



Friction Stir Welding European Qualifications

## CU11 – Implementarea sistemului FSW

FSW Engineer



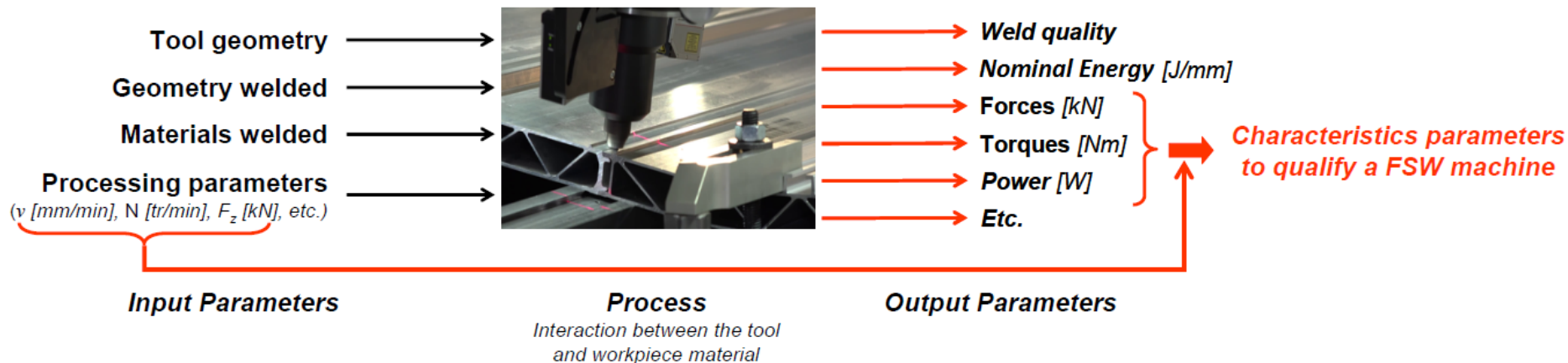
Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

- 11.1 Costuri
- 11.2 Cerințe pentru instalarea sistemului FSW
- 11.3 Operațiuni post-procesare
- 11.2 Referinte

## 11.1 Echipament FSW

În literatura de specialitate sunt prezentate trei tipuri de utilaje ca fiind viabile pentru a efectua FSW. Aceste aparate sunt:

- [Mașini convenționale, cum ar fi mașini de frezat/frezele;](#)
- [Mașini FSW dedicate sau mașini personalizate;](#)
- [Roboti industriali](#)



### Presentation of the input and parameters related to a FSW operation



## 11.1.1 Mașini convenționale - frezele

- Procesul FSW este similar în ceea ce privește principiul de funcționare al echipamentului ca și alte procese de fabricație, precum prelucrarea, debavurarea, frezarea/amestecarea sau găurirea. Astfel, o mașină convențională, cum ar fi o freza, poate fi utilizată pentru a efectua FSW pe piese subțiri din aliaje de aluminiu.

Sarcinile in cazul procesului FSW sunt mai mari decât sarcinile generate în procesul de frezare.

Din acest motiv, mașinile-unelte convenționale trebuie consolidate pentru a-și crește capacitatea de încărcare și rigiditate.



## 11.1.2 Mașini FSW dedicate sau mașini personalizate

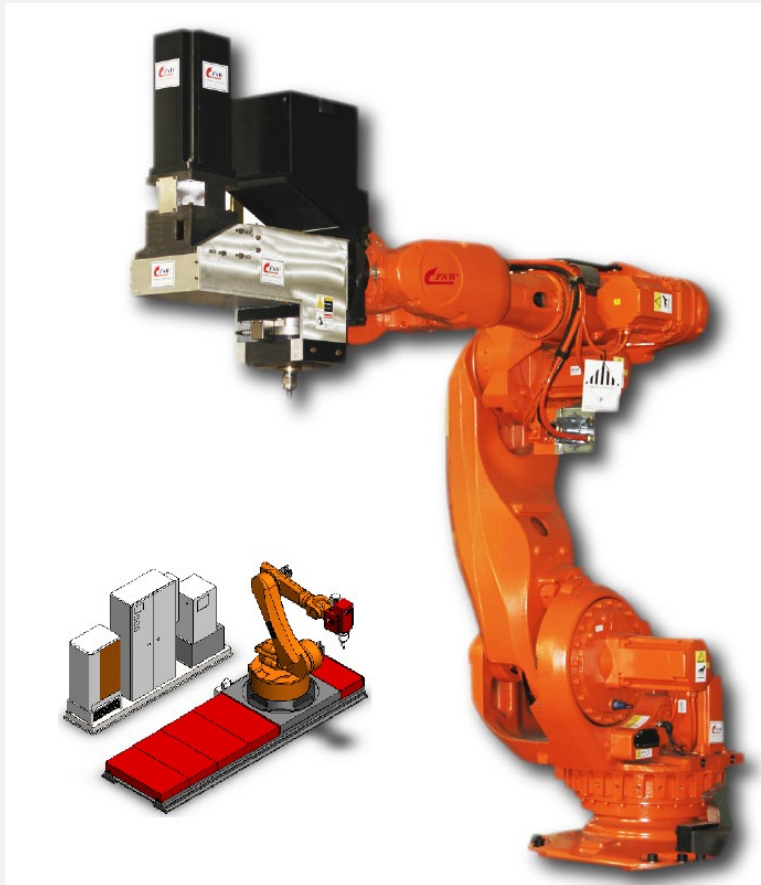
- Mașinile FSW dedicate tind să aibă **cea mai mare capacitate de încărcare, rigiditate, precizie** și disponibilitate [23].
- De obicei, mașinile dedicate FSW sunt relativ scumpe, iar **costurile lor cresc odată cu capacitatea de flexibilitate**.
- Utilizarea mașinilor FSW dedicate este recomandată pentru producția de îmbinări sudate în serie înaltă a pieselor groase / subțiri în aplicații în care:
  - ✓ este necesară o rigiditate ridicată;
  - ✓ aplicații unice sau cu mai multe axe;
  - ✓ lungi mari de sudură.



Masini FSW



## 11.1.3 Roboti industriali



Echipeamente și sisteme de control FSW [12]

### Classification

General Robotic FSW System

Robotic FSSW System

Robotic Bobbin FSW System

Robotic Floating Bobbin FSW System

Robotic Stationary Shoulder FSW System

- Higher automatic welding processing
- More complex structure, e.g. 2D, 3D
- Multi-control models, e.g. pressure, position and torsion controlling model
- Higher quality with lower deformation joint
- More stability



## Robotic FSW system with two welding stations for simultaneous welding and loading/unloading of components



- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| A) HMI / process & system control | D) Welding station 2                             |
| B) FSW welding head with FSW tool | E) Industrial robot                              |
| C) Welding station 1              | F) Safety housing with automatic roller shutters |

## Welding parameters FSW robot system

Welding speed .....	up to 2,000 mm/min
Welding depth .....	up to 10 mm
Process forces axial .....	up to 10 kN
Process forces radial .....	up to 5 kN
Spindle rotation .....	up to 10,000 min <sup>-1</sup>

Roboti sunt disponibili în două categorii[23]:

- Roboti cu brat articulată
- Roboti cinematici paraleli

Robotii cu brațe articulate prezintă **repetabilitate și flexibilitate ridicate**, dar **precizie scăzută** care se agravează atunci când sunt supuși la sarcini mari.

Comparând roboți articulați cu mașini dedicate FSW, acești roboți prezintă **o flexibilitate mai mare și o capacitate de luare a deciziilor**, pe lângă faptul că au un cost remarcabil de scăzut. Cu toate acestea, aceste tipuri de roboți au **o rigiditate relativ redusă și o capacitate de încărcare moderată** care limitează aplicarea lor.

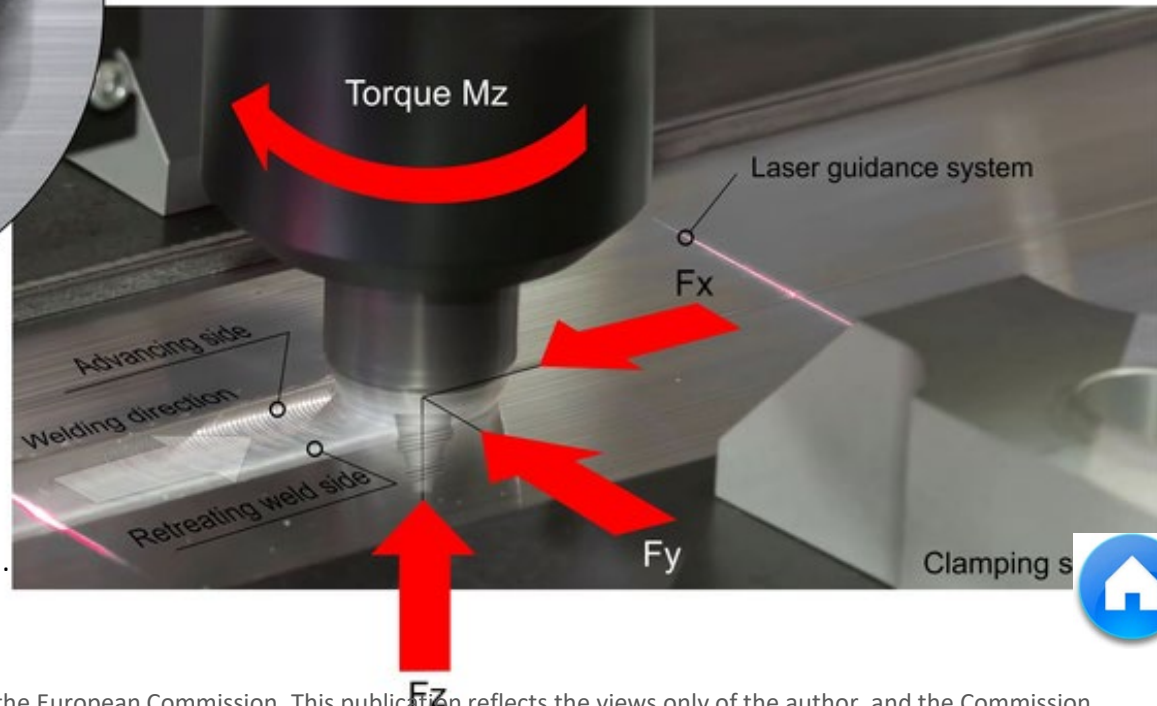
## 11.1.4 Capacitatea echipamentului in termeni de forta de incarcare



O problemă dificilă în FSW este aceea de a avea o mașină capabilă să suporte sarcinile mari generate în timpul procesului de sudare, care depinde foarte mult de tipul de material și grosimea pieselor de lucru.

Cele mai relevante sarcini care acționează pe o mașină FSW:

1. Forța axială( $F_z$ ),
2. Forța transversală( $F_x$ ),
3. Forța laterală( $F_y$ ),
4. Moment de torsiune( $M_z$ ).





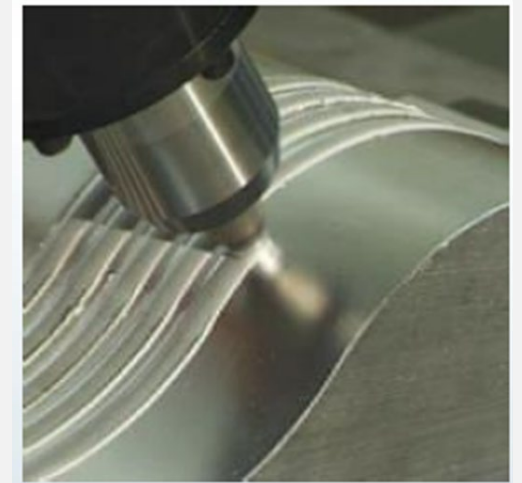
## Forta capabila

Forta laterala( $F_y$ )	Forta laterala( $F_y$ )	Forta transversala( $F_x$ )	Moment de torsiune( $M_z$ )
<p><b>Forța axială</b> este unul <b>dintre principalii parametri</b> ai procesului. Acesta asigură frecarea dintre scula FSW și piesele de lucru și, de asemenea, presiunea de forjare necesară pentru a obține o bună formare în imbinarea sudată. Căldura produsă în procesul FSW depinde direct de forța axială.</p>	<p><b>Forța laterală</b> (forța radială) rezultă din asimetria forțelor FSW cauzate de rotația sculei. Partea care avansează este mai moale și astfel, mai puțin rezistentă. Această forță este orientată de la partea de retragere spre partea de avans a sudurii.</p>	<p><b>Forța transversală</b> este produsă de rezistența materialului la mișcarea sculei de-a lungul liniei de îmbinare (este opusă direcției de sudare).</p>	<p><b>Momentul</b> menține forța de frecare între scula FSW și piesa de lucru asigurând agitarea materialului și formarea zonei de imbinare.</p>



## 11.1.5 Sistemul de control

- Toate utilajele sunt controlate folosind cea mai recentă tehnologie **PLC (Programmer Logic Controller)** și unități de înaltă precizie. Acest lucru permite poziția axelor și viteza mașinii să fie controlate în mod delicat și precis.
- Controlul axei Z funcționează fie în poziție, fie în modul de control al forței setate.
- Interfața HMI cu ecran tactil condus de meniu este concepută special pentru FSW. Este interfața pentru configurarea parametrilor de proces, calea de sudare, precum și cei mai comuni parametri ai mașinii. De asemenea, oferă funcții de monitorizare a parametrilor procesului, a alarmelor și a stării sistemului.

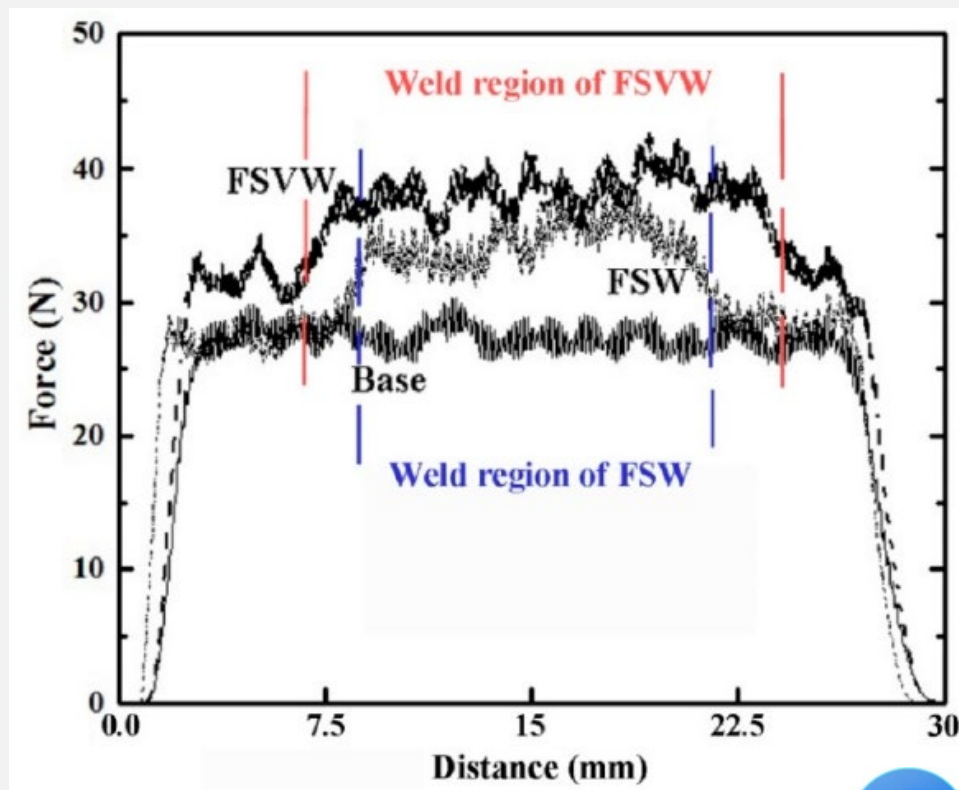
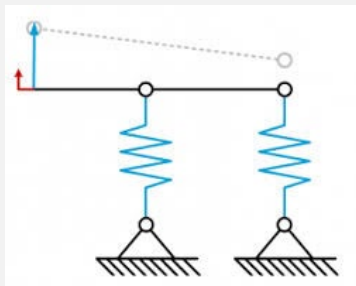


## 11.1.6 Rigiditate și capacitate de precizie

Aceasta este capacitatea echipamentelor FSW de a suporta sarcini **fără a suferi deformări sau deflexie**.

Atunci când o mașină FSW prezintă o **rigiditate scăzută**, unealta/scula FSW se abate de la calea dorită de sudare, **afectând puternic calitatea sudării**.

Mai mult, mașinile cu rigiditate scăzută tind să provoace **vibrații excesive** care, la rândul lor, pot duce la instabilitatea procesului FSW.



## 11.1.7 Capacitatea de detecție

- **Detectarea** constă în capacitatea mașinii de a conștientiza unele fenomene care au loc în imbinare, adică valorile variabilelor de sudare directe și indirecte implicate în procesul FSW care reflectă evoluția materialului de sudare și formarea sudurii în consecință.
- **variabile de sudare directe** - parametrii de sudare care nu pot fi acționați într-un mod direct (vitezele de rotație și traverse, unghiul de înclinare și cantitatea de căldură externă)
- **variabile indirecte** toate acele variabile care nu pot fi acționate în mod direct, depind de alte variabile. Acest grup de variabile este compus din sarcinile implicate în procesul de sudare (forța axială, forța transversală, forța laterală și cuplul), temperatura atinsă în zona de sudare, debitul de material agitat și amestecul de materiale.

## 11.1.8 Capacitate de luare a deciziilor

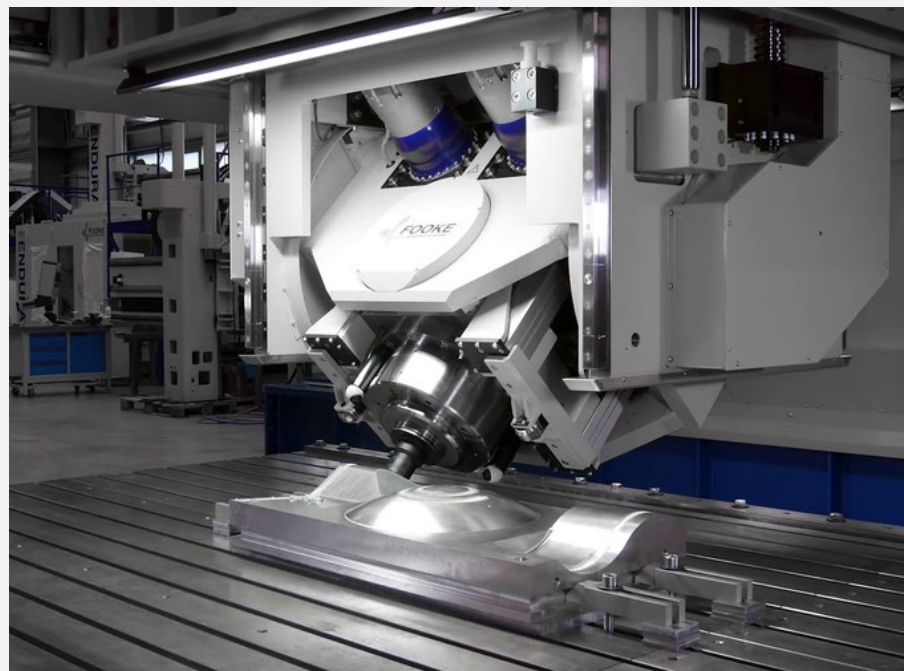
Metodele de control pot fi implementate în sistemul de control al echipamentului pentru a **permite autoadaptarea procesului.**

Datele furnizate de la senzori (valorile variabilelor directe și indirecte) sunt utilizate ca **feedback** pentru **sistemul de control.**



## 11.1.9 Gradul de flexibilitate al masinii

- Flexibilitatea unei mașini limitează **complexitatea** unei **căi de sudare** (liniară, curbă) care poate fi efectuată.
- Numărul de axe (**grade de libertate - DOF**) pe care le deține o mașină stabilește de obicei flexibilitatea mașinii.



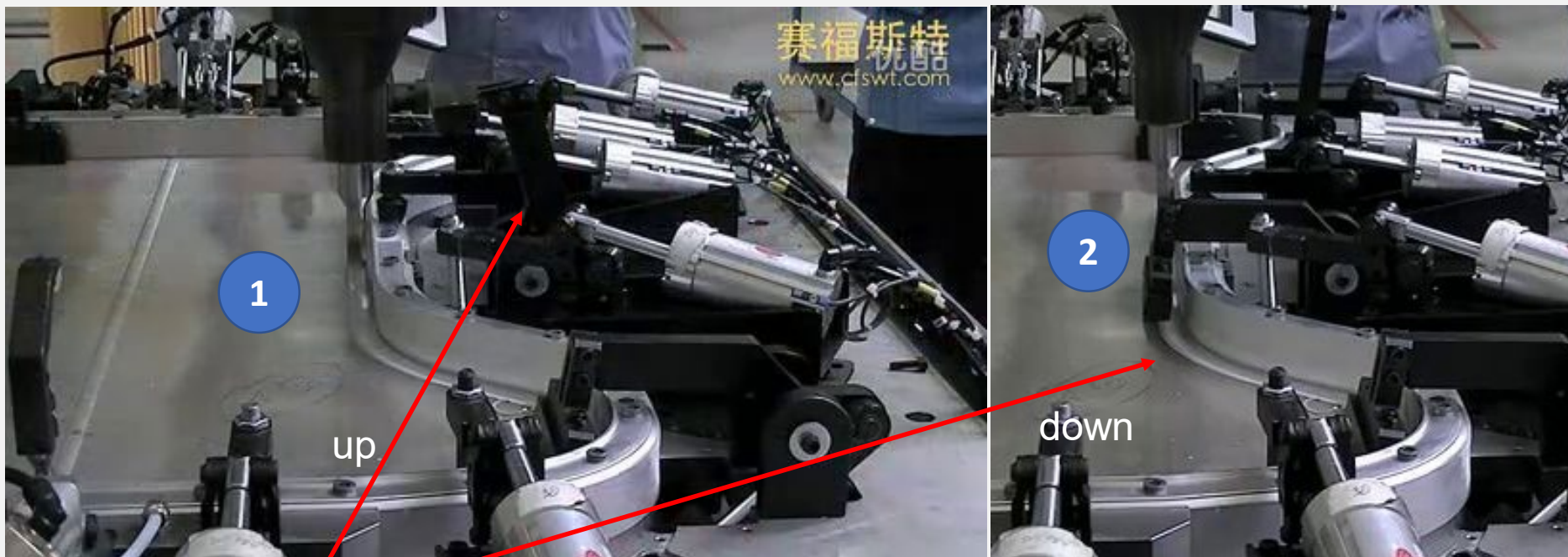
- O cale de sudare tridimensională (3D) este cea mai solicitantă în ceea ce privește flexibilitatea. O mașină pentru a efectua cea mai simplă cale 3D trebuie să aibă cel puțin cinci axe. Multe aplicații necesită suduri multiple în direcții diferite, care impun o anumită flexibilitate a mașinii.

## 11.2 Componentele echipamentului

- Cadru rigid
- Componente cu mișcare puternică și rapidă
- Sistem avansat de control al sculelor (CNC)
- 5 axe pentru calea de sudură 3D
- Sistem de forță de poziție și control
- Sistem de înregistrare și monitorizare a parametrilor de sudare
- Capete FSW cu tehnologie tip bobină pentru sudarea pieselor mai groase
- Soluții de urmărire cu laser a îmbinării sudate
- Monitorizarea sistemului video



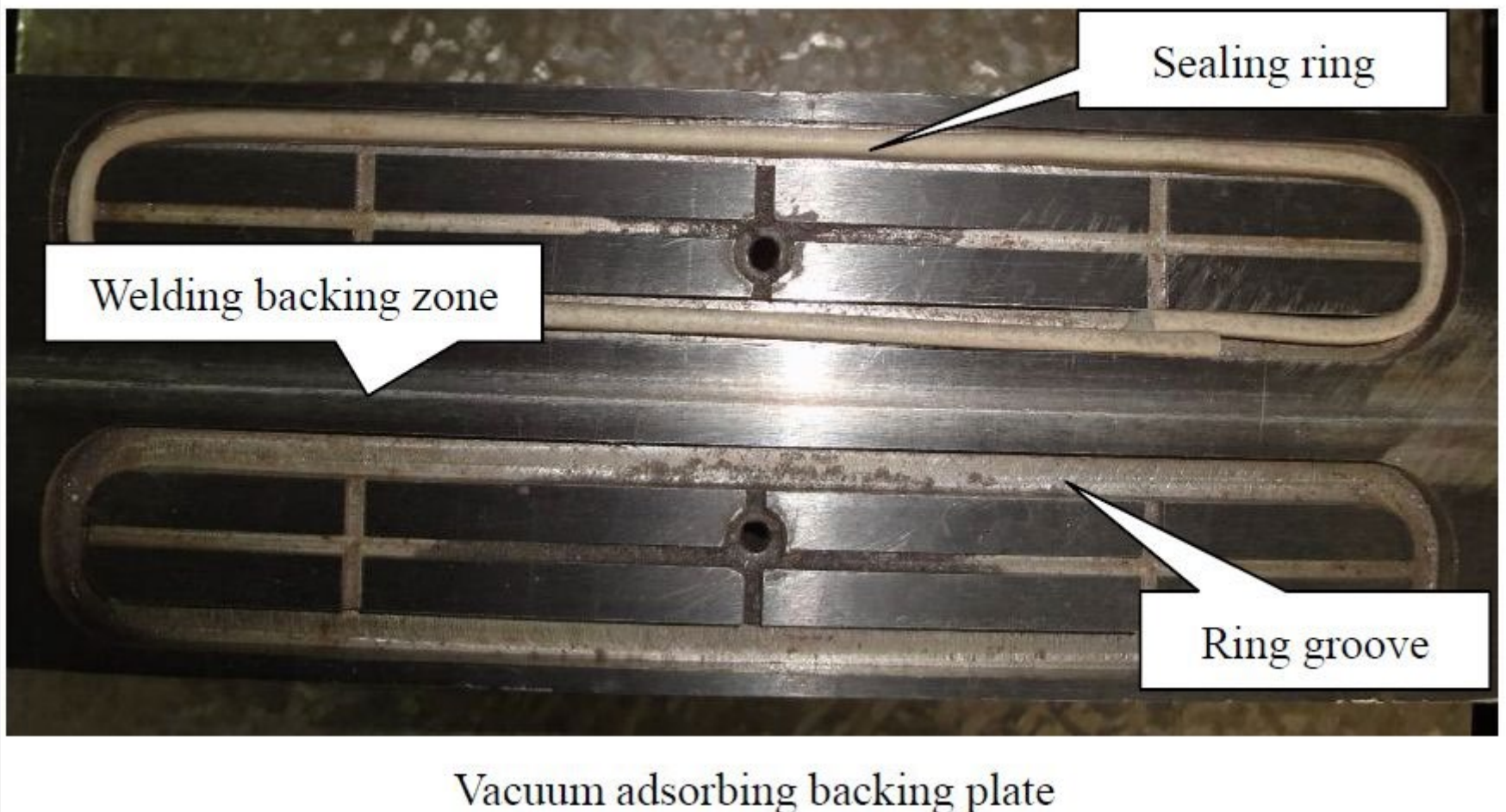
## 11.2 Sistem de prindere



**Sistemele avansate de prindere** pot fi controlate individual în funcție de poziția sculei. Sistemele de prindere sunt ridicate și coborâte în mod automat pe baza poziției uneltei/sculei FSW. Se poate realiza folosind senzori de proximitate sau printr-un program de cod.

Acțiune pneumatică / control al sistemului de prindere compus din mai mulți papuci (elemente de prindere) care asigură fixarea corespunzătoare a componentelor.

## 11.2 Sistem de prindere

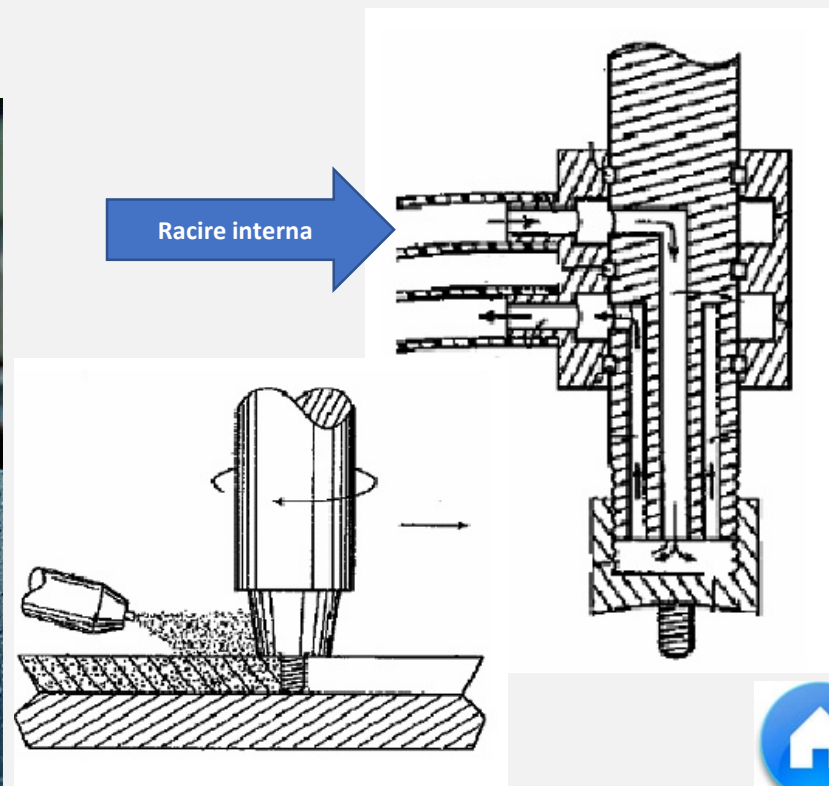
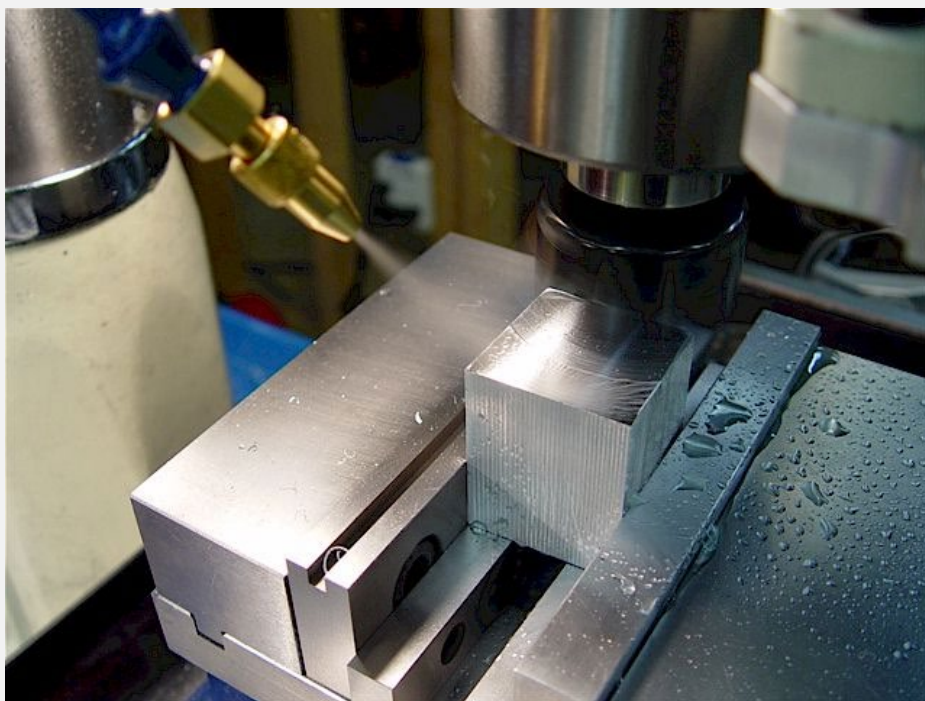




## 11.4 Sistem de răcire

- o viteză de răcire 0,01 Gpm pentru răcire directă
- o rată de răcire 0,1 Gpm pentru răcire internă
- aerul rece sau gazul este pulverizat în lateral

Gpm – galon pe minut  
1 Gpm = 3,78 Litri pe minut



## 11.4 Sistem de urmarire a imbinarii cu laser



## 11.5 Costuri de funcționare a producției

În ceea ce privește costul, această problemă depinde de dimensiunea **mașinii FSW**, dacă luăm în considerare un robot mic care are o masă mică, prețul ar putea fi în jur de 100.000 de euro și dacă discutăm despre echipamente mari, prețul poate ajunge până la 3-4 milioane de euro.

Selectarea mașinilor pentru FSW ar trebui să ia în considerare:

- dimensiunea piesei,
- volumul producției,
- forțele implicate în FSW,
- rigiditatea sistemului,
- Precizie masinii,
- capacitate de detectare,
- capacitate de luare a deciziilor,
- gradul de Flexibilitate masinii.

**Aducerea procedului FSW în planul de producție** nu este totuși un efort simplu și fără riscuri.

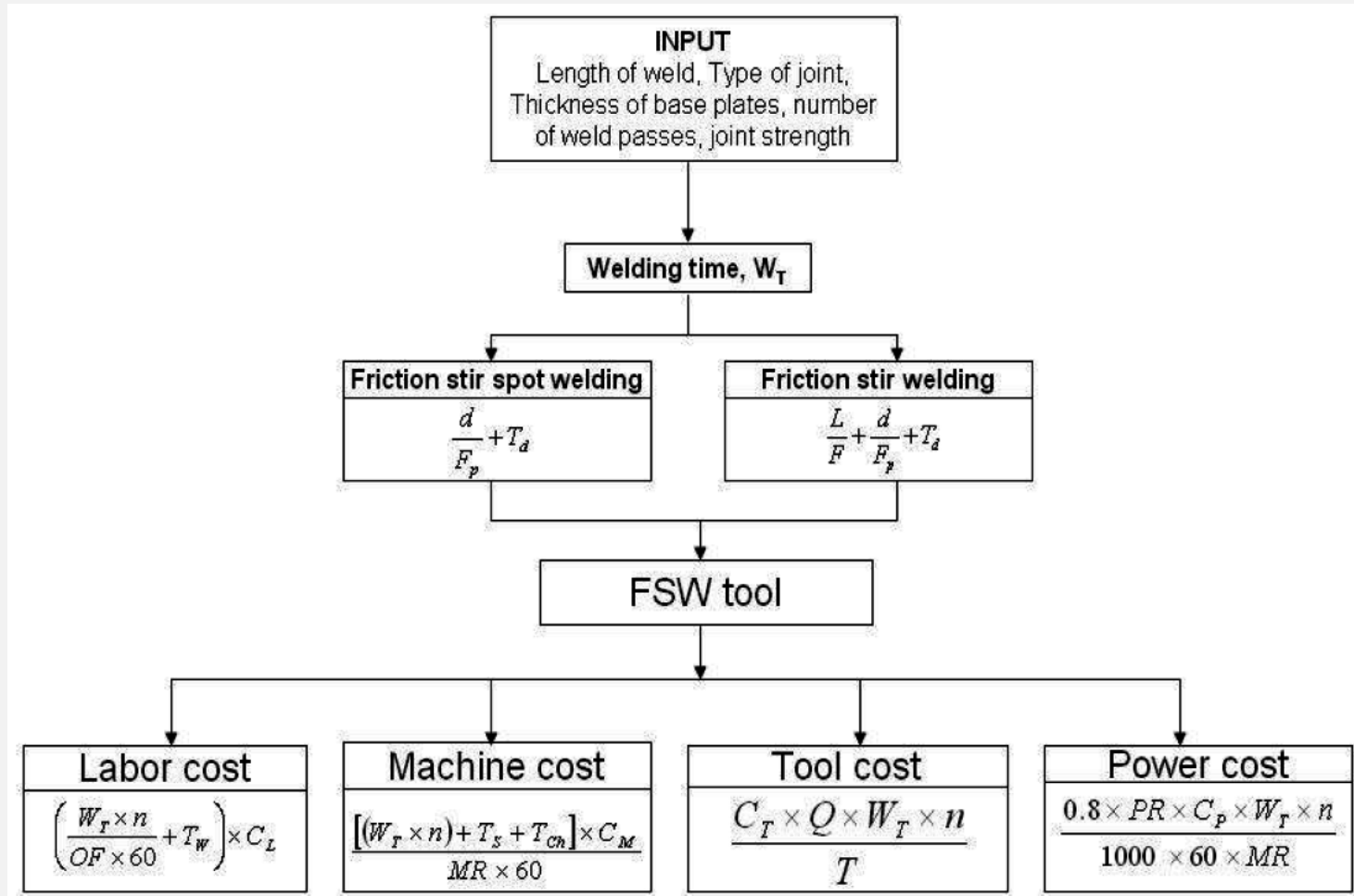
Implementarea cu succes a acestui proces în producție necesită:

- expertiză considerabilă în proces,
- un plan de dezvoltare solid,
- echipamente fiabile, avansate tehnologic.

Analiza cu atenție a factorilor precum **limitările de buget, restricțiile de timp** și nivelul organizației dvs. de **expertiză în dezvoltarea proceselor FSW**.

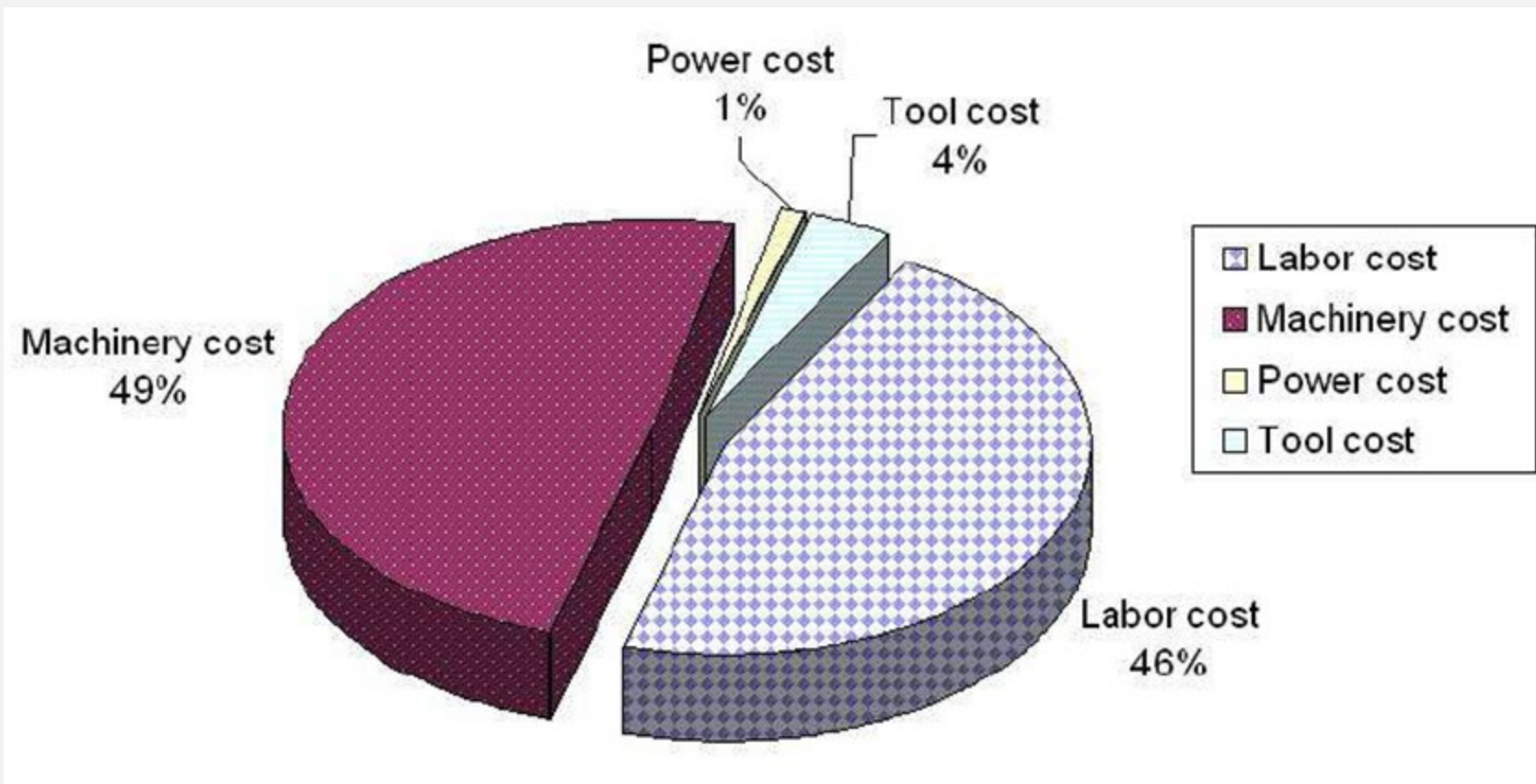


## 11.5 Costuri de funcționare a producției



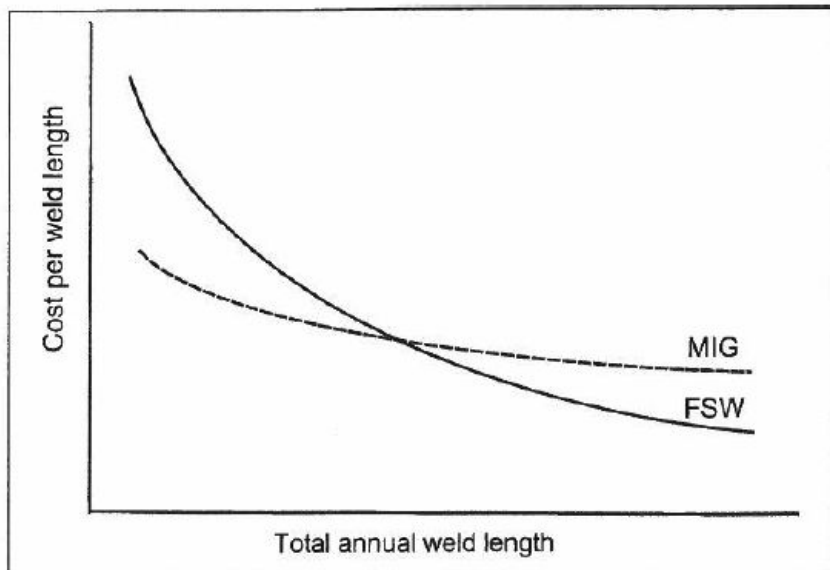
Model de flux și diverse costuri FSW [15]



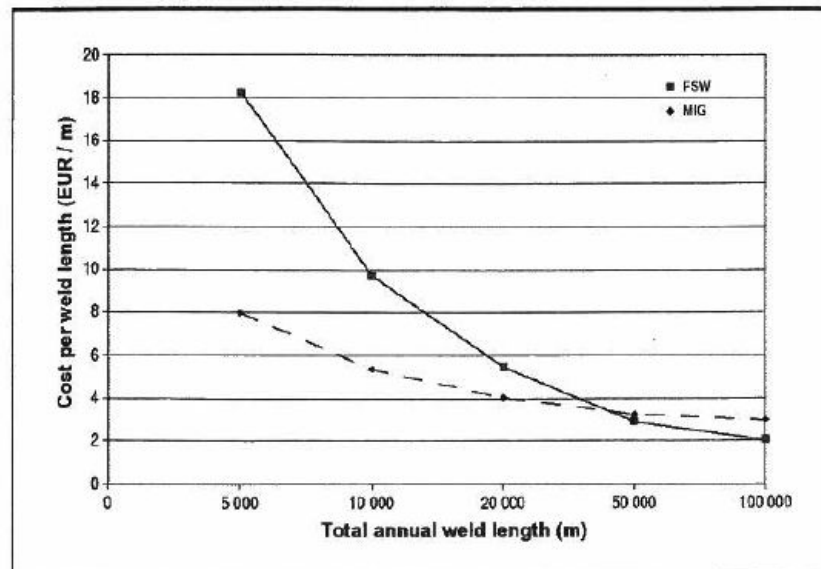


Distributia costurilor componentelor in procesul FSW [15].





**Fig. 3. Schematic representation of FSW and MIG welding costs per length vs. total annual production.**

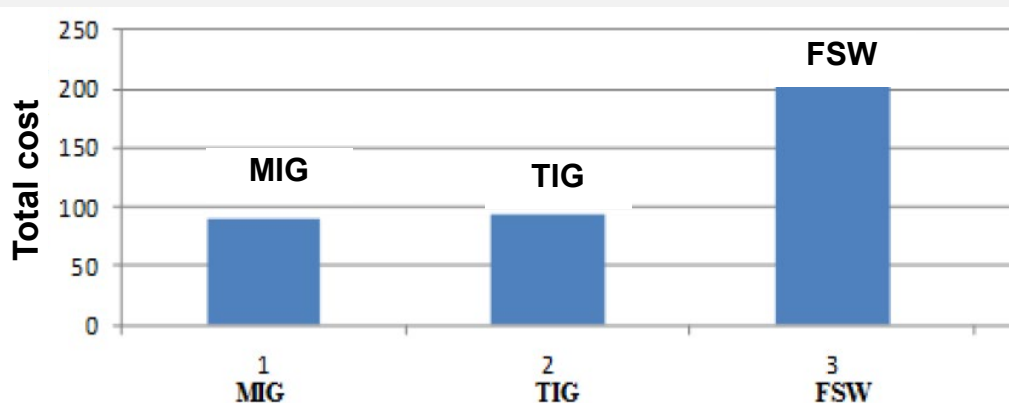


**Fig. 4. FSW and MIG welding costs for different annual production amounts. Other parameters as in Table 4.**

[10] Cost Comparison of FSW and MIG Welded Aluminium Panels

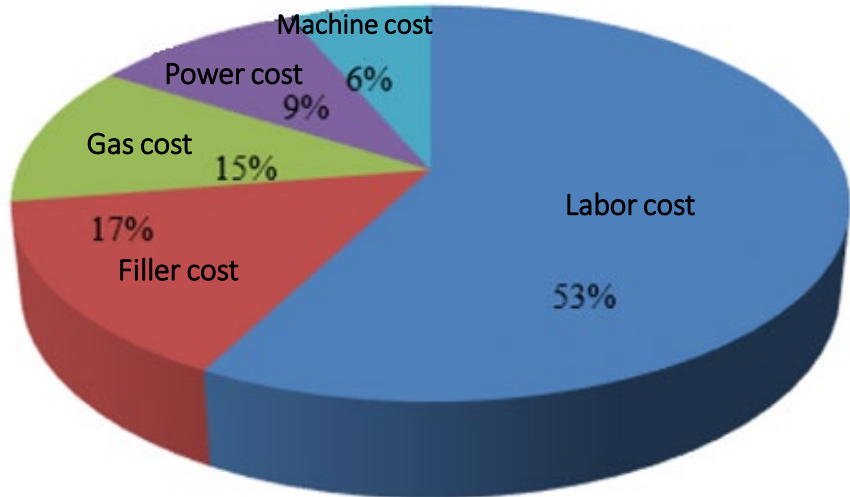
## Costuri procedeu FSW vs. MIG [10]



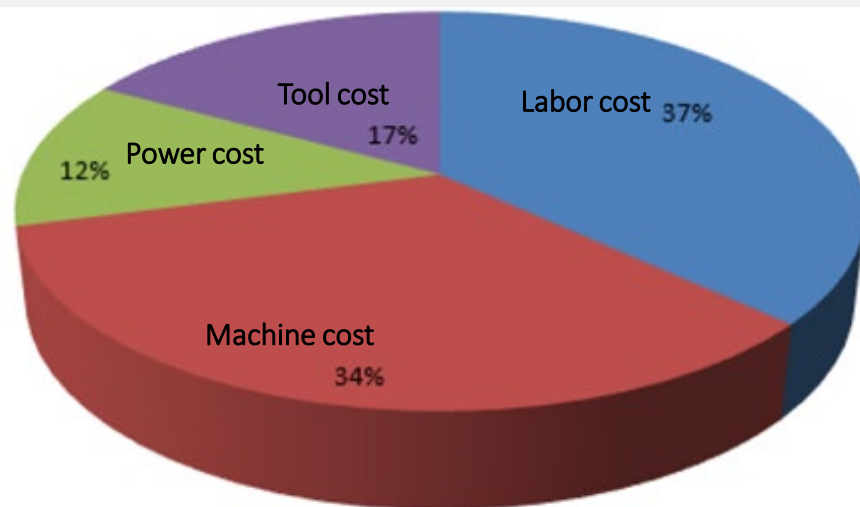


[16] A Comparison between FSW, MIG and TIG based on Total Cost Estimation for Aluminum Pipes

Relation between total cost and type of welded (FSW, MIG and TIG)



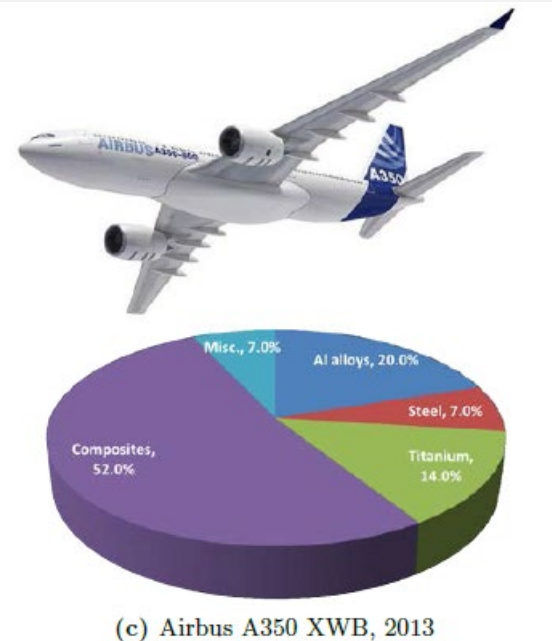
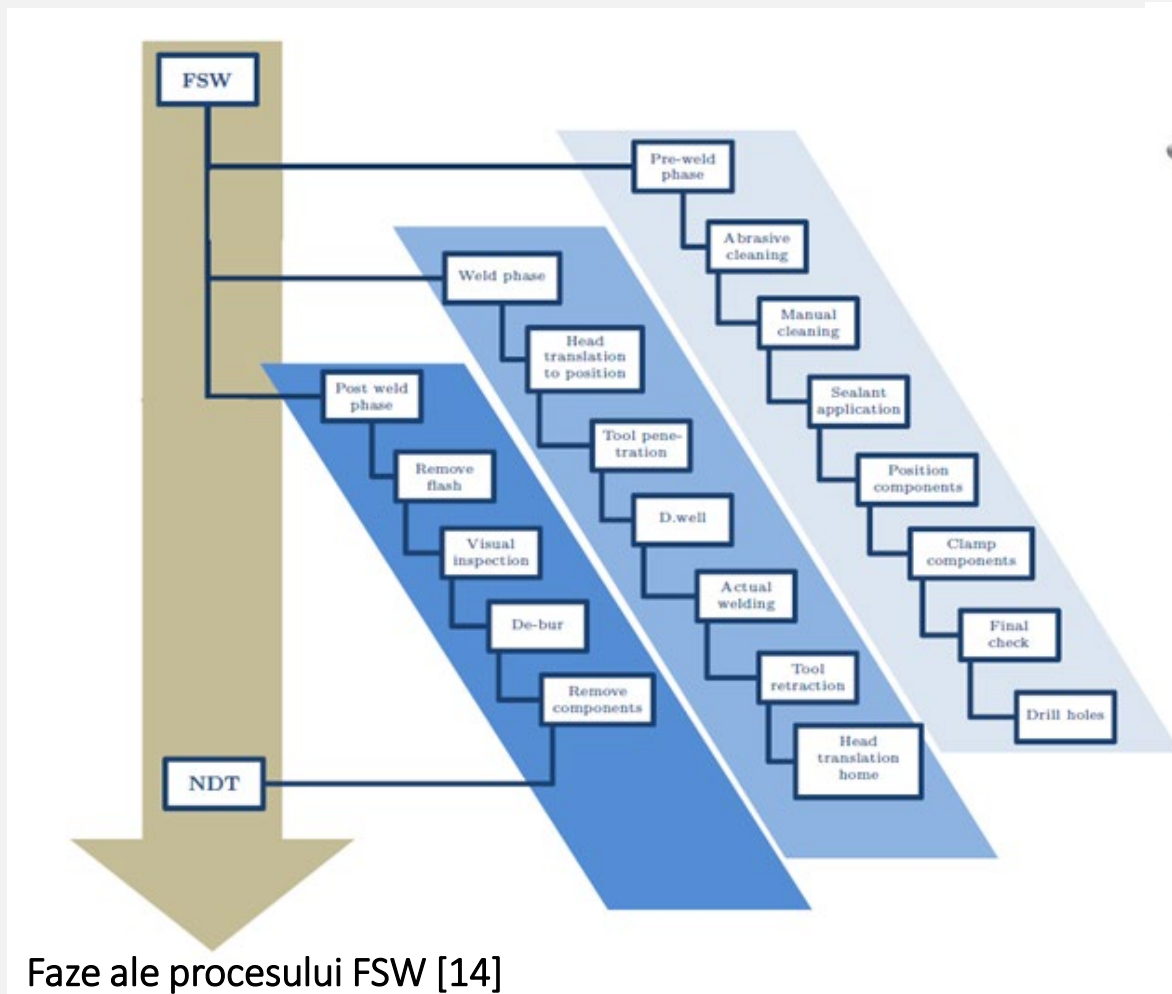
The cost distribution for weld joint fabricated using MIG and TIG process



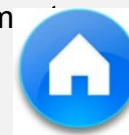
The cost distribution for weld joint fabrication using FSW process

### Costuri procedeu MIG and TIG vs FSW [16]

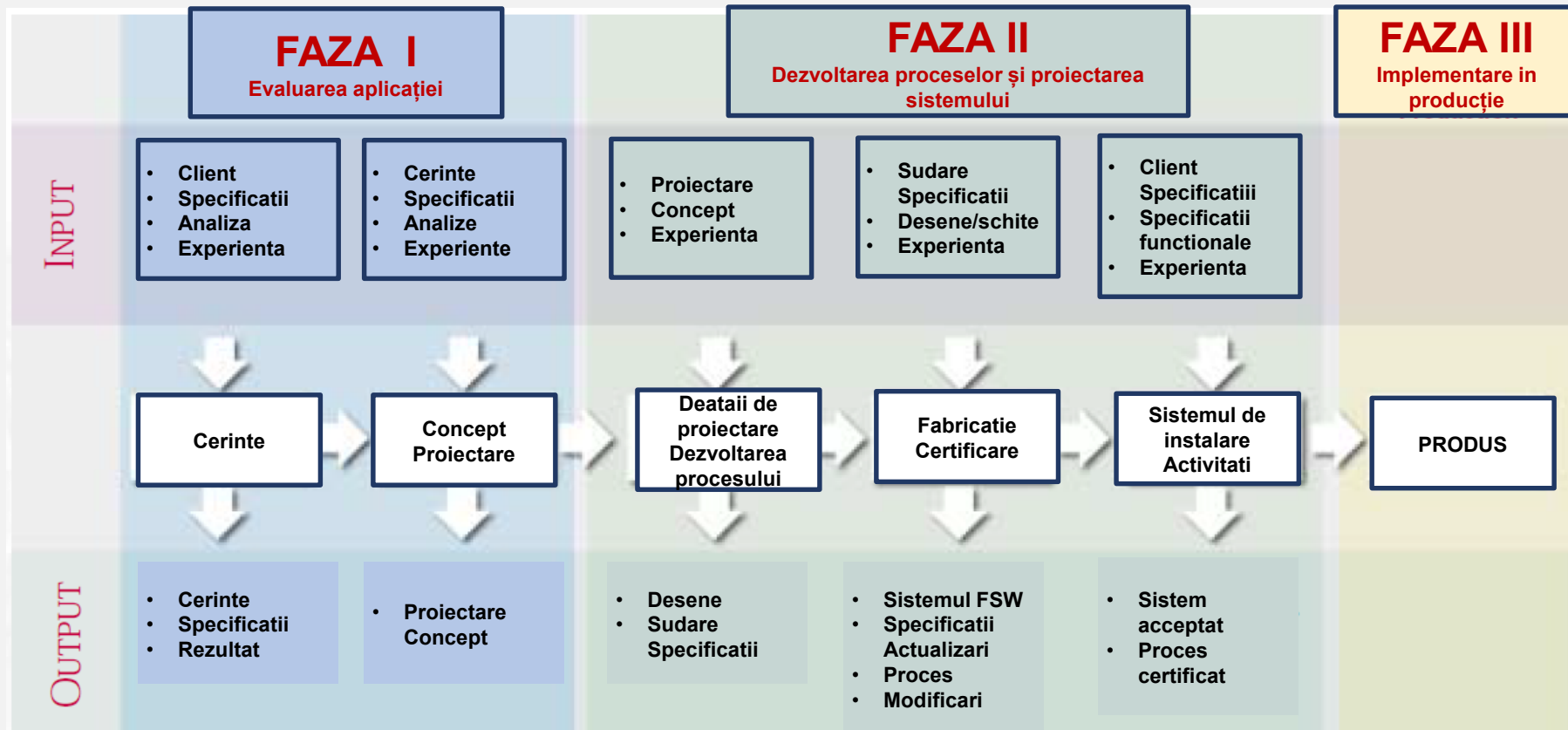
# 11.6 Cerințe pentru punerea in aplicatie a sistemului FSW



[14] Proiectarea și fabricarea avansată a structurilor aeronavei Airbus A350 prin sudare prin frecare cu element activ rotitor (FSW)







Punerea în aplicare în producție a FSW[18]

[18] Un program trifazat progresiv pentru a vă ajuta să puneți FSW în producție cât mai eficient și mai eficient din punct de vedere al costurilor.

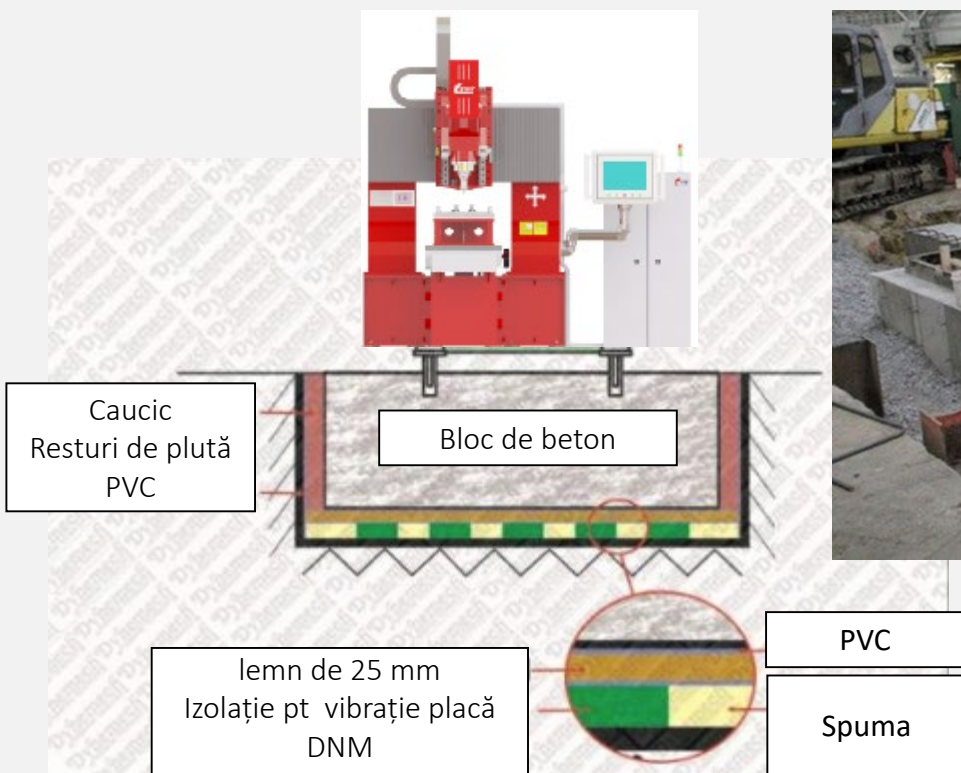
## 11.6 Cerințe pentru punerea in aplicatie a sistemului FSW

FUNDAȚIA IZOLATĂ este necesară pentru a reduce atât **vibrațiile active**, cât și cele **pasive**. Montajele de izolare a vibrațiilor sunt necesare pentru a reduce transmisia vibrațiilor și a șocurilor.

Pentru a reduce transmisia vibrațiilor și șocului la echipamentele de precizie sau structurilor clădirilor, **este necesară un bloc de fundație** sau **suporturi de izolare** a vibrațiilor pentru mașini cu dinamică înaltă, precum mașini FSW, presă de putere, ciocane de forjare, compresoare, echipamente de testare a motorului etc. Pentru a controla sursa de perturbare a vibrațiilor prin utilizarea de materiale izolante rezistente este cunoscută sub denumirea **de ISOLARE VIBRAȚIE ACTIVĂ**.

Atunci când nu este posibilă prevenirea sau scăderea suficientă a transmisiei șocului și vibrațiilor de la sursă, un bloc de fundație izolant pentru vibrații suportat în mod rezistent poate fi utilizat pentru **ISOLAREA VIBRAȚIEI PASIV** a echipamentelor sensibile precum echipamente CNC, sisteme de măsurare și control și urmărirea laser sisteme.

FUNDAȚIA ISOLATĂ reduce centrul de greutate al sistemului de fundație al mașinii și **aduce stabilitatea mașinii**. Mașina rămâne aliniată în timpul mișcărilor dinamice de încărcare și mișcări rapide în interiorul utilajelor



Nivelarea precisă asigură geometria unghiului corect a axelor mașinii și este necesară și pentru drenarea lichidului de răcire și a uleiului.

Exemplu de blocuri de fundație sau de izolare a vibrațiilor pentru mașini cu dinamică înaltă



## 11.8 Controlul calitatii

### Examinare

În conformitate cu **DIN EN ISO 25239-5**, defectele de suprafață pot fi detectate prin examinare vizuală (examen macroscopic), cu excepția lipse de patrundere in imbinare. Alte teste pentru evaluarea calității sudurilor sunt:

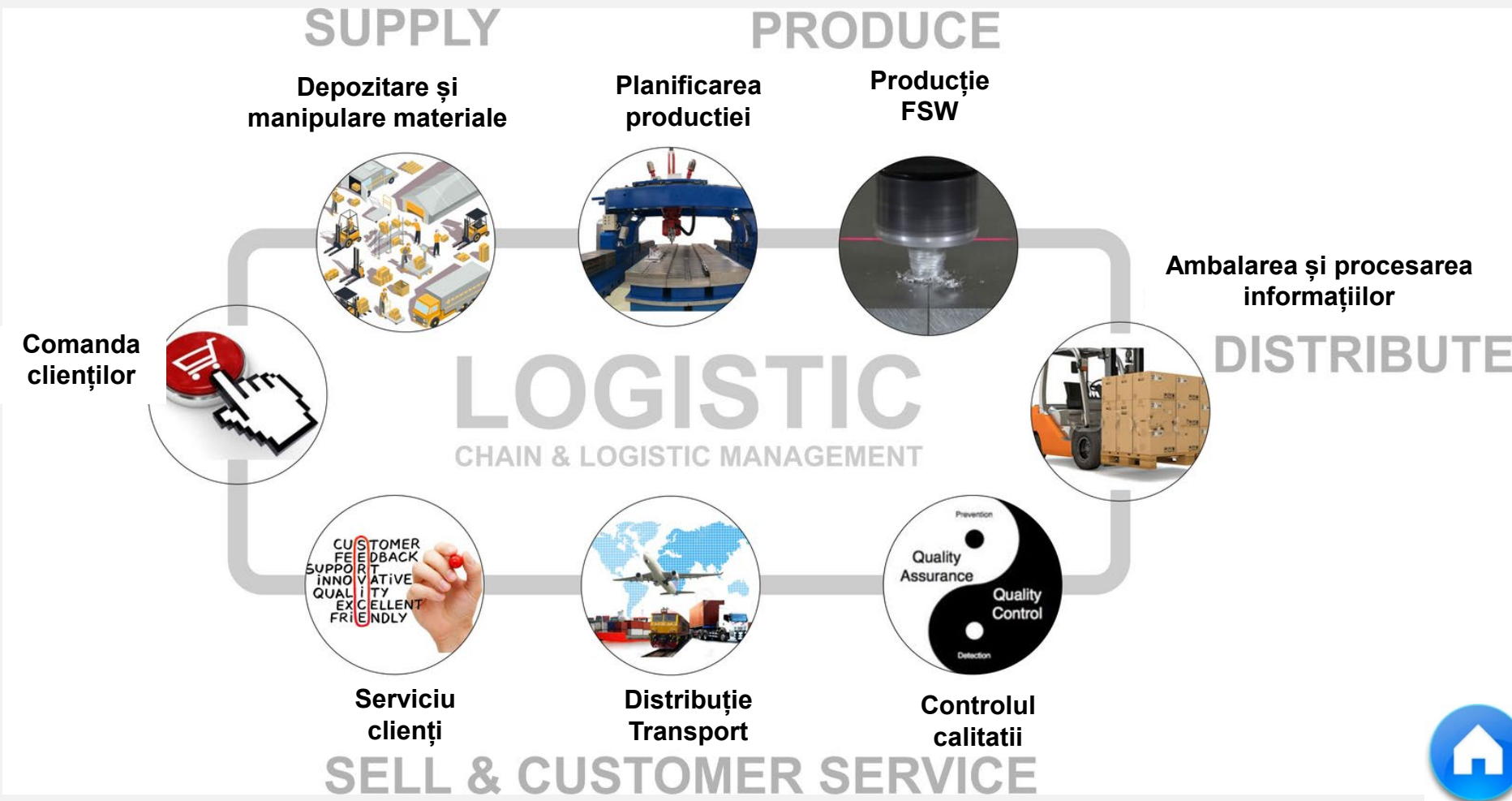
- ✓ Incercare de tractiune
- ✓ Incercare de indoire
- ✓ Duritate
- ✓ Examinare metalografica
- ✓ Examinari NDT



Conform DIN EN ISO 25239-4, este obligatorie o inspecție vizuală 100% a sudurilor realizate prin **sudare prin frecare cu element activ rotitor (FSW)** pentru a îndeplini cerințele pentru calificarea unui proces de sudare FSW.



# 11.9 Logistica



## 11.9 Logistica

### Cele 6 drepturi ale logisticii

- Bunurile CORECT
- în cantitățile CORECTA
- în stare CORECTA
- Livrat la data CORECTA...
- la locul potrivit
- La timpul potrivit
- costul CORECT

Aceste așteptări ale clienților definesc scopul unui sistem logistic - asigură că bunurile potrivite, în cantități potrivite, în condiții potrivite, sunt livrate la locul potrivit, la momentul potrivit, pentru costul corect. În logistică, aceste drepturi sunt numite cele șase drepturi.



## 11.10 Rețea tehnică (electricitate, presiune aer)

Utilități de proces tipice includ **electricitate**, abur de proces, agenți de refrigerare, **aer comprimat**, **apă de răcire**, apă caldă, ulei fierbinte, apă de proces, apă demineralizată, apă municipale.

Costurile de utilități sunt utile pentru ingineri de proces, planificatori de proiecte și ingineri de utilități în toate industriile de fabricație unde utilitățile instalațiilor sunt părți esențiale ale tuturor operațiunilor de producție.

**Sistemele de conducte** de utilități sunt specificate pe un PFD separat pentru fiecare utilitate, cunoscută sub denumirea de **diagrame de flux** de utilitate. Aceste diagrame indică unde se conectează conductele de utilitate la liniile de procesare sau echipamente și arată anteturile de interconectare. Utilitățile conducte constau în principal din aburi, aer comprimat, sisteme de apă de procesare și răcire, dar includ, de asemenea, gaz inert, vid și apă de stingere a incendiilor.

Cele mai frecvente simboluri PFD utilizate astăzi provin de la agenții precum [Organizația Internațională de Standardizare](#) (ISO 10628 - Flux Diagrams for Plant Plant), [Institutul German de Standardizare](#) (DIN) și [American National Standards Institute](#) (ANSI.)

Un PFD tipic pentru un singur proces de unitate va include aceste elemente:

- Echipamente majore: Inclusiv nume și numere de identificare. Exemple includ mașini FSW, compresoare, pompe, echipamente CNC și unități de răcire.
- Conducte de proces: mută produsul, de obicei lichide, între piesele echipamentului.
- Direcția fluxului de proces
- Supapele de control și supapele critice de proces
- Sisteme majore de bypass și recirculare
- Date operaționale: cum ar fi presiunea, temperatura, densitatea, debitul de masă și echilibrul masă-energie. Valorile adesea vor include minimum, normale și maxime.
- Compoziția lichidelor
- Numele de flux de proces
- Conexiuni cu alte sisteme



## 11.13 Operațiuni post procesare FSW

- Operațiunile de procesare ulterioară FSW este, de exemplu, umplerea cu găurii de cheie În HZG - Hamburg a fost dezvoltată o tehnologie pentru umplerea craterelor. Craterul este format la capătul sudurii și poate necesita o operațiune de post-procesare (sau Nituire de frecare).
- **Operațiunile de umplere**, dacă este necesar, dacă craterul este prea mare și poate fi umplut. În general, este de preferat să se evite prea multe operații după procesul FSW.





# References

- 1) P. PODRŽAJ, B. JERMAN, D. KLOBČAR , **Welding defects at friction stir welding**, ISSN 0543-5846, METABK 54(2) 387-389 (2015)
- 2) David G. Kinchen, Lockheed Martin Michoud Space Systems, NASA, **NDE of Friction Stir Welds in Aerospace Applications**
- 3) R Hartl\*, A Bachmann, S Liebl, A Zens and M F Zaeh , **Automated surface inspection of friction stir welds by means of structured light projection**, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 480 (2019) 012035, IOP Publishing, doi:10.1088/1757-899X/480/1/012035
- 4) Neetesh Soni<sup>1</sup>, Sangam Chandrashekhar<sup>2</sup>, A. Kumar<sup>3</sup>, V.R. Chary , **Defects Formation during Friction Stir Welding: A Review**, International Journal of Engineering and Management Research, Volume-7, Issue-3, May-June 2017
- 5) Bob Carter, NASA Glenn Research Center **Introduction to Friction Stir Welding (FSW)**, <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20150009520> 2019-05-03T14:29:39+00:00Z
- 6) Telmo Santos, Pedro Vilaça\*, Luísa Quintino Technical University of Lisbon, IST, Secção de Tecnologia Mecânica, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisbon **Developments in NDT for Detecting Imperfections in Friction Stir Welds in Aluminium Alloys**
- 7) Jorma Pitkänen, Jonne Haapalainen, Aarne Lipponen, Matti Sarkimo , **NDT of Friction Stir Welds** PLFW 1 to PLFW 5 (FSWL 98, FSWL 100, FSWL 101, FSWL 102, FSWL 103) NDT Data Report, 2014
- 8) Zhili Feng, Yong Chae Lim, **Final Technical Report. Flexible Friction Stir Joining Technology**, Oak Ridge National Laboratory , 2015.
- 9) ESAB, FSW Technical Handbook, 2018.
- 10) Cost Comparison of FSW and MIG Welded Aluminium Panels
- 11) Nuno Mendes, Pedro Neto, Altino Loureiro, António Paulo Moreira, **Machines and control systems for friction stir welding: A review**, Materials and Design 90 (2016) 256–265.
- 12) China FSW Center, **Friction Stir Welding Equipment and System**, 2014-2015.

## References

- 12) Sandra Zimmer, Laurent Langlois, Julien Laye,, Jean-Claude Goussain, Patrick Martin, et al. **Methodology for qualifying a Friction Stir Welding equipment**, 7th International Symposium on Friction Stir Welding - Awaji Island, Japan, May 2008, Awaji Island, Japan. 20p. hal-01088138.
- 13) Sergio M. O. Tavares, **Design and Advanced Manufacturing of Aircraft Structures using Friction Stir Welding**, July 2011 MIT-Portugal Program.
- 14) Pradeep Kumar Tipaji, **E-design tools for friction stir welding: cost, estimation tool**, Master Thesis
- 15) Ahmed M. El-Kassas and Ibraheem Sabry, **A Comparison between FSW, MIG and TIG based on Total Cost Estimation for Aluminum Pipes**, European Journal of Advances in Engineering and Technology, 2017, 4 (3): 158-163
- 16) João Filipe Gomes Duarte Prior, APPLICATION AND OPTIMIZATION OF FRICTION STIR WELDING ON ELECTRICAL TRANSFORMERS COMPONENTS, Master Thesis
- 17) MTS System Corporation, **ISTIR™ Friction Stir Welding Solutions**, 2018.
- 18) Fabrice **SCANDELLA**,Friction-stir welding of high strength, materials: a literature survey, 2017, Soudage et techniques connexes.
- 19) Max Hossfeld, Dave Hofferbert, **Challenges and State of the Art in Industrial FSW – Pushing the Limits by High Speed Welding of Complex 3D Contours**, The 12th International Symposium on Friction Stir Welding.
- 20) TWI, **Friction Stir Welding. Future Trends – Internet of Things, Automated Welding and Additive Manufacturing in India**, 2016.
- 21) Wei Tang, Brian T. Gibson, Zhili Feng, Scarlett R. Clark, Oak Ridge National Laboratory, **Report Detailing Friction Stir Welding Process Development for the Hot Cell Welding System**, 2016
- 22) Wang Yisong, Tong Jianhua, Li Congqing, **Application of Friction Stir Welding on the Large Aircraft Floor Structure**, China FSW Center, BAMTRI



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



Friction Stir Welding European Qualifications

