

APLICAȚII INDUSTRIALE-PRACTICIANUL SUDOR INDUSTRIAL APPLICATION-WELDING PRACTITIONER

Condiții generale pentru fabricarea prin sudare a unui batardou

General conditions for the manufacture of a cofferdam by welding

Eugen Cosma^{1*}, Dorin Stan², Cătălin Pănescu³, Traian Țunescu⁴

¹S.C. CECONS S.R.L., Drobeta-Turnu Severin

²S.C. DACIA S.A., Mioveni

³S.C. METABET S.A., Pitești

⁴S.H.E.N. Porțile de Fier I/Universitatea din Craiova, PhD student

Rezumat

Lucrarea analizează condițiile generale pentru fabricarea prin sudare a unui batardou, o structură provizorie utilizată pentru izolarea unei zone de lucru aflate sub nivelul apei. Această izolare este esențială pentru lucrări de construcții hidrotehnice, precum baraje, ecluze sau fundații de poduri. Batardoul trebuie să asigure etanșeitate, rezistență mecanică și stabilitate împotriva presiunii hidrostatice. Studiul descrie principalele tipuri de îmbinări sudate utilizate, inclusiv îmbinări cap la cap, în colț și prin suprapunere, alături de criteriile de proiectare care trebuie respectate pentru a garanta siguranța și durabilitatea structurii. Este subliniată importanța sudurilor continue, verificabile prin metode de testare nedistructivă (UT, PT), pentru a preveni infiltrațiile și a rezista la forțe hidrodinamice variabile. O parte semnificativă a analizei este dedicată batardoului utilizat la hidrocentrala Porțile de Fier II, unde sunt detaliate condițiile specifice de proiectare, materialele utilizate (oțel S355J2 și inox X5CrNi18-10), precum și cerințele de execuție și verificare a sudurilor. Se discută despre strategiile de reducere a tensiunilor reziduale și controlul deformărilor prin secvențierea corectă a sudurii și aplicarea tratamentelor termice post-sudare. În concluzie, lucrarea subliniază importanța unei abordări riguroase în proiectarea și fabricarea batardourilor sudate, evidențiind necesitatea unor controale stricte asupra materialelor, îmbinărilor și testelor de etanșeitate pentru a asigura funcționalitatea și siguranța în exploatare.

Cuvinte cheie

Batardou, construcție sudată, condiții de execuție, forma rostului, preîncălzire, ordine de sudare

Abstract

The paper analyses the general conditions for manufacturing a cofferdam through welding, a temporary structure used to isolate a work area below the water level. This isolation is essential for hydro-technical construction projects such as dams, locks, or bridge foundations. The cofferdam must ensure watertightness, mechanical resistance, and stability against hydrostatic pressure. The study describes the main types of welded joints used, including butt joints, corner joints, and lap joints, along with the design criteria that must be met to guarantee the structure's safety and durability. The importance of continuous welds, verified through non-destructive testing (UT, PT), is emphasized to prevent leaks and withstand varying hydrodynamic forces. A significant part of the analysis focuses on the cofferdam used at the Iron Gates II hydropower plant, detailing the specific design conditions, materials used (S355J2 steel and X5CrNi18-10 stainless steel), as well as the execution and welding inspection requirements. Strategies for reducing residual stresses and controlling deformations through proper welding sequencing and post-weld heat treatments are discussed. In conclusion, the paper highlights the importance of a rigorous approach in designing and manufacturing welded cofferdams, emphasizing the need for strict controls over materials, joints, and watertightness testing to ensure operational functionality and safety.

Keywords

Cofferdam, welded construction, execution conditions, bevel shape, preheating, welding sequence

1. Introducere

Batardoul este o structură provizorie de reținere a apei, utilizată pentru a izola o zonă de lucru aflată

1. Introduction

A cofferdam is a temporary water retention structure used to isolate a work area below water level,

sub nivelul apei, în special în lucrările de construcții civile, hidrotehnice sau industriale, cum ar fi [1,2]:

- fundare poduri, piloni, baraje, ecluze
- construcție cheuri sau centrale hidroelectrice
- efectuare de reparații subacvatice
- montare de structuri metalice.

Funcțiile pe care trebuie să le realizeze batardoul sunt, așadar izolarea zonei de lucru față de apă, crearea unui mediu uscat și sigur pentru lucrări sub nivelul apei, precum și protecția lucrărilor și a muncitorilor împotriva infiltrațiilor și a forțelor hidrostactice.

Batardoul unei hidrocentrale (figura 1) este o construcție sudată compusă dintr-o structură principală, formată din panouri metalice modulare, cadre de rigidizare din profile laminate și stâlpi verticali din profile de oțel, legați prin contravântuiri.

Tipurile de îmbinări sudate existente în cadrul unui batardou sunt:

- îmbinări cap la cap cu rost pregătit (V, Y, 1/2Y, X) pentru asamblarea panourilor mari de tablă.
- îmbinări în colț între panouri și rame sau rigidizări, precum și între profilele structurii de rezistență).
- îmbinări prin suprapunere pentru plăcile de etanșare sau ancorare.

Aceste îmbinări sunt proiectate în următoarele condiții:

- să aibă o rezistență minim necesară la acțiunea unor forțe hidrostactice mari (presiuni de apă mari la adâncimi mari)
- să aibă o rezistență minim necesară la eforturi de compresiune și forfecare
- să aibă o rezistență minim necesară la cicluri de umplere/golire și vibrații (în cazul centralelor cu turbine mari)
- să asigure o etanșeitate totală (suduri 100% continue și verificate).

1.1 Condiții și cerințe de proiectare și execuție

Materialul de bază utilizat în proiectarea unui batardou este oțelul structural S355 sau superior (pentru rezistență mare la tracțiune și coroziune). Pentru zonele aflate în contact cu apa se mai utilizează oțel inoxidabil sau tablă tratată anticoroziv. Grosimile cele mai des întâlnite sunt cuprinse în intervalul 10-40 mm, în funcție de presiunile create de apă. Proiectarea va ține cont de etapele principale de execuție și anume:

1. prefabricarea modulelor în atelier, sudate complet
2. transportul la fața locului (modularitatea este importantă)

especial în civil, hydraulic or industrial construction works, such as [1,2]:

- foundations of bridges, pillars, dams, locks
- construction of quays or hydroelectric power plants
- underwater repairs
- installation of metal structures.

The functions that the cofferdam must perform are, therefore, to isolate the work area from water, to create a dry and safe environment for works below water level, as well as to protect the works and workers against infiltration and hydrostatic forces.

The cofferdam of a hydroelectric power plant (figure 1) is a welded structure composed of the main structure, consisting of modular metal panels, stiffening frames made of laminated profiles and vertical columns made of steel profiles, connected by braces.

The types of welded joints existing within a cofferdam are:

- butt joints with prepared joint (V, Y, 1/2Y, X) for assembling large sheet metal panels.
- corner joints between panels and frames or stiffeners, as well as between the profiles of the load-bearing structure).
- lap joints for plates dedicated to sealing or anchoring.

These joints are designed under the following conditions:

- have a minimum necessary resistance to the action of high hydrostatic forces (high water pressures at great depths)
- have a minimum required resistance to compression and shear stresses
- have a minimum required resistance to filling/emptying cycles and vibrations (in the case of power plants with large turbines)
- to ensure total tightness (100% continuous and verified welds).

1.1 Design and execution conditions and requirements

The basic material used in the design of a cofferdam is structural steel S355 or higher (for high tensile and corrosion resistance). For areas in contact with water, stainless steel or anti-corrosion treated sheet metal is also used.

The most common thicknesses are in the range of 10-40 mm, depending on the pressures created by the water. The design will take into account the main execution stages, namely:

1. prefabrication of modules in the workshop, fully welded.
2. transport to site (modularity is important).

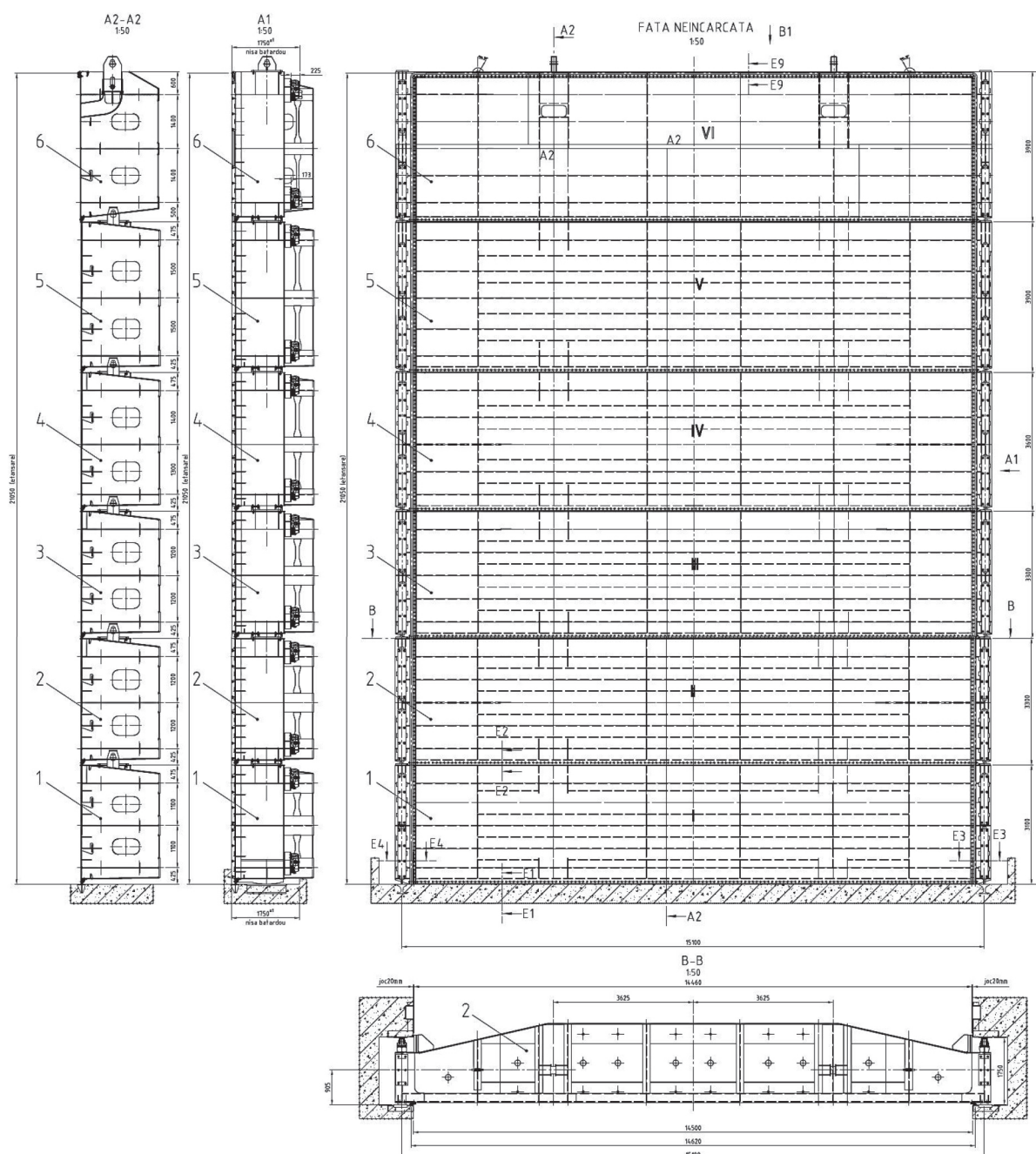


Figura 1. Sistemul hibrid rezistiv – laser de încălzire

Figure 1. Resistive – laser hybrid system for heating

asamblarea pe șantier (suduri pentru îmbinarea modulelor și pentru ancorare)

4. etanșarea finală și controlul sudurilor (ultrasunete- UT, lichide penetrante- UP)

5. montaj etanșări elastice pe margini (pentru contact perfect cu albia)

dar și de condițiile de construire și montare:

- precizie ridicată în fabricarea modulară pentru a garanta îmbinările etanșe
- executarea sudurilor pe poziții variate (poziție orizontală, verticală, plafon)
- încercări hidraulice după montare (verificarea etanșeității prin inundare controlată)

3. assembly on site (welds for joining modules and welds for anchoring).

4. final sealing and weld inspection (ultrasonics- UT, liquid penetrants- UP).

5. installation of elastic seals on the edges (for perfect contact with the bed)

but also, the construction and installation conditions:

- butt joints with prepared joint (V, Y, 1/2Y, X) for assembling large sheet metal panels.
- corner joints between panels and frames or stiffeners, as well as between the profiles of the load-bearing structure).

- examinarea NDT a sudurilor (verificare 100% a sudurilor prin UT și PT).

Aceste îmbinări sunt proiectate în următoarele condiții:

- să aibă o rezistență minim necesară la acțiunea unor forțe hidrostatice mari (presiuni de apă mari la adâncimi mari)
- să aibă o rezistență minim necesară la eforturi de compresie și forfecare
- să aibă o rezistență minim necesară la cicluri de umplere/golire și vibrații (în cazul centralelor cu turbine mari)
- să asigure o etanșeitate totală (suduri 100% continue și verificate).

1.2 Condiții și cerințe de proiectare și execuție

Criteriile urmărite în procesul de proiectare a bataroului sunt:

- presiunea hidrodinamică și hidrostatică exercitată de coloana de apă (funcție de adâncimea și debitul apei curgătoare).
- forțele de împingere orizontală și verticală generate de apă și eventual de materiale în suspensie (trunchiuri, gheață).
- stabilitatea împotriva deplasării (translație, alunecare, rostogolire).
- rezistența la presiunea de impact (în caz de obiecte antrenate de apă).
- stabilitatea împotriva flotabilității (mai ales dacă presiunea apei se exercită neuniform).
- etanșeitatea față de infiltrații (fundare pe pat de apă neregulat).
- rezistența sudurilor și a elementelor structurale la forțe de compresie, tracțiune și forfecare.

În cazul unui batarou de pe Dunăre datele de intrare în procesul de proiectare sunt:

- adâncimea maximă, $h = 35$ m
- greutatea specifică a apei, $\gamma = 9.81$ kN/m³
- materialul din care este confecționată structura: oțel structural S355, $f_y = 355$ N/mm²
- coeficientul de siguranță, $CS = 1.5$
- tensiune admisibilă, $\sigma_{adm} = \frac{f_y}{CS}$

Presiunea hidrostatică devine în acest caz:

$$p = \gamma \times h = 9.81 \times 35 = 343.35 \text{ kN/m}^2 \quad (1)$$

rezultând o forță totală pe metru de lungime egală cu:

$$F = \frac{(p \times h)}{2} = \frac{(343.35 \times 35)}{2} = 6008.625 \text{ kN/m} \quad (2)$$

Momentul încovoietor maxim este:

$$M_{max} = \frac{p \times h^2}{6} = \frac{343.35 \times 35^2}{6} = 70100.625 \text{ kNm/m} \quad (3)$$

iar, succesiv, modulul de rezistență este:

- lap joints for plates dedicated to sealing or anchoring.

These joints are designed under the following conditions:

- High precision in modular manufacturing to guarantee leak-proof joints.
- performing welds in various positions (horizontal, vertical, ceiling).
- hydraulic tests after installation (tightness verification by controlled flooding).
- NDT examination of welds (100% verification of welds by UT and PT).

1.2 Design and execution conditions and requirements

The criteria followed in the cofferdam design process are:

- the hydrodynamic and hydrostatic pressure exerted by the water column (depending on the depth and flow of the flowing water).
- horizontal and vertical thrust forces generated by water and possibly suspended materials (trunks, ice).
- stability against displacement (translation, sliding, rolling).
- resistance to impact pressure (in the case of objects carried by water).
- stability against buoyancy (especially if water pressure is exerted unevenly).
- tightness against infiltration (foundation on irregular waterbed).
- resistance of all welds and all structural elements to compressive, tensile and shear forces.

In the case of the cofferdam on the Danube, the input data in the design process are:

- maximum depth, $h = 35$ m
- specific gravity of water, $\gamma = 9.81$ kN/m³
- the material from which the structure is made: structural steel S355, $f_y = 355$ N/mm²
- safety coefficient, $CS = 1.5$
- permissible voltage, $\sigma_{adm} = \frac{f_y}{CS}$

The hydrostatic pressure in this case becomes:

$$p = \gamma \times h = 9.81 \times 35 = 343.35 \text{ kN/m}^2 \quad (1)$$

resulting in a total force per meter of length equal to:

$$F = \frac{(p \times h)}{2} = \frac{(343.35 \times 35)}{2} = 6008.625 \text{ kN/m} \quad (2)$$

The maximum bending moment is:

$$M_{max} = \frac{p \times h^2}{6} = \frac{343.35 \times 35^2}{6} = 70100.625 \text{ kNm/m} \quad (3)$$

and, successively, the modulus of resistance is:

$$W = \frac{M_{max} \cdot 10^6}{\sigma_{adm}} = \frac{(70100,625 \times 10^6)}{236,66} \approx 296,210 \text{ cm}^3 \quad (4)$$

unde tensiunea admisibilă se calculează în funcție de coeficientul de siguranță aplicat limitei de curgere a materialului:

$$\sigma_{adm} = \frac{355}{1,5} = 236.66 \text{ MPa} \quad (5).$$

Verificarea unghiului de deformare:

$$\delta_{adm} = \frac{h}{200} = \frac{35000}{200} = 175 \text{ mm} \quad (6).$$

În tabelul 1 sunt prezentate rezultatele numerice.

Tabelul 1. Fluxul termic și valorile temperaturilor pentru diverse reglări ale parametrilor sistemului hibrid

Figure 1. Heat flux and temperatures for various adjustments of the hybrid system

Parametru	Valoare Estimativă
Presiune maximă	343,35 kN/m ²
Forță totală pe metru	6008,63 kN/m
Moment încovoietor maxim	70100,63 kNm/m
Moment de rezistență minim	296210 cm ³
Tablă estimativă	20-30 mm + rigidizări
Deformare maxim admisă	175 mm
Material	Oțel S355
Modalitate prindere	Garnituri + ancorare

2. Condiții generale pentru fabricarea prin sudare a unui batardou

2.1 Condiții pentru pregătirea în vederea sudării

Asamblarea prin sudare a unui batardou necesită o abordare extrem de riguroasă, conform normelor europene, care să garanteze:

- integritatea structurală la presiuni hidraulice mari
- etanșeitatea
- durabilitatea în medii corozive și expuse la solicitări ciclice.

Procesul tehnologic de execuție a batardoului cuprinde următoarele etape:

- se vor realiza cotele pentru fiecare reper;
- se vor stabili și aplica procedeul de sudare și tehnologia de sudare, inclusiv numărul de treceri și ordinea de aplicare a acestora;
- se vor asigura materialele de bază și de adaos în calitățile și cantitățile necesare
- se vor derula procesele de croire și prelucrare a muchiilor pentru fiecare reper cu asigurarea adaosului tehnologic;
- se vor asigura detaliile de realizare a muchiilor, în special a rosturilor de sudare;
- se vor stabili și se vor aplica modul și ordinea de asamblare a reperelor în cadrul subansamblului;
- se va stabili și aplica ordinea de execuție a sudurilor astfel încât să fie diminuate tensiunile și deformațiile remanente la sudare, asigurându-

$$W = \frac{M_{max} \cdot 10^6}{\sigma_{adm}} = \frac{(70100,625 \times 10^6)}{236,66} \approx 296.210 \text{ cm}^3 \quad (4)$$

where the allowable stress is calculated according to the safety factor applied to the yield strength of the material:

$$\sigma_{adm} = \frac{355}{1,5} = 236.66 \text{ MPa} \quad (5).$$

Deformation angle determination:

$$\delta_{adm} = \frac{h}{200} = \frac{35000}{200} = 175 \text{ mm} \quad (6).$$

Table 1 presents the numerical results.

2. Condiții generale pentru fabricarea prin sudare a unui batardou

2.1 Conditions for preparation for welding

The welding assembly of a cofferdam requires an extremely rigorous approach, according to European standards, to guarantee:

- structural integrity at high hydraulic pressures
- tightness
- durability in corrosive environments and exposed to cyclic stress.

The technological process of executing the cofferdam includes the following stages:

- designing the dimensions for each landmark;
- designing and applying the welding process and technology, including the number of passes and the order of their application;
- ensuring the base materials and the filler metals on required qualities and quantities
- the processes of cutting and processing the edges will be carried out for each reference, ensuring the technological allowance;
- ensuring the details of the edges, especially the joints that will participate in welding;
- designing and applying the method and order of assembly of parts;
- the order of execution of the welds will be established and applied so as to reduce the residual stresses and deformations during welding,

- se astfel geometria subansamblului;
- se va stabili și asigura temperatura între straturi;
- se va stabili și aplica modul de prelucrare al sudurilor după execuția acestora;
- se va stabili și aplica planul de inspecție al sudurilor;
- se vor stabili și aplica procedeele de verificare a geometriei subansamblelor, după executare.

2.1.1 Condiții generale privind materialele

a. Pregătirea materialelor

Materialele de bază vor fi conforme standardelor de aplicare. Corpul batardoului va fi confecționat din oțelul S355J2, certificat conform EN 10025.

Admiterea tablelor și profilelor la trasaj se va face numai dacă abaterile de formă se încadrează în dimensiunile finite ale produsului. Nu vor fi utilizate în procesul de fabricație materialele cu abateri dimensionale (mai mari decât cele admise de standardul de produs) sau cu defecte ca fisuri, incluziuni nemetalice, stratificări etc. Suprafețele componentelor vor fi curate, straturile de rugină fiind îndepărtate; nu se folosesc materialele a căror suprafață prezintă degradări în profunzime prin coroziune.

Croirea materialelor (table și profile) destinate fabricării se realizează cu mijloace performante care să elimine eventuale rectificări ulterioare suplimentare. Zgura rezultată pe suprafața tăieturii, la prelucrarea cu oxigen, se îndepărtează prin polizare.

Piese care se deformează la debitare vor fi îndreptate prin procedee mecanice sau termice, după caz. Prelucrarea muchiilor rostului va fi conformă cu detaliile de execuție.

b. Materialele de adaos folosite la realizarea îmbinărilor sudate vor fi cele corespunzătoare pentru sudarea reperelor din oțelul S355J2. Ele vor fi alese astfel încât să asigure clasa de calitate a îmbinării menționată în proiect. Îmbinarea sudată va asigura cel puțin caracteristicile mecanice ale oțelului reperelor îmbinate.

2.1.2 Condiții de proiectare a îmbinărilor sudate

În structura unui batardou se pot regăsi îmbinări de tip T, în colț, cap la cap sau suprapuse în funcție de zona constructivă.

Pregătirea rosturilor conform SR EN ISO 9692, cu specificarea modului de prelucrare pentru realizarea rostului (V, X, dublu V) și a grosimii sudurii. La tăierea și sudarea reperelor se vor respecta indicațiile tehnologice specifice mărcii de oțel (SR EN ISO 9013:2017).

ensuring the geometry of product;

- ensuring the interpass temperature;
- the welding processing method will be established and applied after their execution;
- designing and applying the inspection plan;
- procedures for verifying the geometry of subassemblies will be established and applied after their execution.

2.1.1 General conditions regarding materials

a. Preparation of materials

The base materials will comply with the application standards. The body of the cofferdam will be made of S355J2 steel, certified according to EN 10025.

Sheets and profiles will only be accepted for drawing if the shape deviations fall within the finished dimensions of the product. Materials with dimensional deviations (greater than those allowed by the product standard) or with defects such as cracks, non-metallic inclusions, stratifications, etc. will not be used in the manufacturing process. The surfaces of the components will be clean, with rust layers removed; materials whose surfaces show deep corrosion degradation will not be used.

The cutting of materials (sheets and profiles) intended for manufacturing is carried out with high-performance means that eliminate any additional subsequent rectification. The slag resulting on the cut surface, during oxygen processing, is removed by grinding. Parts that deform during cutting will be straightened using mechanical or thermal processes. The processing of the joint edges will be in accordance with the execution details.

b. The filler materials used to make the welded joints will be those suitable for welding the parts made of S355J2 steel. They will be chosen so as to ensure the quality class of the joint mentioned in the project. The welded joint will ensure at least the mechanical characteristics of the steel of the joined parts.

2.1.2 Design conditions for welded joints

In the structure of a cofferdam, T-type, corner, end-to-end or overlapping joints can be found depending on the construction area.

Edge preparation according to SR EN ISO 9692, specifying the type of bevel (V, X, double V) and the bead thickness. When cutting and welding sheet metal parts, the instructions specific to the steel grade from which the part is made will be followed (SR EN ISO 9013:2017).

2.1.3 Condiții tehnologice de sudare

Procedurile de sudare vor fi calificate (WPQR) conform SR EN ISO 15614, iar sudorii calificați conform EN ISO 9606-1. În baza procedurilor de sudare care au fost calificate se vor extrage specificațiile procedurii de sudare (WPS) personalizate pentru sudurile din proiect, cu parametrii detaliați: curentul de sudare, tensiunea arcului, viteza de avans, poziția de sudare, precum și celelalte elemente specifice.

2.2 Condiții pentru asamblarea prin sudare

2.2.1 Condiții de execuție a îmbinărilor

La realizarea sudurilor se va ține seama de prevederile SR ISO/TR 581:2011 – „Sudabilitate. Materiale metalice. Principii generale”. Fără a avea caracter limitativ, execuția și inspecția sudurilor vor respecta: SR EN ISO 6520-1:2007, SR EN ISO 15614-1:2020, SR EN ISO 15614-12:2021, SR EN ISO 5817:2015, SR EN ISO 10675-1:2022, SR EN 1011-3:2019 (pentru oțelul inoxidabil), SR EN ISO 23277:2015, SR EN ISO 3059:2013 și, în mod particular pentru această structură metalică, elementele legate de procesul de-10: destrămarea lamelară SR EN 1993-1-10:2006. Fiecare lot de material trebuie însoțit de certificate de calitate (EN 10204- tip 3.1 sau 3.2).

Toleranțele structurii vor fi stricte pe lungimi, unghiuri, planeitate, conform SR EN ISO 13920:2023 „Sudare. Toleranțe generale pentru construcții sudate. Dimensiuni pentru lungimi și unghiuri. Forme și poziții.”

Pregătirea rostului îmbinărilor sudate se va executa conform SR EN ISO 9692-1:2014 „Sudare și procedee conexe. Tipuri de pregătire a îmbinării”. De asemenea, se vor evita deschideri ale rostului sau decalaje mai mari decât cele din WPS.

Fixarea pieselor în poziția de sudare se va face cu dispozitive speciale, îmbinări pentru prindere provizorie executate corect, care se îndepărtează sau se încorporează conform WPS.

La sudurile executate în straturi succesive zgura se curăță numai după răcirea parțială a stratului anterior, iar imperfecțiunile vizibile se corectează înainte de aplicarea stratului următor.

Sudurile cu prelucrare (ex. ½"Y") se completează la rădăcină după curățarea rostului de sudare.

O atenție deosebită se va acorda execuției fiecărui subansamblu, urmărindu-se în special aspectele următoare:

- calitatea tablelor și a profilelor utilizate;
- compatibilitatea între natura materialului de adaos și a materialelor de bază (de ex: oțel-oțel;

2.1.3 Welding technological conditions

Welding procedures will be qualified (WPQR) according to SR EN ISO 15614, and welders qualified according to EN ISO 9606-1. Based on the qualified welding procedures, customized welding procedure specifications (WPS) will be extracted for the welds in the project, with detailed parameters: welding current, arc voltage, feed speed, welding position, as well as other specific elements.

2.2 Conditions for welding assembly

2.2.1 Conditions for execution of joints

When performing welds, the provisions of SR ISO/TR 581:2011 – “Weldability. Metallic materials. General principles” shall be taken into account. Without being limiting, the execution and inspection of welds shall comply with: SR EN ISO 6520-1:2007, SR EN ISO 15614-1:2020, SR EN ISO 15614-12:2021, SR EN ISO 5817:2015, SR EN ISO 10675-1:2022, SR EN 1011-3:2019 (for stainless steel), SR EN ISO 23277:2015, SR EN ISO 3059:2013 and, particularly for this metallic structure, the elements related to the lamellar detachment process SR EN 1993-1-10:2006. Each batch of material must be accompanied by quality certificates (EN 10204- type 3.1 or 3.2).

Structural tolerances will be strict on lengths, angles, flatness, according to SR EN ISO 13920:2023 "Welding. General tolerances for welded structures. Dimensions for lengths and angles. Shapes and positions."

The joint preparation of welded joints shall be carried out in accordance with SR EN ISO 9692-1:2014 "Welding and allied processes. Types of joint preparation". Joint openings or offsets greater than those in the WPS shall be avoided.

The fixing of the parts in the welding position will be done with special devices, executed temporary clamping joints, which are removed or incorporated according to the WPS.

In welds performed in successive layers, the slag is cleaned only after the previous layer has partially cooled, and the visible imperfections are removed before applying the next layer.

Welds with bevels (e.g. ½"Y") are completed at the root after cleaning the weld joint.

Particular attention will be paid to the execution of each sub-assembly, paying particular attention to the following aspects:

- the quality of the sheets and profiles used;
- compatibility between the nature of the filler material and the base materials (e.g. steel-steel;

oțel-oțel inoxidabil; etc.);

- croirea reperelor și prelucrarea muchiilor după debitare;
- execuția sudurilor și prelucrarea acestora;
- coplanaritatea reperelor, în special după sudare;
- geometria subansamblului, în corelație cu ansamblul general.

Toate sudurile de rezistență se execută cu pătrundere completă.

2.2.2 Condiții privind deformarea și tensiunile reziduale

- Plan de secvențiere a sudurii: pentru a minimiza deformările printr-o ordine corectă de realizare a trecerilor de sudare.
- Sistem de rigidizare provizorie: pentru a preveni deplasările pieselor.
- Posibile tratamente termice post-sudare: pentru eliminarea tensiunilor reziduale la îmbinările de mare grosime sau la oțeluri sensibile.

2.3 Condiții pentru inspectarea sudurilor

Inspectia sudurilor presupune un complex de investigații nedistructive, compus din:

- inspecție vizuală (VT) aplicată pe tot parcursul lucrării și după finalizarea sudurilor
- examinare cu lichide penetrante (PT) pentru îmbinările la care există risc de apariție a unor fisuri superficiale
- examinare ultrasonică (UT) și/sau radiografică (RT) în cazul intersecțiilor sudurilor, precum și al îmbinărilor critice, necesar a rezista la presiuni mari
- control dimensional: verificarea exactă a cotelor finale și a eventualelor deformații după sudare.

a. Tratarea abaterilor dimensionale

În cazul în care la îmbinarea reperelor apar erori dimensionale manifestate din considerente de croire, poziționare incorectă, deplasare accidentală din poziția reglată pot rezulta variații dimensionale ale subansamblelor, cu valori ce depășesc abaterile admise stabilite prin tehnologia de execuție.

Prin măsurare se va determina mărimea abaterii în vederea corectării ei și se va stabili modul optim de corectare. Soluționarea se va face înainte de transportarea la locul de montare, în interiorul facilității unde a fost fabricat batardoul, pentru a se beneficia de posibilitățile mai riguroase de execuție și inspecție.

b. Tratarea imperfecțiunilor de sudare

Craterile, fisurile, incluziunile nemetalice, scurgerile, arsurile, abaterile de formă și dimensiune se remediază prin polizare sau crăițuire arc-aer urmată

steel-stainless steel; etc.);

- cutting of parts and processing of edges after cutting;
- execution of welds and their processing;
- coplanarity of marks, especially after welding
- the geometry of the subassembly, in correlation with the overall assembly

All resistance welds are performed with full penetration.

2.2.2 Conditions regarding deformation and residual stresses

- Weld sequencing plan: to minimize deformations through a correct welding sequence.
- Temporary stiffening system: to prevent parts from moving.
- Possible post-weld heat treatments: to eliminate residual stresses in thick joints or sensitive steels.

2.3 Conditions for inspecting welds

Weld inspection involves a complex of non-destructive investigations, consisting of:

- visual inspection (VT) applied throughout the work and after completion of welds
- penetrant examination (PT) for joints where there is a risk of superficial cracks
- ultrasonic (UT) and/or radiographic (RT) examination of weld crosses and critical joints, necessary to withstand very high pressures
- Dimensional control: exact verification of final dimensions and possible deformations after welding.

a. Dealing with dimensional deviations

If when joining the parts dimensional errors occur due to cutting considerations incorrect positioning, accidental movement from the adjusted position, dimensional variations of the subassemblies may result, with values exceeding the permissible deviations established by the execution technology.

The measurement will determine the size of the deviation in order to correct it and the optimal correction method will be established. The solution will be done before transportation to the installation site, inside the facility where the cofferdam was manufactured, in order to benefit from more rigorous execution and inspection possibilities.

b. Treating imperfections and welding defects

Craters, cracks, non-metallic inclusions, leaks, burns, deviations in shape and size are remedied by grinding or air-arc gouging and re-welding in the respec-

de refacerea sudurii în zona respectivă, utilizându-se același procedeu ca la sudarea inițială.

Pătrunderea incompletă la sudurile care asigură rezistență mecanică și care au prelucrare a rostului constituie imperfecțiune inadmisibilă, adică defect; porțiunile depistate prin examinare nedistructivă vor fi remediate.

Se va asigura racordarea sudurii refăcute cu cea inițială și cu materialul de bază.

2.4 Condiții pentru încercarea produsului

Încercările funcționale ale produsului vizează în primul rând verificările etanșeității, a rezistenței la presiune, a posibilității de montare, dar și verificări din punct de vedere al siguranței.

Batardoul trebuie să fie încercat la presiune similară celei reale (presiune hidraulică simulată), pentru a se verifica etanșeitățile îmbinărilor. Trebuie apoi efectuat un test de etanșeitate la nivelul sudurilor cu spray cu bule de săpun, cu detector de scurgeri de heliu, prin presiune hidraulică sau prin presiune pneumatică.

Ulterior, se va verifica funcțional la montaj, pentru a asigura că toate componentele (etrieri, nervuri, ancore) sunt sudate și montate corect.

În ceea ce privește condițiile de siguranță, trebuie respectate standardul SR EN ISO 3834-2 (exigențe de calitate ridicată pentru sudare).

3. Analiza unor suduri din componența structurii batardoului

În continuare se vor discuta două tipuri de îmbinări având o caracteristică comună: sunt realizate între două materiale cu grosimi diferite, fiind necesară prelucrarea componentei mai groase pentru realizarea rostului.

3.1 Descrierea îmbinărilor

Prima îmbinare este o îmbinare unilaterală cap la cap între două componente care realizează între ele un unghi de 160°. Este parte a panoului exterior de închidere (figura 2.a), având o componentă cu grosimea de 30 mm formând frontul, cea de-a doua componentă având grosimea de 20 mm și fiind poziționată în retragere (figura 2.b). În continuare se va face referire la *Sudura#1*. Cea de-a doua îmbinare este tot o îmbinare de formare de panou (figura 3.a), panoul având pe suprafața centrală o grosime de 40 mm, iar pe capete o grosime de 20 mm (figura 3.b). Dată fiind posibilitatea de a executa bilateral această îmbinare, ea a fost proiectată cu rost simetric, K. În continuare se va face referire la *Sudura#2*.

tive area, using the same procedure as for the initial welding.

Incomplete penetration in welds ensuring mechanical resistance and having bevel machining constitutes an unacceptable imperfection, i.e. a defect; portions detected by NDT examination will be remedied.

The connection of the repaired seam with the initial one and with the base material will be ensured.

2.4 Conditions for product testing

Functional product tests primarily aim to verify tightness, pressure resistance, installation possibilities, but also safety checks.

The cofferdam must be tested at a pressure similar to the real one (simulated hydraulic pressure), in order to verify the tightness of the joints.

A leak test must then be carried out on the welds with soap bubble spray, helium leak detector, hydraulic or pneumatic pressure.

Subsequently, functional checks will be carried out during assembly to ensure that all components (stirrups, ribs, anchors) are welded and assembled correctly.

Regarding safety conditions, the SR EN ISO 3834-2 standard (high quality requirements for welding) must be respected.

3. Analysis of some welds in the structure of the cofferdam

Next, we will discuss two types of joints with a common characteristic: they are made between two materials with different thicknesses, requiring the processing of the thicker component to create the joint.

3.1 Description of joints

The first joint is a unilateral butt joint between two components that form an angle of 160° between them. It is part of the external closing panel (figure 2.a), having a 30 mm thick component forming the front, the second component having a thickness of 20 mm and being positioned in the recess (figure 2.b). Hereafter, reference will be made to *Weld #1*.

The second joint is also a panel forming joint (figure 3.a), the panel having a thickness of 40 mm on the central surface and a thickness of 20 mm on the ends (figure 3.b). Given the possibility of executing this joint bilaterally, it was designed with a symmetrical joint, K. Hereafter, reference will be made to *Weld #2*.

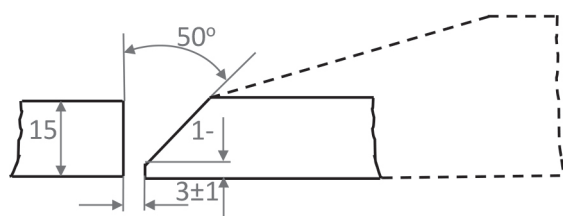


Figura 4. Forma și dimensiunile rostului pentru sudura de calificare a WPS - Sudura#1

Figure 4. WPS qualification weld joint shape and dimensions - Weld#1

Sudura#2 este o îmbinare simetrică la care diferența dintre grosimile celor două materiale de bază este mai mare decât în cazul anterior. În figura 6 este prezentat proiectul formei și dimensiunilor rostului de sudare, la dimensiunile de 20-40 mm fiind necesar un rost simetric pentru controlarea pe cât posibil a evoluției și a valorilor tensiunilor și deformațiilor remanente.

Componenta de sudat, având o grosime dublă față de perechea sa, este prelucrată pe o distanță de aproximativ 80 mm în adâncime de la capătul care participă la realizarea îmbinării. Prelucrarea se realizează bilateral cu o pantă care să producă un capăt având grosimea de 20 mm. Cealaltă componentă de sudat este prelucrată bilateral prin aşchiere sub un unghi de aproximativ 50°. Alăturarea celor două componente realizează un rost K, cu o depărtare la rădăcină de 1-2 mm. Umărul central al prelucrării pe grosime este de aproximativ 2-3 mm, astfel încât să fie topit doar parțial la prima trecere.

Depunerea trecerilor în rostul de sudare se va face conform schemei din figura 7.

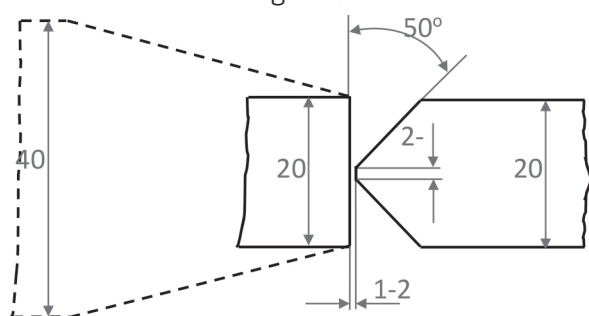


Figura 6. Forma și dimensiunile rostului pentru sudura de calificare a WPS - Sudura#2

Figure 6. WPS qualification weld joint shape and dimensions - Weld#2

3.3 Procedul de sudare și materialele de adaos

Ambele îmbinări sunt realizate utilizând procedeul MIG/MAG 135. Materialul de adaos este o sârmă compatibilă cu materialul de bază S355J2+N, SR EN ISO 10025-2 (grupa 1.2) și anume: G4Si1, SR EN ISO 14341-A / G 46 4 M21 4Si1. Diametrul recomandat al sârmei este 1,2 mm, putând fi utilizate și dimensiuni mai mici. Gazul de protecție utilizat este M2.1, conform SR EN

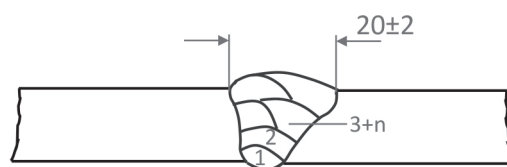


Figura 5. Succesiunea trecerilor de sudare pentru sudura de calificare a WPS - Sudura#1

Figure 5. WPS qualification welding sequence - Weld#1

Weld#2 is a symmetrical joint in which the difference between the thicknesses of the two base materials is greater than in the previous case. Figure 6 shows the design of the shape and dimensions of the welding joint, at dimensions of 20-40 mm a symmetrical joint is necessary to control as much as possible the residual stresses and deformations.

The component to be welded, having a thickness double that of its counterpart, is machined for a distance of approximately 80 mm in depth from the end participating in the joint. The machining is performed bilaterally with a slope to produce an end having a thickness of 20 mm. The other component to be welded is machined bilaterally by chipping at an angle of approximately 50°. The joining of the two components produces a K joint, with a root distance of 1-2 mm. The central shoulder of the machining in thickness is approximately 2-3 mm, so that it is only partially melted in the first pass.

The passes in the welding joint will be done according to the diagram in figure 7.

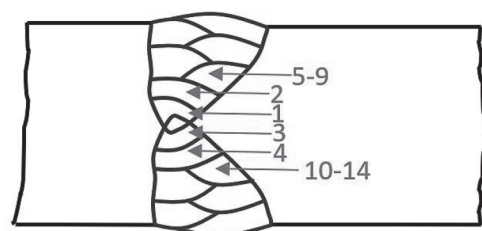


Figura 7. Succesiunea trecerilor de sudare pentru sudura de calificare a WPS - Sudura#2

Figure 7. WPS qualification welding sequence - Weld#2

3.3 Welding process and filler materials

Both joints are made using the MIG/MAG 135 process. The filler material is a wire compatible with the base material S355J2+N, SR EN ISO 10025-2 (group 1.2), namely: G4Si1, SR EN ISO 14341-A / G 46 4 M21 4Si1. The recommended wire diameter is 1.2 mm, although smaller sizes can also be used.

ISO 14175:2008, la debite de 12-15 l/min pentru sudarea rădăcinii și a trecerilor de umplere, acestea putând fi crescute la 15-17 l/min pentru sudarea trecerii de închidere, unde pendularea poate ajunge și la 10 mm lățime.

3.4 Preîncălzirea și temperatura interstrat

În ambele cazuri, date fiind grosimile mai mari de 20 mm, este necesară efectuarea unei preîncălziri pe o lățime de aproximativ 200 mm în stânga și în dreapta rostului. În acest fel, curgerea căldurii din zona de sudare după cele trei direcții va fi încetinită și răcirea va fi, la rândul ei, mai lentă. Temperatura de preîncălzire va fi cuprinsă în intervalul 80-100°C, valorile superioare ale domeniului fiind utilizate atunci când temperatura ambientală este mai mică de 10°C.

De asemenea, temperatura interstrat ar trebui menținută la valori cuprinse între 200-220°C.

3.5 Realizarea trecerilor de sudare

3.5.1 Sudarea îmbinării Sudura#1

Pe cât posibil, trecerile 1-4 se vor face filiform, fără pendulare. Restul trecerilor se pot executa și cu o pendulare minim necesară, singura excepție făcând-o trecerea de închidere (ultima trecere) care se poate executa și cu pendulare mai mare. Trecerile filiforme sau cu pendulare redusă au rolul de a menține energia liniară spre o valoare minimă, controlându-se astfel nivelul tensiunilor și al deformațiilor remanente.

3.5.2 Sudarea îmbinării Sudura#2

După primele două treceri efectuate pe una dintre părți (trecerile 1 și 2) se vor executa în continuare două treceri pe partea opusă (trecerile 3 și 4). În felul acesta se va corecta, cel puțin parțial, deformarea unghiulară produsă după primele două treceri. Înainte de executarea trecerii cu numărul 3 rădăcina primei treceri se va poliza până la luciu metalic pe toată lungimea rostului. Primele patru treceri de sudare se vor efectua filiform, fără pendulare sau cu maxim 2 mm pendulare (doar pentru trecerile 2 și 4).

3.5.2 Aspecte comune privind realizarea îmbinării

După fiecare trecere de sudare se îndepărtează pelicula de zgură formată.

În figura 8 sunt prezentate imagini din timpul realizării structurii batardoului. Important este să nu se utilizeze mai mult de patru sudori sudând simultan pe structură, ordinea de sudare (figura 9) fiind extrem de importantă pentru nivelul tensiunilor și deformațiilor remanente.

The shielding gas used is M2.1, according to SR EN ISO 14175:2008, at flow rates of 12-15 l/min for welding the root and filling passes, which can be increased to 15-17 l/min for welding the closing pass, where the oscillation can reach 10 mm wide.

3.4 Preheating and interlayer temperature

In both cases, given the thicknesses greater than 20 mm, it is necessary to carry out preheating over a width of approximately 200 mm on the left and right of the joint. In this way, the heat flow from the welding area in the three directions will be slowed down and the cooling will be, in turn, slower. The preheating temperature will be in the range of 80-100°C, the upper values of the range being used when the ambient temperature is lower than 10°C.

Also, the interlayer temperature should be maintained at values between 200-220°C.

3.5 Making welding passes

3.5.1 Welding the joint Weld#1

As far as possible, passes 1-4 will be made thread-like, without pendulum. The rest of the passes can be executed with a minimum necessary pendulum, the only exception being the closing pass (last) which can be executed with a greater pendulum. Filiform or low-sway transitions have the role of maintaining linear energy to a minimum value, thus controlling the level of residual stresses and deformations.

3.5.2 Welding the joint Weld#2

After the first two passes on one side (passes 1 and 2), two more passes will be made on the opposite side (passes 3 and 4). This will correct, at least partially, the angular deformation produced after the first two passes. Before performing pass number 3, the root of the first pass will be ground to metal along the entire length of the joint.

The first four welding passes will be made filiform, without pendulum or with a maximum of 2 mm pendulum (only for passes 2 and 4).

3.5.2 Common aspects regarding the realization of the joint

After each welding pass, the formed slag film is removed.

Figure 8 shows images from the construction of the cofferdam structure. It is important not to use more than four welders welding simultaneously on the structure, the welding order (figure 9) being extremely important for the level of residual stresses and deformations.

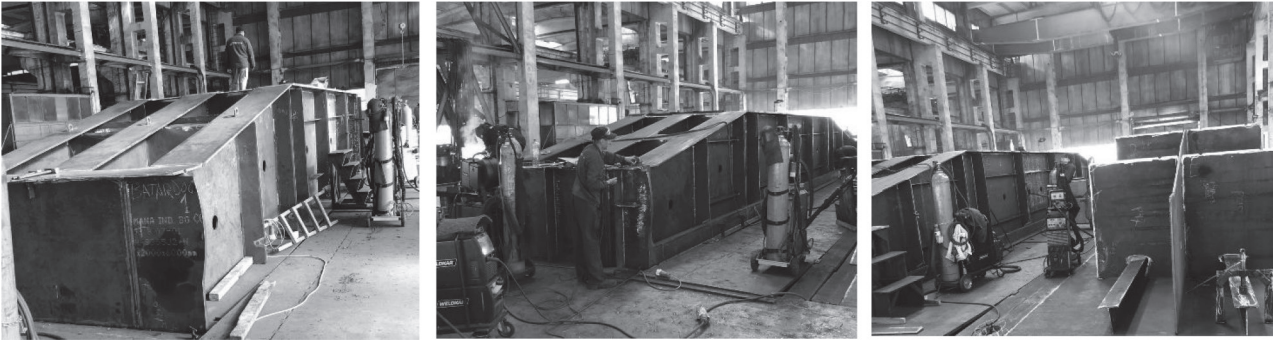


Figura 8. Imagini din timpul procesului de asamblare prin sudare

Figure 8. Images from the welding process

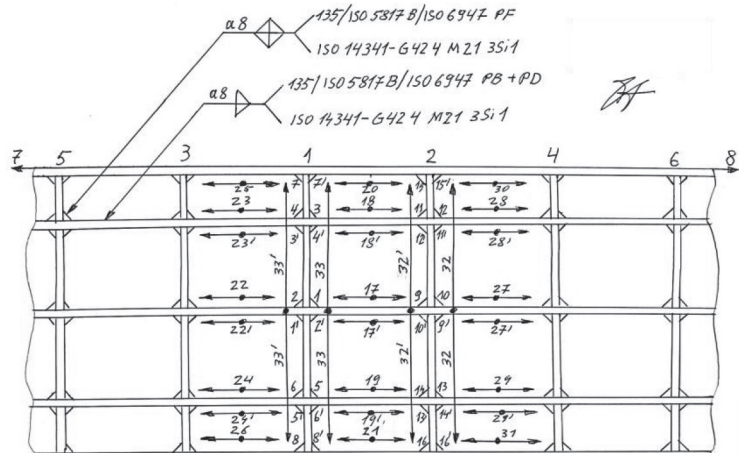
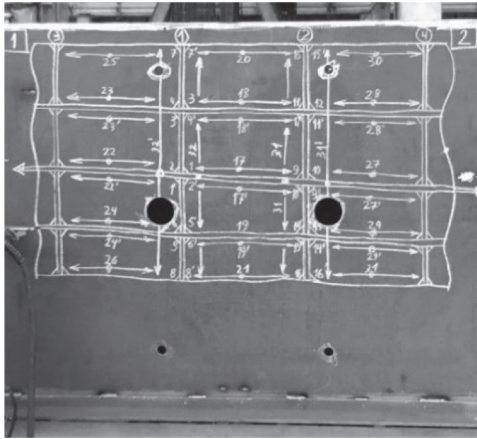


Figura 9. Ordinea de sudare

Figure 9. Welding sequence

La final, se va întocmi și atașa produsului documentația de execuție și inspecție, conținând cel puțin jurnalul de realizare a sudurilor, rapoartele de inspecție, certificate materiale, rapoarte de examinări NDT, specificațiile WPS și WPQR.

4. Concluzii

Analiza comparativă a îmbinărilor *Sudura#1* și *Sudura#2* evidențiază complexitatea tehnologică specifică sudurilor între materiale cu grosimi diferite, cu implicații directe asupra comportamentului termic, al tensiunilor reziduale și al calității finale a cusăturii. *Sudura#1*, de tip cap la cap unilateral, prezintă o configurație asimetrică ce impune o adaptare atentă a rostului pentru a compensa disiparea inegală a căldurii, cauzată de diferența de grosime dintre cele două componente (30 mm și 20 mm). Forma nesimetrică a rostului, prelucrarea profundă a componentei mai groase și controlul precis al primei treceri filiforme sunt critice pentru evitarea deformărilor și acumulării de tensiuni. Energia liniară redusă și succesiunea corectă a trecerilor sunt decisive pentru integritatea îmbinării. *Sudura#2*, de tip simetric bilateral, implică o diferență

Finally, the execution and inspection documentation will be prepared and attached to the product, containing at least the welding log, inspection reports, material certificates, NDT examination reports, WPS and WPQR specifications.

4. Conclusions

The comparative analysis of the joints *Weld#1* and *Weld#2* highlights the technological complexity specific to welds between materials of different thicknesses, with direct implications on the thermal behaviour, residual stresses and final quality of the seam.

Weld #1, a one-sided butt weld, has an asymmetrical configuration that requires careful adaptation of the joint to compensate for the uneven heat dissipation caused by the difference in thickness between the two components (30 mm and 20 mm). The non-symmetrical shape of the joint, the deep machining of the thicker component and the precise control of the first thread passes are critical to avoid deformation and stress accumulation. Low linear energy and the correct sequence of passes are decisive for the integrity of the joint.

și mai pronunțată de grosime (40 mm și 20 mm), dar beneficiază de o geometrie de rost echilibrată (tip K), menită să distribuie uniform energia termică și să reducă efectele de distorsiune. Prelucrarea bilaterală a componentelor și simetria rostului contribuie la obținerea unei suduri mai stabile din punct de vedere geometric și mai predictibile în comportament. Strategia de alternare a trecerilor pe cele două fețe după fazele inițiale este esențială pentru reducerea deformării unghiulare.

Din punct de vedere al materialelor de adaos, sârma G4Si1 utilizată împreună cu gazul de protecție M2.1 corespunde perfect cerințelor de sudare pentru oțelul S355J2, asigurând o bună pătrundere, o protecție eficientă a băii de fuziune și o compatibilitate mecanică și metalurgică optimă.

În ceea ce privește condițiile termice, ambele suduri au necesitat preîncălzire și controlul strict al temperaturii interstrat, pentru a preveni apariția fisurilor la rece și pentru a asigura o microstructură corespunzătoare în zona afectată termic. Respectarea domeniilor de temperatură (80–100°C preîncălzire, 200–220°C interstrat) este crucială pentru calitatea îmbinărilor.

Weld #2, a bilaterally symmetrical type, involves an even greater difference in thickness (40 mm and 20 mm), but benefits from a balanced joint geometry (type K), designed to evenly distribute thermal energy and reduce distortion effects. The bilateral processing of the components and the symmetry of the joint contribute to obtaining a weld that is more geometrically stable and more predictable in behaviour. The strategy of alternating passes on the two sides after the initial phases is essential to reduce angular deformation.

In terms of filler materials, the G4Si1 wire used together with the M2.1 shielding gas perfectly matches the welding requirements for S355J2 steel, ensuring good penetration, effective protection of the weld pool and optimal mechanical and metallurgical compatibility.

Regarding the thermal conditions, both welds required preheating and strict control of the interpass temperature, to prevent cold cracking and to ensure a proper microstructure in the heat affected zone. Respecting the temperature ranges (80–100°C preheating, 200–220°C interpass) is crucial for the quality of the joints.

Bibliografie/References

- [1] Fetzer, C.A., Swatek, E.P. (1988). Cofferdams. In: Jansen, R.B. (eds) *Advanced Dam Engineering for Design, Construction, and Rehabilitation*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0857-7_7
- [2] Saraswati, N.N., et.al., (2023). The analysis of cofferdam construction based on risk assessment using HIRARC and FMEA methods, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, doi:10.1088/1755-1315/1169/1/012023
- [3] Savu, I.-D. (2007). *Sudarea cu arc electric*. Editura Universitaria, Craiova
- [4] Bodea, M. (2016). *Sudura și procedee conexe*, Editura UTPress, Cluj-Napoca

Pentru citare:

Cosma, E., Stan, D., Pănescu, C., Țunescu, T., (2025). *Necessary conditions for making a quality welded joint*, *Sudura*, nr. 1, year XXXV, 15-28, <https://doi.org/10.70652/sud.2025.1.2>



Plata online a cotizațiilor membrilor ASR

Începând din anul acesta achitarea cotizației ASR se poate face online, pe site-ul ASR prin intermediul platformei securizate.

Plata poate fi efectuată pe site-ul www.asr.ro secțiunea *Plăți online* urmând pașii necesari. Acesta este un proces rapid și comod care permite membrilor să achite cotizația direct din confortul casei. Pentru informații suplimentare, nu ezitați să contactați Secretariatul ASR la numărul de telefon 0742026121 sau prin email anca.dumitriu@asr.ro.