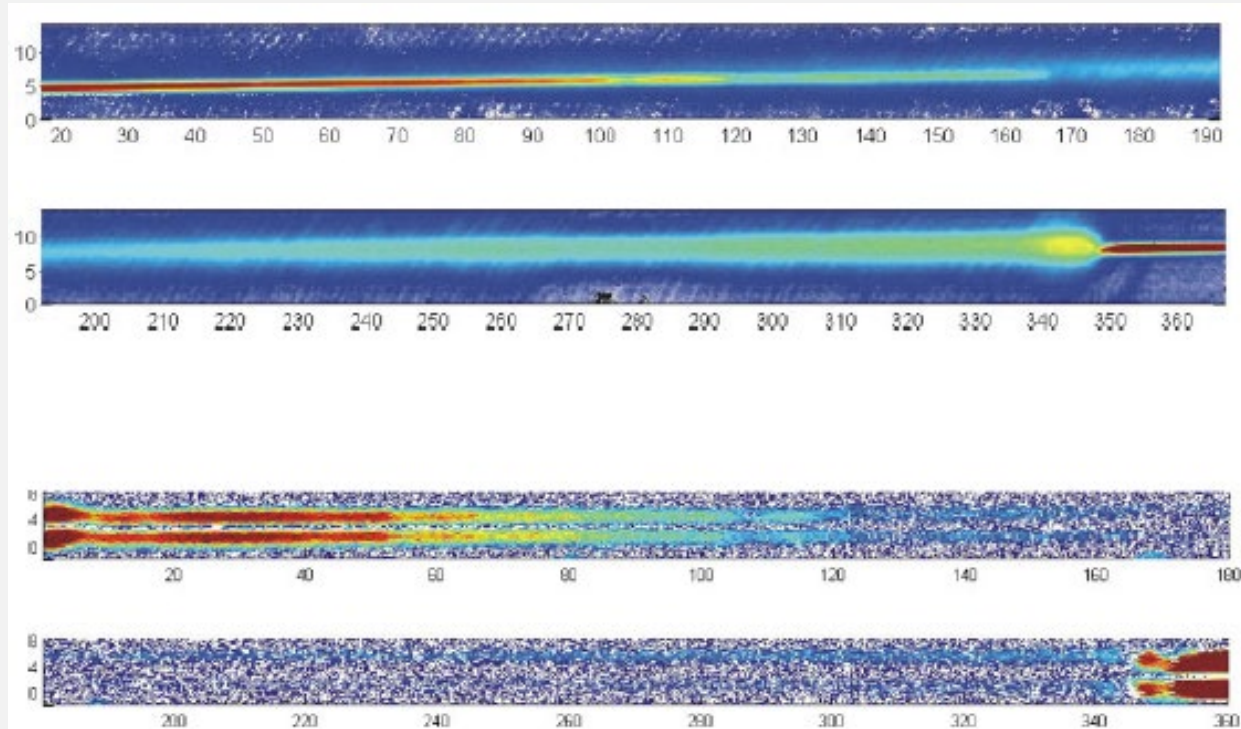
- Examinarea cu curenți turbionari(ET): Această inspecție folosește principiul electromagnetismului ca bază pentru efectuarea examinărilor, **curenții turbionari sunt creați prin inducție electromagnetică**. Când curentul alternativ (AC) este aplicat conductorului (fir de cupru), un câmp magnetic se dezvoltă în jurul conductorului. Dacă un alt conductor este apropiat de câmpul magnetic, **curentul va fi indus în acest al doilea conductor**. În prezența imperfecțiunii, fluxul de curenți este perturbat, creând o perturbație în **câmpul magnetic** la suprafața părții examinate.

Frecvența de curent alternativ folosită pentru inducerea curenților și conductivitatea electrică a materialului care este **inspectat determină adâncimea și penetrarea câmpului de curent** și rezultă adâncimea examinării. Examinarea ET este o **metodă de suprafață și aproape de suprafață**, datorită pătrunderii limitate a curenților eddy în adâncime.

Sonde multiple pot fi integrate într-un singur cap de inspecție pentru a crește acoperirea, sensibilitatea și viteza testării. **Această metodă se numește testare în trepte cu curenți turbionari.** Pe lângă creșterea suprafeței acoperite de sonde multiple, **frecvența de curent alternativ poate fi variată pentru a optimiza sensibilitatea atât pentru imperfecțiunile de suprafață cât și de suprafață.** ET pentru îmbinările prin FSW se realizează în cea mai mare parte cu testarea în faze cu curenți turbionali.



Principiul Phased array ET



Sus: examinarea ET arată lipsa de nepatrundere ca o linie subțire spre capătul imbinării sudate

Jos: Examinarea ET pulsată arată lipsa de nepatrundere până la 160 mm de la începutul imbinării sudate

Caracteristicile examinarii ET

Aplicatii (tipuri de imperfectiuni)	Avantaje	Dezavantaje
<ul style="list-style-type: none"> • Fisuri , incluziuni, urme de lovituri, gauri • Lipsa de nepatrundere • Uzura prin frecare • Dimensiunea lăţimii graunţilor(detectarea indirectă a straturilor de oxid) • Imperfectiuni de suprafata • Dimensiunea graunţelor, duritate • Dimensiuni si geometrie • Sortarea aliajelor 	<ul style="list-style-type: none"> • rapid • Inspectia se face într-o singură trecere • Acoperirea completă a îmbinării sudate • Scanare pentru o interpretare facilă • Usor de operat • Automatizare disponibilă • Înregistrare permanentă disponibilă • Contactul pentru eşantion nu este necesar 	<ul style="list-style-type: none"> • Testarea manuală a suprafeţei este lentă • Interpretation may be difficult • Adâncimea de penetrare este limitată • Orientarea imperfecţiunii este critică • Specimenul trebuie sa aiba conductibilitate electrica • Sensibil la mulţi parametri • Rugozitatea suprafeţei poate produce indicaţii nerelevante

7.4 Standarde pentru examinari nondistructive si criterii de acceptare

- Examinarea cu lichide penetrante (PT), metoda:

ISO 3452-1:2013 [Examinări nedistructive. Examinare cu lichide penetrante. Partea 1: Principii generale](#)

- Examinarea radigrafica (RT), metoda:

ISO 17636-1:2013 [Examinări nedistructive ale sudurilor. Examinarea radiografică. Partea 1: Tehnici care utilizează radiații X sau gama cu film](#)

ISO 17636-2:2013 [Examinări nedistructive ale sudurilor. Examinarea radiografică. Partea 2: Tehnici care utilizează radiații X sau gama cu detectori digitali](#)

Examinarea cu ultrasunete (UT) poate fi utilizată în loc de examinarea radiografică (RT), atunci când este specificată din proiectare.

➤ Examinarea cu ultrasunete (UT), metoda:

ISO 17640:2017 Examinări nedistructive ale îmbinărilor sudate. Examinare cu ultrasunete. Tehnici, niveluri de examinare și evaluare

➤ Examinarea cu curenți turbionari (ET), metoda:

ISO 17643:2015 Examinări nedistructive ale sudurilor. Examinarea prin curenți turbionari a îmbinărilor sudate prin analiză în plan complex

➤ Niveluri de acceptare pentru toate metodele NDT:

ISO 23277:2015 Examinări nedistructive ale sudurilor.
Examinarea cu lichide penetrante a sudurilor. Niveluri de
acceptare

ISO 10675-2:2017 Examinări nedistructive ale îmbinărilor sudate.
Niveluri de acceptare pentru examinarea radiografică. Partea 2:
Aluminiu și aliajele acestuia

ISO 11666:2018 Examinări nedistructive ale sudurilor. Examinare
cu ultrasunete. Niveluri de acceptare

Pentru **examinările ET** trebuie utilizate cerințe relevante sau specificații de proiectare pentru determinarea nivelurilor de acceptare, deoarece **această metodă este utilizată atunci când sunt necesare cerințe stricte pentru integritatea sudurii.**

7.5 Calibrarea echipamentului si reproductibilitate

- Calibrare: Contoarele, panourile și cadranele instalate pe aparate de sudare automate, mecanizate sau robotizate **trebuie calibrate folosind o procedură stabilită. Fabricantul stabilește și documentează procedurile de calibrare aplicabile.**
- Capacități și performanțe ale echipamentului :Echipamentele de sudare (mașini de sudat și scule FSW) **trebuie să poată produce suduri care îndeplinesc criteriile** de acceptare specificate în ISO 25239-5 sau AWS D17.3. **Echipamentele de sudare trebuie să poată menține calitatea și consistența sudurilor.**

- Teste de reproductibilitate pentru setări calificate de sudare a mașinii: Trebuie să fie demonstrat că echipamentul de sudare poate **produce în mod repetat suduri care îndeplinesc nivelurile de acceptare** în ISO 25239-5 sau AWS D17.3.
- Testele de reproductibilitate **se efectuează atunci când apare oricare dintre următoarele:**
 - o componentă critică a echipamentului de sudare este deteriorată, reparată sau înlocuită
 - sudarea într-o zonă în cadrul pachetului de lucru al mașinii unde fabricantul determină o diferență de rigiditate mașină din locația calificării inițiale rezultând suduri inacceptabile

Testul de reproductibilitate se efectuează în conformitate cu un WPS care este utilizat în producție pentru mașina respectivă. Se fac succesiv cel puțin trei îmbinări sudate de încercare.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Friction Stir Welding European Qualifications

Va multumesc pentru atentie!