

## APLICAȚII INDUSTRIALE-PRACTICIANUL SUDOR INDUSTRIAL APPLICATION-WELDING PRACTITIONER

# Aspecte metalurgice specifice la sudarea oțelurilor protejate prin zincare termică

## Specific metallurgical aspects when welding steels protected by hot-dip galvanizing

Horățiu Vermeșan<sup>1\*</sup>, Virgiliu Vițan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca / Technical University of Cluj-Napoca, Romania

<sup>2</sup> ASOCIAȚIA NAȚIONALĂ A ZINCATORILOR / ROMANIAN HOT DIP GALVANIZERS ASSOCIATION (ANAZ)

### Rezumat

Zincarea termică reprezintă cea mai eficientă metodă de protecție anticorozivă a structurilor din oțel, realizându-se prin difuzia zincului în oțelul de bază, pe parcursul imersiei în baie de zinc topit. Sunt evidențiate calitățile de predictibilitate și de sustenabilitate pe care zincarea termică le aduce și faptul că uzinarea structurilor din oțel care ajung în secțiile de zincare includ aproape fără excepție îmbinarea prin sudare. Este pus în evidență felul în care temperatura de lucru de pe parcursul procesului tehnologic de zincare termică interferează cu stabilitatea și cu proprietățile mecanice ale oțelului. Sunt identificate existența variațiilor de grosimi de strat de zinc care se măsoară la nivelul materialului care se sudează (oțelul din care sunt construite piesele) și materialul de adaos utilizat pentru sudare. Este prezentată grafic relația între timpul de menținere în baia de zinc topit, concentrația de siliciu din materialul de adaos și grosimea de strat în zona cusăturii sudate. Ca și completări sunt prezentate date referitoare la importanța realizării corespunzătoare a sudării, la aderența stratului de zinc și la aspectul suprafeței după zincare.

### Cuvinte cheie

Zincare termică, oțel, sudare, materiale de adaos, protecție anticorozivă, grosime de strat de zinc

### Abstract

Hot-dip galvanizing is the most effective method of anti-corrosion protection of steel structures, achieved by the diffusion of zinc into the base steel during immersion in a molten zinc bath. The predictability and sustainability qualities brought by hot dip galvanizing together with the assertion that almost all the construction of steel structures that reach the galvanizing sections includes welding joints are emphasized, too. It is shown through the equilibrium diagrams (Fe-C and Fe-Zn) and the annealing graphs the way the working temperature for hot-dip galvanizing process interferes with the stability and mechanical properties of the steel. The existence of variations of zinc layers thicknesses that occur between the base material (the used steel for construction) and the added material used for welding is identified. The relationship between the holding time in the molten zinc bath, the silicon concentration contained in the added welding material and the layers thickness in the welded seam area is graphically presented. As additions, are presented data regarding the importance of proper welding, the adhesion of the zinc layer and the appearance of the surface after galvanizing.

### Keywords

Hot-dip galvanizing, steel, welding, added materials, zinc layer thickness, standard

## 1. Introducere

Zincarea termică este utilizată pe scară largă în toate domeniile care presupun existența unor structuri din oțel care sunt expuse procesului de coroziune [1]. Este caracteristică unui domeniu larg de aplicații de la

## 1. Introduction

Hot-dip galvanizing is widely used in all areas that involve the existence of steel structures exposed to the corrosion process [1]. It is characteristic of a wide range of applications from infrastructure (road,

infrastructură (rutieră, de cale ferată, transport energie etc.) și până la aplicații în arhitectură, agricultură și zootehnie, incluzând de fiecare dată și elementele de asamblare și fixare. O caracteristică importantă este faptul că zincarea termică beneficiază în România de toate standardele EN și ISO pentru acest domeniu.

Iată câteva exemple aici:

- SR EN ISO 1461:2022 *Acoperiri termice de zinc pe piese fabricate din fontă și oțel. Specificații și metode de încercare*
- SR EN ISO 10684:2009 *Elemente de asamblare. Acoperiri prin galvanizare la cald*
- SR EN 10348:2024 *Oțeluri pentru armarea betonului. Produse din oțel zincat termic pentru armarea betonului.*

Foarte actual, în data de 30 aprilie 2025, a fost adoptată de România ultima versiune a standardului SR EN 1993-1-9:2025 Eurocode 3: *Proiectarea structurilor din oțel. Partea 1-9: Oboseală.*

Avem acum prima versiune a acestui standard care face referire la zincarea termică, fapt care crește considerabil motivarea alegerii zincării termice ca soluție de protecție anticorozivă.

Interacțiunea dintre oțel și zincul depus, interacțiunea dintre materialul de adaos utilizat pentru sudare și zincul depus, palierele de temperaturi, pregătirea pieselor și pașii tehnologici sunt constant o preocupare a profesioniștilor din domeniul zincării termice. Figura 1 prezintă aspectul specific de după zincarea termică a unei piese sudate realizate din oțel.

railway, energy transport etc.) to applications in architecture, agriculture and zootechnics, always including the assembling and fastening elements. An important feature of hot-dip galvanizing benefits in Romania by all the standards that have EN and ISO application.

Here we share a few examples:

- SR EN ISO 1461:2022 *Thermal zinc coatings on parts made of cast iron and steel. Specifications and test methods*
- SR EN ISO 10684:2009 *Assembly elements. Hot-dip galvanizing coatings*
- SR EN 10348:2024 *Steels for concrete reinforcement. Hot-dip galvanized steel products for concrete reinforcement.*

Very current, on April 30, 2025, Romania adopted the latest version of the standard SR EN 1993-1-9:2025 Eurocode 3: *Design of steel structures. Part 1-9: Fatigue.*

We now have the first version of this standard that refers to hot-dip galvanizing, which considerably increases the choice of hot-dip galvanizing as an anti-corrosion protection solution.

The interaction between steel and zinc layers, the interaction between the welding added materials and the zinc layers, the temperature ranges, the preparation of parts and the technological steps, are a constant concern of professionals in the field of hot-dip galvanizing. Figure 1 shows the specific appearance after hot-dip galvanizing a steel part, with various types of welded joints applied.



**Figura 1.** Aspect specific după zincarea termică a suprafețelor oțelului și a suprafețelor îmbinărilor sudate

**Figure 1.** Specific appearance after hot-dip galvanizing of steel surfaces and welded seam surfaces

## 2. Îmbinarea metalurgică dintre zinc și oțel. Straturi care se formează prin difuzia zincului în fier. Duritatea straturilor obținute.

În urma procesului de galvanizare la cald, zincul depus

## 2. Metallurgical joining between zinc and steel. Layers that are formed by the diffusion of zinc into iron. The hardness of the obtained layers.

Following the hot-dip galvanizing process, the depos-

difuzează parțial în interiorul matricei de fier a oțelului. În figura 2 este prezentat rezultatul difuziei zincului în oțel, așa cum se formează în urma procesului de zincare termică [1]. Este de notat că la suprafață materialul zincat termic prezintă un strat de zinc pur, urmând ca odată cu apropierea de oțelul de bază straturile obținute metalurgic să prezinte o creștere a prezenței fierului (așa cum se poate vedea în figura 2) [2,3].

O altă caracteristică de mare importanță tehnică pentru utilizarea pe scară largă a zincării termice este apariția la nivelul primului strat de interfață dintre Fe și Zn a unui gradient al valorilor de duritate. Aceste valori depășesc uneori valorile durității oțelului de bază. Se poate vedea în figura 2 evoluția valorilor durității straturilor de aliaj Zn-Fe.

ited zinc partially diffuses into the iron matrix of steel. Figure 2 shows the result of zinc diffusion in steel, as it occurs while the hot-dip galvanizing process [1]. It should be noted that on the surface the hot-dip galvanized material presents a pure zinc layer, and as it approaches the base steel, the metallurgically obtained layers present an increase in the presence of iron (as can be seen in figure 2) [2,3].

Another feature of great technical importance for the widespread use of hot-dip galvanizing is the appearance at the level of the first interface layer between Fe and Zn of a gradient of hardness values. These values sometimes exceed the hardness values of the base steel. The evolution of the hardness values of the Zn-Fe alloy layers can be seen in figure 2.

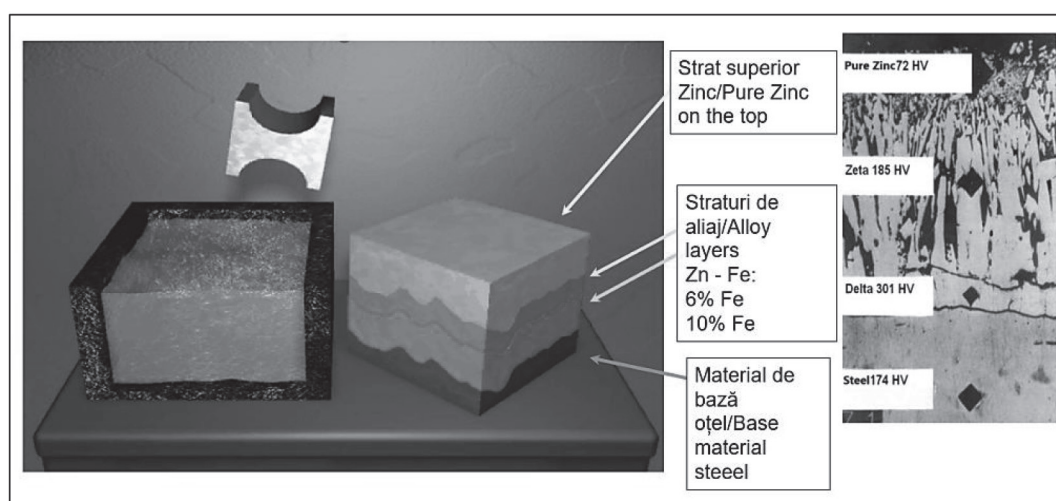


Figura 2. Formarea straturilor de aliaj Fe-Zn  
Figure 2. Fe-Zn layers forming

### 3. Paliere de temperaturi: Diagrama Fe-C, diagrama Fe-Zn. Diagrama recoacerilor.

O atenție sporită se acordă palierele de temperatură la care au loc schimbări în structura oțelurilor (poziționare și formă grăunți). Desigur, acest aspect este analizat în paralel cu temperatura de proces pentru zincarea termică 450°C, pentru a se putea anticipa eventuale efecte ale ciclului termic asupra proprietăților mecanice ale oțelurilor.

În figura 3 sunt prezentate în paralel diagramele Fe-C, respectiv Fe-Zn și se pune în evidență linia reprezentată de temperatura de proces pentru zincarea termică și fazele care se formează (așa cum au fost ele prezentate în imagine microscopică în figura 2).

Este ușor de observat că zincarea prin imersie în baie de zinc topit are loc pe un palier de temperatură care oferă stabilitate oțelului procesat (figura 3).

Dar pentru că aplicarea unui tratament de recoacere

### 3. Temperature ranges: Fe-C diagram, Fe-Zn diagram. Annealing diagram.

A special attention is paid to the temperature ranges at which changes in the structure of the steels occur (grain positioning and shape). Of course, this aspect is analysed in parallel with the process temperature for hot-dip galvanizing 450°C, to be able to anticipate possible effects of the thermal cycle on the mechanical properties of the steels.

Figure 3 shows in parallel the Fe-C and Fe-Zn diagrams, respectively, and highlights the line represented by the process temperature for hot-dip galvanizing and the phases that are formed (as they were presented in the microscopic image in Figure 2).

It is easy to see that galvanizing through immersion in a molten zinc bath takes place at a temperature range that provides stability for the processed steel (figure 3). But, as the application of an annealing treatment for

având scopuri care țin de nevoia aplicației poate să fie solicitată de proiectant, este important ca și acest aspect să fie punctat în studiului nostru.

purposes related to the need of the application may be requested by the designer, it is important to follow this topic to be figured out in our study.

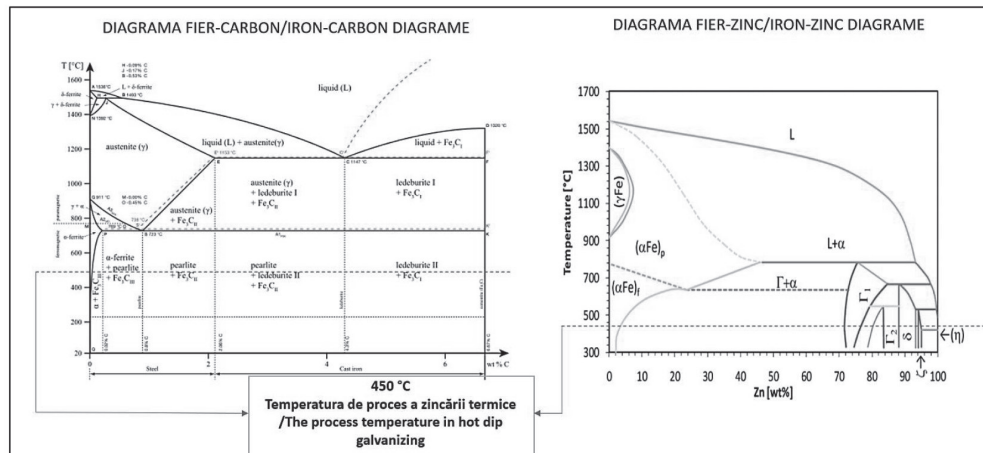


Figura 3. Diagrama Fe-C și diagrama Fe-Zn cu punerea în evidență a nivelului de temperatură pentru zincarea termică

Figure 3. Fe-C diagram and Fe-Zn diagram highlighting the temperature level for hot-dip galvanizing

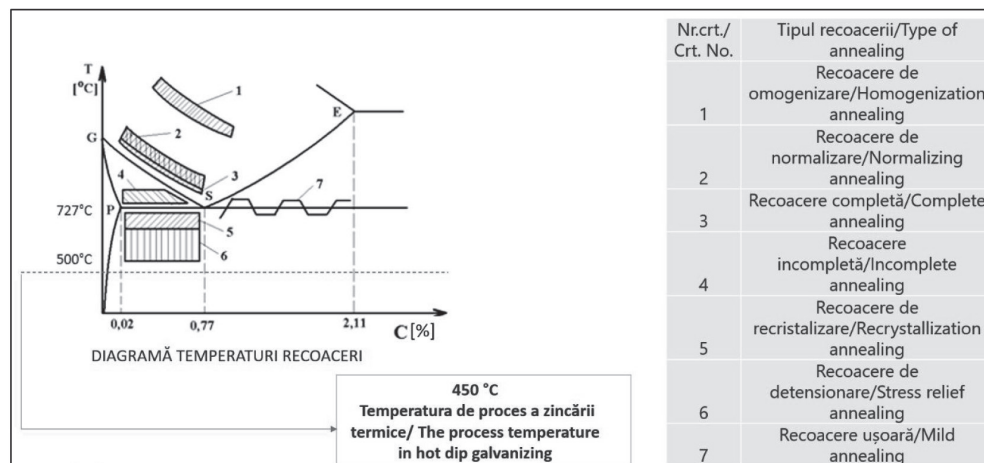


Figura 4. Diagramele recoacerilor cu punere în evidență a nivelului de temperatură pentru zincare termică

Figure 4. Annealing diagrams with highlighting of the temperature level for hot-dip galvanizing

Figura 4 prezintă intervalele termice și de conținut de carbon care definesc tipurile de recoaceri care se aplică oțelurilor, suprapunând temperatura de proces a zincării termice.

Se evidențiază că nu există interferențe de palier de temperatură care să poată afecta rezultatele tratamentelor termice de recoacere.

#### 4. Relația dintre concentrația conținutului de Si al materialului de adaos utilizat pentru sudare, timpul de menținere în baia de zinc topit și grosimea de strat de zinc depusă metalurgic

Zincarea termică este un proces fizico-chimic complex care, aplicat zonelor cu suduri a generat nevoia unor studii noi.

Figure 4 presents the thermal and carbon content ranges that define the types of annealing that are applied to steels, overlapping the process temperature of hot-dip galvanizing.

It is emphasized that there are no temperature level interferences that could affect the results of annealing heat treatments.

#### 4. The relationship between the concentration of Si content of the added material used for welding, the holding time into the molten zinc bath and the thickness of the metallurgically deposited zinc layer

Hot-dip galvanizing is a complex physicochemical process that, when applied to welded seam areas, has generated the need for new studies.

Siliciul crește dizolvarea fierului în baia de zinc, accelerând formarea fazelor de aliaj zinc-fier. La un conținut de siliciu de aproximativ 0,1% și >0,5%, reacțiile eutectice (ex. descompunerea lichidului în  $\zeta+\eta+\text{FeSi}$ ) duc la o creștere rapidă a grosimii stratului. La temperaturi standard (450–460°C), oțelurile cu siliciu ridicat formează straturi dense, dar la temperaturi mai mari (535–565°C), grosimea poate scădea, atingând un minim la ~555°C, datorită structurii omogene a fazelor  $\delta$  și  $\zeta$  [4].

Prezența siliciului în materialele de adaos produce însă și alte beneficii:

1. Crește fluiditatea băii de sudură și îmbunătățește pătrunderea
2. Stabilizează microstructurile feritice și contribuie la rezistența mecanică
3. Acționează ca dezoxidant, participând la eliminarea oxigenului din metalul topit.

În figura 5 este evidențiată grafic tendința diferită de creștere a grosimii stratului de zinc depus pe cusătura sudată, funcție de concentrația de siliciu existent în materialul de adaos folosit pentru sudare și de timpul de menținere în baia de zinc topit a structurilor din oțel cu îmbinări sudate.

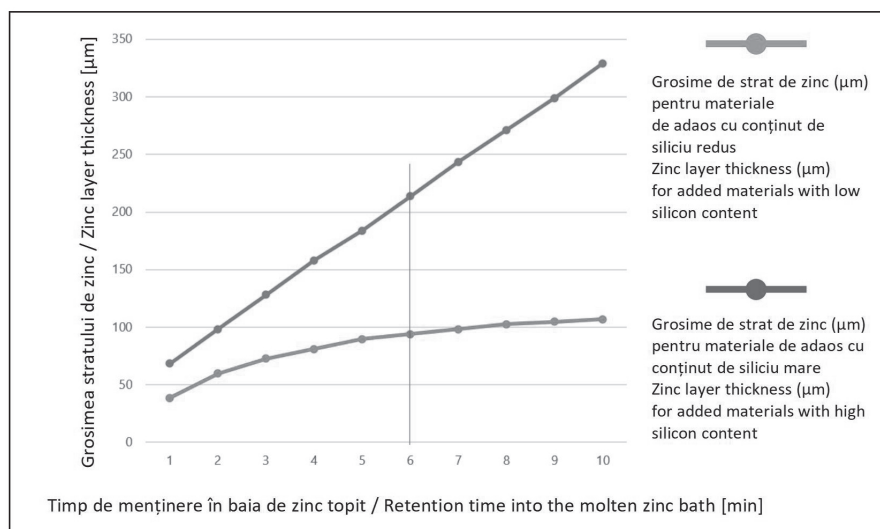
Menționăm că timpul uzual de menținere în baia de zinc topit este de 6 minute.

Silicon increases the dissolution of iron in the zinc bath, accelerating the formation of zinc-iron alloy phases. At a silicon content of approximately 0.1% and >0.5%, eutectic reactions (e.g., decomposition of the liquid into  $\zeta+\eta+\text{FeSi}$ ) lead to a rapid increase in coating thickness. At standard temperatures (450–460°C), high-silicon steels form dense coatings, but at higher temperatures (535–565°C), the thickness may decrease, reaching a minimum at ~555°C, due to the homogeneous structure of the  $\delta$  and  $\zeta$  phases [4].

The presence of silicon in filler materials also produces other benefits:

1. Increases the fluidity of the weld pool and improves penetration
2. Stabilizes ferritic microstructures and contributes to mechanical strength
3. Acts as a deoxidizer, participating in the removal of oxygen from the molten metal.

Figure 5 graphically presents the different trend in the thickness of the zinc layer deposited on the welded seam, as a function of the silicon concentration present in the added material used for welding and the retention time in the molten zinc bath of steel structures with welded joints. Please note that the usual holding time in the molten zinc bath is 6 minutes.



**Figura 5.** Tendința de creștere a grosimii stratului de zinc pe sudură în funcție de concentrația de Si și timpul de menținere

**Figure 5.** Trend of increasing thickness of the zinc layer in the welded seam, depending on the Si concentration and holding time

## 5. Experimentări de determinare a grosimii stratului de zinc

Există două metode pentru măsurarea grosimii stratului de zinc al oțelului galvanizat la cald: magnetic și prin microscopie optică.

Metoda magnetică este nedistructivă și utilizată pe

## 5. Experiments to determine the thickness of the zinc layer

There are two methods for measuring the thickness of the zinc layer of hot-dip galvanized steel: magnetic and optical microscopy.

The magnetic method is non-destructive and widely

scară largă (în industrie) și are avantajul că aceleași dispozitive se pot folosi și pentru măsurarea stratului de vopsea aplicată.

Microscopia optică este un test distructiv utilizat exclusiv în laborator pentru cercetare sau soluționarea unor cereri specifice.

## 6. Analiza comparativă a grosimii stratului de zinc depus pe table și pe probele sudate

Sudarea pieselor acoperite cu zinc, utilizate pentru protecția anticorozivă, este o practică frecventă în numeroase industrii, datorită necesității de a combina durabilitatea oferită de galvanizare cu asamblarea robustă prin sudare. În industria auto, componente precum șasiurile sau elementele structurale galvanizate sunt sudate pentru a asigura rezistența la coroziune în medii umede, fără a compromite integritatea mecanică. În construcții, structurile metalice, cum ar fi grinzile sau balustradele galvanizate, sunt adesea sudate pentru a crea ansambluri rezistente la intemperii, îndeplinind cerințele de siguranță și longevitate.

În sectorul energetic, turnurile de transmisie și componentele turbinelor eoliene, protejate cu zinc, necesită sudare pentru montaj, menținând protecția anticorozivă în condiții extreme. De asemenea, în industria navală, există diverse componente sudate ale navelor (sistemul de tubulatură, de exemplu) care sunt galvanizate pentru a rezista mediului marin coroziv. Aceste aplicații demonstrează importanța sudării pieselor galvanizate în asigurarea unei protecții anticorozive eficiente, adaptată cerințelor specifice fiecărui domeniu. Pentru evaluarea calității sudurilor efectuate pe oțeluri zincate au fost efectuate probe cu procedeele de sudare manuală cu electrozi înveliți (111) și sudare MAG (135) pe table din oțelurile S235 și S355, utilizându-se materiale de adaos compatibile cu materialele de bază, din punct de vedere al sudabilității metalurgice. În continuare sunt prezentate rezultatele analizelor acestor suduri.

### 6.1 Proba 1: Oțel S235 – 111 – electrod cu înveliș rutilic

Figurile 6 a. și 6 b. prezintă aspectul sudurii înainte și după zincarea termică a două plăci din oțel S235, cu grosimea de 8 mm, care au fost îmbinate prin sudare cu electrod rutilic. Datele obținute prin măsurare sunt prezentate în tabelul 1.

used (in industry) and has the advantage that the same devices can also be used to measure the thickness of the applied paint.

Optical microscopy is a destructive test used exclusively in the laboratory for research or to solve specific applications.

## 6. Comparative analysis of the zinc layer thickness deposited on plates and seams

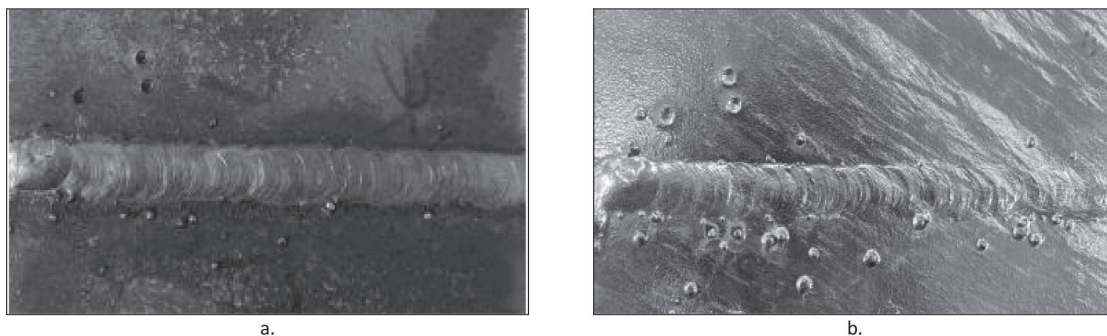
Welding of zinc-coated parts used for corrosion protection is a common practice in many industries, due to the need to combine the durability offered by galvanizing with robust welded assembly. In the automotive industry, components such as galvanized chassis or structural members are welded to ensure corrosion resistance in humid environments without compromising mechanical integrity. In construction, metal structures such as galvanized beams or railings are often welded to create weather-resistant assemblies, meeting safety and longevity requirements.

In the energy sector, transmission towers and wind turbine components, protected with zinc, require welding for assembly, maintaining corrosion protection in extreme conditions. Also, in the marine industry, there are various welded components of ships (the piping system, for example) that are galvanized to withstand the corrosive marine environment. These applications demonstrate the importance of welding galvanized parts in ensuring effective anti-corrosion protection, adapted to the specific requirements of each field.

To evaluate the quality of welds performed on galvanized steels, tests were performed with the manual welding processes with coated electrodes (111) and MAG welding (135) on S235 and S355 steel sheets, using filler materials compatible with the base materials, from a metallurgical weldability point of view. The results of the analysis of these welded samples are presented below.

### 6.1 Sample 1: Steel S235 – 111 – Rutile coated electrode

Figures 6 a. and 6 b. show the appearance of the weld seam before and after hot-dip galvanizing of two S235 steel plates, 8 mm thick, which were joined by rutile electrode welding. The data obtained by measurements are presented in table 1.



**Figura 6.** Îmbinare sudată a două plăci din oțel S235, cu grosimea de 8 mm, care au fost îmbinate prin sudare 111 cu electrod rutilic (a. înainte de zincarea termică; b. după zincarea termică)

**Figure 6.** Welded joint of two 8 mm thick S235 steel plates, which were joined by 111 welding with rutile electrode (a. before hot-dip galvanizing; b. after hot-dip galvanizing)

**Tabelul 1.** Valorile măsurate ale grosimii stratului de zinc pe sudura realizată cu electrod rutilic între două plăci din oțel S235

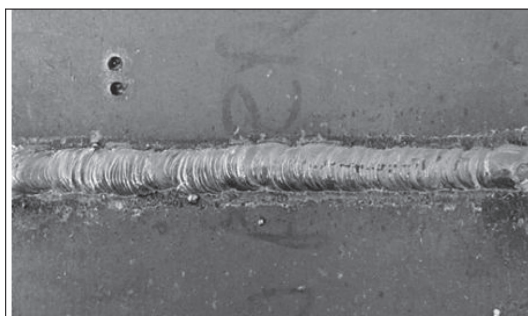
**Figure 1.** The measured values of the zinc layer thickness on the seam welded with rutile electrode of two S235 steel plates

Marcă oțel Steel type	Grosime tablă Plate thickness [mm]	Conținut de siliciu în compoziția chimică a tablei Content of silicon in the chemical composition of the plate [%]	Grosime strat de zinc măsurat* Zinc layer measured thickness* [μm]	Tip de material de adaos Type of added material [%]	Conținut de siliciu în compoziția chimică a electrodului Content of silicon in the chemical composition of electrode [%]	Grosime strat de zinc pe sudură măsurat* Zinc layer measured thickness on the welded seam* [μm]
S235	8	0,05	52,6	Rutilic / Rutile 2,5 mm	0,07	71,6

\*Media a șase măsurători / Average of six measurements

## 6.2 Proba 2: Oțel S355 – 111 – electrod cu înveliș rutilic

Figurile 7 a. și 7 b. prezintă aspectul sudurii înainte și după zincarea termică a două table din oțel S355, cu grosimea de 8 mm, care au fost îmbinate prin sudare cu electrod rutilic. Datele obținute prin măsurare sunt prezentate în tabelul 2.



a.



b.

**Figura 7.** Îmbinare sudată a două plăci din oțel S355, cu grosimea de 8 mm, care au fost îmbinate prin sudare 111 cu electrod rutilic (a. înainte de zincarea termică; b. după zincarea termică)

**Figure 7.** Welded joint of two 8 mm thick S355 steel plates, which were joined by 111 welding with rutile electrode (a. before hot-dip galvanizing; b. after hot-dip galvanizing)

**Tabelul 2.** Valorile măsurate ale grosimii stratului de zinc pe sudura realizată cu electrod rutilic între două plăci din oțel S355

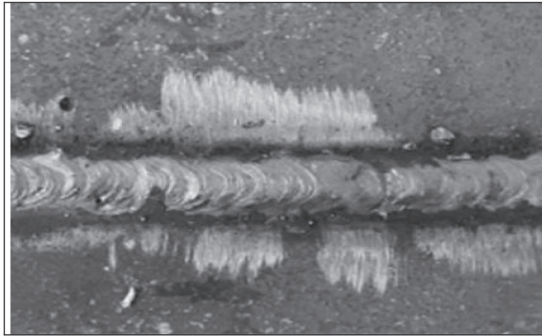
**Table 2.** The measured values of the zinc layer thickness on the seam welded with rutile electrode of two S355 steel plates

Marcă oțel Steel type	Grosime tablă Plate thickness [mm]	Conținut de siliciu în compoziția chimică a tablei Content of silicon in the chemical composition of the plate [%]	Grosime strat de zinc măsurat* Zinc layer measured thickness* [μm]	Tip de material de adaos Type of added material [%]	Conținut de siliciu în compoziția chimică a electrodului Content of silicon in the chemical composition of electrode [%]	Grosime strat de zinc pe sudură măsurat* Zinc layer measured thickness on the welded seam* [μm]
S355	8	0,55	61,6	G42 3 M21 3 Si1 1,0 mm	0,86	201,3

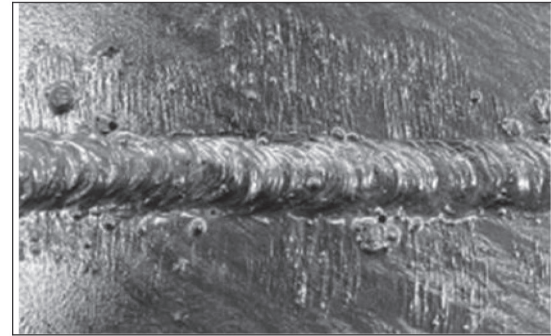
\*Media a șase măsurători / Average of six measurements

### 6.3 Proba 3: Oțel S235 – 111 – electrod cu înveliș bazic

Figurile 8 a. și 8 b. prezintă aspectul sudurii înainte și după zincarea termică a două plăci din oțel S235, cu grosimea de 8 mm, care au fost îmbinate prin sudare cu electrod rutilic. Datele obținute prin măsurare sunt prezentate în tabelul 3.



a.



b.

**Figura 8.** Îmbinare sudată a două plăci din oțel S235, cu grosimea de 8 mm, care au fost îmbinate prin sudare 111 cu electrod bazic (a. înainte de zincarea termică; b. după zincarea termică)

**Figure 8.** Welded joint of two 8 mm thick S235 steel plates, which were joined by 111 welding with basic electrode (a. before hot-dip galvanizing; b. after hot-dip galvanizing)

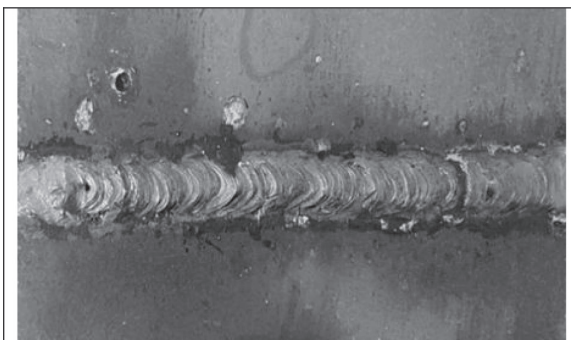
**Tabelul 3.** Valorile măsurate ale grosimii stratului de zinc pe sudura realizată cu electrod bazic a două plăci din oțel S235  
**Table 3.** The measured values of the zinc layer thickness on the seam welded with basic electrode of two S235 steel plates

Marcă oțel Steel type	Grosime tablă Plate thickness [mm]	Conținut de siliciu în compoziția chimică a tablei Content of silicon in the chemical composition of the plate [%]	Grosime strat de zinc măsurat* Zinc layer measured thickness* [μm]	Tip de material de adaos Type of added material [%]	Conținut de siliciu în compoziția chimică a electrodului Content of silicon in the chemical composition of electrode [%]	Grosime strat de zinc pe sudură măsurat* Zinc layer measured thickness on the welded seam* [μm]
S235	8	0,05	53,3	Bazic / Basic 2,5 mm	0,38	108,3

\*Media a șase măsurători / Average of six measurements

### 6.4 Proba 4: Oțel S355 – 111 – electrod cu înveliș bazic

Figurile 9 a. și 9 b. prezintă aspectul sudurii înainte și după zincarea termică a două table din oțel S355, cu grosimea de 8 mm, care au fost îmbinate prin sudare cu electrod bazic. Datele obținute prin măsurare sunt prezentate în tabelul 4.



a.



b.

**Figura 9.** Îmbinare sudată a două plăci din oțel S355, cu grosimea de 8 mm, care au fost îmbinate prin sudare 111 cu electrod bazic (a. înainte de zincarea termică; b. după zincarea termică)

**Figure 9.** Welded joint of two 8 mm thick S355 steel plates, which were joined by 111 welding with basic electrode (a. before hot-dip galvanizing; b. after hot-dip galvanizing)

**Tabelul 4.** Valorile măsurate ale grosimii stratului de zinc pe sudura realizată cu electrod bazic între două plăci din oțel S355  
**Table 4.** The measured values of the zinc layer thickness on the seam welded with basic electrode of two S355 steel plates

Marcă oțel Steel type	Grosime tablă Plate thickness [mm]	Conținut de siliciu în compoziția chimică a tablei Content of silicon in the chemical composition of the plate [%]	Grosime strat de zinc măsurat* Zinc layer measured thickness* [μm]	Tip de material de adaos Type of added material [%]	Conținut de siliciu în compoziția chimică a electrodului Content of silicon in the chemical composition of electrode [%]	Grosime strat de zinc pe sudură măsurat* Zinc layer measured thickness on the welded seam* [μm]
S355	8	0,55	70,0	Bazic / Basic 2,5 mm	0,38	104,3

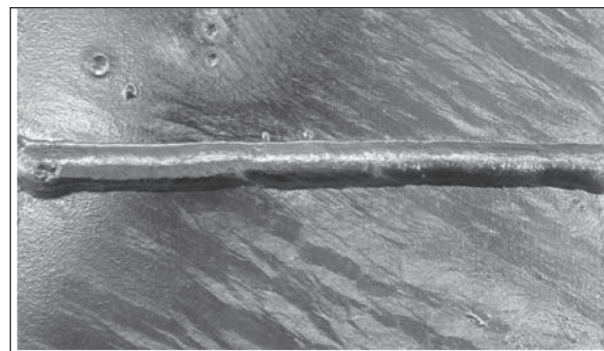
\*Media a șase măsurători / Average of six measurements

### 6.5 Proba 5: Oțel S235 – 135 – G42 3 M21 3 Si1 – 1,0 mm

Figurile 10 a. și 10 b. prezintă aspectul sudurii înainte și după zincarea termică a două plăci din oțel S235, cu grosimea de 8 mm, care au fost îmbinate prin sudare MAG utilizând sârma G42 3 M21 3 Si1 cu diametrul de 1,0 mm și gaz de protecție M21. Datele obținute prin măsurare sunt prezentate în tabelul 5.



a.



b.

**Figura 10.** Îmbinare sudată a două plăci din oțel S235, cu grosimea de 8 mm, care au fost îmbinate prin sudare 135 cu sârma G42 3 M21 3 Si1 / 1,0 mm (a. înainte de zincarea termică; b. după zincarea termică)

**Figure 10.** Welded joint of two 8 mm thick S235 steel plates, which were joined by 135 welding process using the wire G42 3 M21 3 Si1 / 1.0 mm (a. before hot-dip galvanizing; b. after hot-dip galvanizing)

**Tabelul 5.** Valorile măsurate ale grosimii stratului de zinc pe sudura realizată MAG a două plăci din oțel S235  
**Table 5.** The measured values of the zinc layer thickness on the seam GMA welded of two S235 steel plates

Marcă oțel Steel type	Grosime tablă Plate thickness [mm]	Conținut de siliciu în compoziția chimică a tablei Content of silicon in the chemical composition of the plate [%]	Grosime strat de zinc măsurat* Zinc layer measured thickness* [μm]	Tip de material de adaos Type of added material [%]	Conținut de siliciu în compoziția chimică a electrodului Content of silicon in the chemical composition of electrode [%]	Grosime strat de zinc pe sudură măsurat* Zinc layer measured thickness on the welded seam* [μm]
S235	8	0,05	57,0	G42 3 M21 3 Si1 1,0 mm	0,86	169,7

\*Media a șase măsurători / Average of six measurements

### 6.6 Proba 6: Oțel S355 – 135 – G42 3 M21 3 Si1 – 1,0 mm

Figurile 11 a. și 11 b. prezintă aspectul sudurii înainte și după zincarea termică a două plăci din oțel S355, cu grosimea de 8 mm, care au fost îmbinate prin sudare MIG utilizând sârma G42 3 M21 3 Si1 cu dia-

### 6.6 Sample 6: Steel S355 – 135 – G42 3 M21 3 Si1 – 1.0 mm

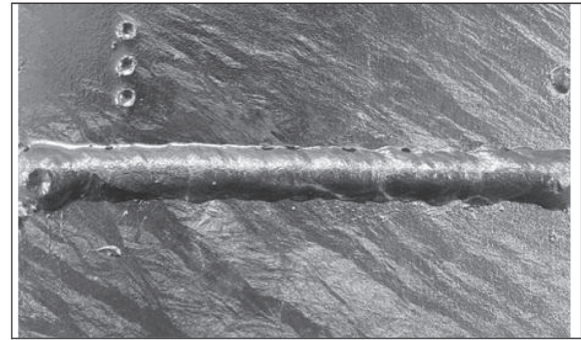
Figures 11 a. and 11 b. show the appearance of the weld seam before and after hot-dip galvanizing of two S355 steel plates, 8 mm thick, which were joined by GMA welding using the filler metal G42 3 M21 3

metrul de 1,0 mm și gaz de protecție M21. Datele obținute prin măsurare sunt prezentate în tabelul 6.

Si1 of 1.0 mm, and M21 shielding gas. The data obtained after the measurements are presented in table 6.



a.



b.

**Figura 11.** Îmbinare sudată a două plăci din oțel S235, cu grosimea de 8 mm, care au fost îmbinate prin sudare 135 cu sârma G42 3 M21 3 Si1 / 1,0 mm (a. înainte de zincarea termică; b. după zincarea termică)

**Figure 11.** Welded joint of two 8 mm thick S235 steel plates, which were joined by 135 welding process using the wire G42 3 M21 3 Si1 / 1.0 mm (a. before hot-dip galvanizing; b. after hot-dip galvanizing)

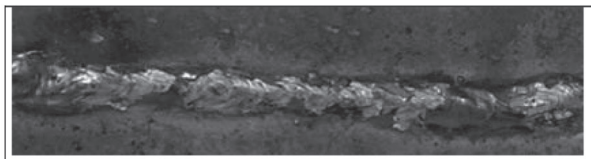
**Tabelul 6.** Valorile măsurate ale grosimii stratului de zinc pe sudura realizată MAG a două plăci din oțel S355  
**Table 6.** The measured values of the zinc layer thickness on the seam GMA welded of two S355 steel plates

Marcă oțel Steel type	Grosime tablă Plate thickness [mm]	Conținut de siliciu în compoziția chimică a tablei Content of silicon in the chemical composition of the plate [%]	Grosime strat de zinc măsurat* Zinc layer measured thickness* [μm]	Tip de material de adaos Type of added material [%]	Conținut de siliciu în compoziția chimică a electrodului Content of silicon in the chemical composition of electrode [%]	Grosime strat de zinc pe sudură măsurat* Zinc layer measured thickness on the welded seam* [μm]
S355	8	0,55	61,6	G42 3 M21 3 Si1 1,0 mm	0,86	201,3

\*Media a șase măsurători / Average of six measurements

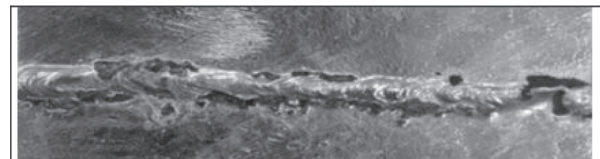
## 7. Considerații adiționale

Zincarea termică pune în evidență (nu ascunde) forma sudurii și eventualele defecte rezultate ca efect al unei suduri necorespunzătoare. Figura 12 prezintă o astfel de situație. O sudură cu discontinuități, pătrundere neuniformă, utilizare în exces a sprayurilor antistropi și curățare incompletă a zgurii de pe suprafața sudurii va conduce la zone fără acoperire de zinc.



## 7. Additional considerations

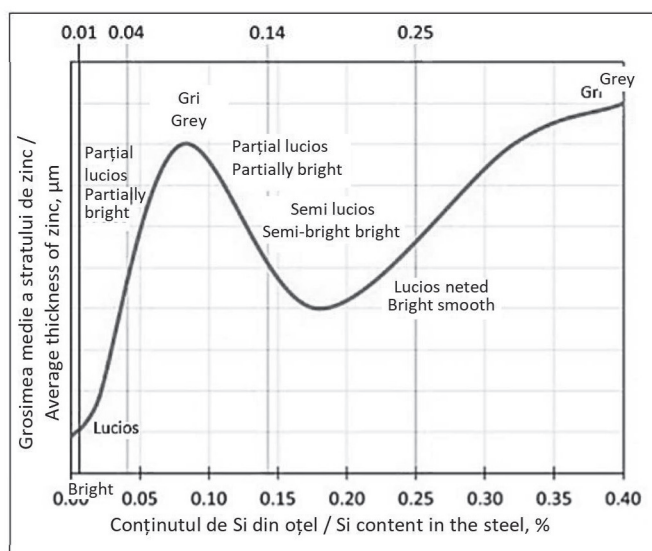
Hot-dip galvanizing highlights (does not hide) the shape of the weld seam and any defects resulting from improper welding. The Figure 12 highlight such a situation. Discontinuous welding, uneven penetration, excessive use of anti-spatter sprays and incomplete cleaning of slag from the weld seam surface will lead to areas without zinc coating.



**Figura 12.** Exemple de suduri cu defecte, aspect înainte și după galvanizarea la cald  
**Figure 12.** Examples of welds with defects, appearance before and after hot dip galvanizing

Aspectul potențial diferit al zincului din zona de sudare (de la foarte lucios la gri mat) este influențat de concentrația de siliciu a materialului de adaos, dar nu reprezintă o abatere calitativă sau risc pentru apariția coroziunii. În figura 13 este prezentat graficul care definește corespondența între conținutul de siliciu din oțel și grosimea medie a stratului de zinc, pe reprezentarea grafică fiind marcate și nuanțele de gri specifice care apar la suprafața materialului.

The potentially different appearance of the zinc in the welding area (from very shiny to dull gray) is influenced by the silicon concentration of the filler material, but does not represent a qualitative deviation, or a risk for the occurrence of corrosion. Figure 13 shows the graph that defines the correspondence between the silicon content in steel and the average thickness of the zinc layer, with the specific gray shades that appear on the surface of the material also marked on the graphic representation.



**Figura 13.** Tendința de nuanță de gri și de aspect lucios/mat rezultate după zincare termică – curba Sandelin [4]  
**Figure 13.** Trend of grey shade and shiny/mat appearance results after hot-dip galvanizing – Sandelin curve [4]

Zincarea termică oferă o aderență a zincului la oțelul de bază de aproximativ 24,8 MPa [5]. Această valoare a aderenței trebuie privită și din perspectiva comparației cu celelalte soluții de protecție anticorozivă, respectiv vopsirea, aproximativ 4,2 Mpa, respectiv metalizarea (pulverizare cu zinc topit), 10,4 Mpa.

## 8. Concluzii

Măsurătorile repetate au arătat că există o relație de proporționalitate între grosimea stratului de zinc depus prin zincare termică pe cusătura sudată și concentrația de siliciu din materialul de adaos utilizat pentru sudare. Măsurătorile experimentale au demonstrat că grosimea stratului de zinc depus prin zincare termică pe cusăturile sudate este direct proporțională cu conținutul de siliciu din materialul de adaos.

Materialele de adaos cu conținut ridicat de siliciu (ex. electrozi bazici cu 0,38% Si sau sârmă MAG cu 0,86% Si) produc straturi de zinc semnificativ mai groase pe suduri decât cele cu siliciu scăzut (ex. electrozi rutilici). Aceasta afectează nu doar grosimea, ci și aspectul suprafeței, variind de la lucios la gri mat, fără a compromite protecția anticorozivă.

Procesul de zincare termică la 450–480°C nu interferează cu proprietățile mecanice ale oțelurilor S235 și S355, conform diagramelor Fe-C și Fe-Zn. Temperatura este situată sub palierele critice de modificare structurală, asigurând stabilitatea oțelului și integritatea sudurilor după galvanizare.

Defectele din materialul sudurii, precum discontinuitățile sau pătrunderea neuniformă, împreună cu utilizarea excesivă a sprayurilor antistropi sau

Hot-dip galvanizing provides a zinc adhesion to the base steel of approximately 24.8 MPa [5]. This adhesion value should also be viewed in comparison with other corrosion protection solutions, namely painting, approximately 4.2 MPa, and metallization (molten zinc spraying), 10.4 MPa.

## 8. Conclusions

Repeated measurements have shown that there is a proportional relationship between the thickness of the zinc layer deposited by hot-dip galvanizing on the welded seam and the silicon concentration in the filler material used for welding. Experimental measurements have shown that the thickness of the zinc layer deposited by hot-dip galvanizing on welded seams is directly proportional to the silicon content of the filler material.

Filler materials with a high silicon content (e.g. basic electrodes with 0.38% Si or MAG wire with 0.86% Si) produce significantly thicker zinc layers on welds than those with low silicon (e.g. rutile electrodes). This affects not only the thickness but also the surface appearance, ranging from shiny to matt grey, without compromising the anti-corrosion protection.

The hot-dip galvanizing process at 450–480°C does not interfere with the mechanical properties of S235 and S355 steels, according to the Fe-C and Fe-Zn diagrams. The temperature is located below the critical levels of structural change, ensuring the stability of the steel and the integrity of the welds after galvanizing.

Defects in the weld material, such as discontinuities or uneven penetration, together with excessive use

curățirea incompletă a zgurii, duc la zone fără acoperire de zincare, compromițând protecția anticorozivă. Zincarea evidențiază aceste imperfecțiuni, subliniind necesitatea unei suduri executate corect. Zincarea termică oferă o aderență a zincului la oțelul de bază superioară altor metode precum vopsirea sau metalizarea. Această aderență, combinată cu grosimea variabilă a stratului, asigură o protecție anticorozivă corespunzătoare, esențială în industrii precum construcțiile, auto sau navală.

of anti-spatter sprays or incomplete slag cleaning, lead to areas without zinc coating, compromising corrosion protection. Galvanizing highlights these imperfections, emphasizing the need for a properly executed weld. Hot-dip galvanizing provides superior zinc adhesion to the base steel compared to other methods such as painting or metallization. This adhesion, combined with the variable thickness of the layer, ensures adequate corrosion protection, essential in industries such as construction, automotive or marine.

## Bibliografie/References

- [1] \*\*\* Galvanizers Association, HDG Datasheet 2: The hot-dip galvanizing process, <https://galvanizing.ie/datasheets/hot-dip-galvanizing-process/>
- [2] \*\*\* ANAZ, Sudarea oțelului zincat termic, <https://anaz.ro/asamblarea-produselor-din-otel-zincat-termic/>
- [3] \*\*\* ANAZ, Ghid pentru ingineri și proiectanți. Zincare termică, <https://www.bergbanat.ro/studii-de-caz/ghid-pentru-ingineri-si-proiectanti-zincare-termica/>
- [4] Bondareva, Olga & Melnikov, A.. (2016). Effect of the silicon content in steel on the hot-dip zinc coating microstructure formation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 156. 012015. 10.1088/1757-899X/156/1/012015.
- [5] \*\*\* Meneghello, Steel composition, <https://www.mgalv.com.au/technicalinformation/steelcomposition/>
- [6] \*\*\* American Galvanizers Association, What is Hot-Dip Galvanizing? <https://galvanizeit.org/hot-dip-galvanized-steel-for-parking-structures/hot-dip-galvanizing>

### Pentru citare:

Vermesan, H., Vitan, V., *Specific metallurgical aspects when welding steels protected by hot-dip galvanizing*, *Sudura*, nr. 2 (2025), year XXXIV, 28-39, <https://doi.org/10.70652/sud.2025.2.3>



## Calendarul manifestărilor științifice și tehnice în domeniul sudării 2025

### Conferințe

22-27.06.2025	A 78-a Adunare Anuală și Conferința Internațională a IIW	Genova Italia	<a href="http://www.iiw2024.com">www.iiw2024.com</a>
14-18.09.2025	Al 18-lea Congres și expoziție europeană privind materialele și procesele avansate EUROMAT 2025	Granada Spania	<a href="http://www.euromat2025.fems.eu">www.euromat2025.fems.eu</a>
16-17.10.2025	Conferința ASR a coordonatorilor sudării	Arad România	<a href="http://www.asr.ro">www.asr.ro</a>
29.10-01.11.2025	A 6-a Conferință Internațională Powder Metallurgy & Advanced Materials	Cluj-Napoca România	<a href="https://ropman.utcluj.ro">https://ropman.utcluj.ro</a>

### Târguri și expoziții

08-11.09.2025	FABTECH 2025	Chicago SUA	<a href="http://www.fabtechexpo.com">www.fabtechexpo.com</a>
15-19.09.2025	Târgul internațional Schweissen&Schneiden/Sudare&Tăiere	Essen Germania	<a href="http://www.schweissenschnneiden.com/joining-cutting-surfacing">www.schweissenschnneiden.com/joining-cutting-surfacing</a>
14-16.10.2025	Târgul internațional de sudare ExpoWELDING	Katowice Polonia	<a href="http://www.expowelding.pl/2025">www.expowelding.pl/2025</a>