



UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” GALAȚI
FACULTATEA DE INGINERIE
DEPARTAMENTUL: INGINERIA FABRICAȚIEI
SPECIALIZAREA: PROIECTARE SI SIMULARE IN INGINERIA SUDARII



LUCRARE DE DISERTAȚIE

Coordonator științific:
Prof. univ. dr. ing. Elena SCUTELNICU

Masterand: Ing.:
CIORÎȚĂ CRISTINA-ANDREEA

Galați - 2020

Proiectarea și sudarea structurilor realizate din oțel corten pentru poduri

REZUMAT

Titlul proiectului de disertație este ***Proiectarea și sudarea structurilor sudate din oțel corten pentru poduri*** și scopul principal al acestuia este descrierea tehnologiilor de asamblare termică a podurilor. Proiectul este structurat pe patru capitole, după cum urmează:

Capitolul 1: Noțiuni introductive despre poduri

În primul capitol al lucrării de disertație a fost prezentată evoluția podurilor de-a lungul timpurilor dar și impactul metalului în construcții, acesta evidențiindu-se ca un material cu posibilități nebănuite în construcția de poduri.

Au fost clasificate podurile în funcție de destinație, deschidere și înălțime. Am continuat cu nomenclatura elementelor constructive și descrierea acestora.

Capitolul 2: Caracterizarea oțelurilor corten utilizate la fabricarea podurilor: S355 J2 C+N și S355 J2 C+N

În capitolul al doilea al proiectului de disertație am prezentat caracteristicile chimice ale oțelului corten S355 J2 C+N pentru poduri, am prezentat și exemplificat testele la care sunt supuse materialele pentru a fi stabilite proprietățile mecanice.

Am analizat viteza de răcire pentru patru tipuri de oțeluri carbon obișnuite și intervale de viteză tipice de răcire pentru diferite procese.

În ce-a a doua parte a capitolului doi al lucrării de disertație, am efectuat un studiu de caz încercând mai multe epruvete de oțel S355 J2 C+N cu grosimi diferite pentru a afla valorile caracteristicilor sale de rezistență (limitele de curgere și de rupere) și ductilitate (alungirea și gătuirea la rupere).

Capitolul 3: Proiectarea tehnologiilor de asamblare termică și metode de încercare a structurilor sudate din oțel corten

În al treilea capitol al proiectului de disertație am prezentat tipurile de sudare care sunt utilizate la asamblarea podurilor, caracterizarea materialelor auxiliare, a gazului de protecție și a parametrilor de sudare necesari pentru realizarea tehnologiei de fabricație. Am continuat cu prezentarea metodelor de control NDT pentru examinarea rezistenței unei structuri sau piese fără a fi necesară demontarea, ori distrugerea acesteia.

Capitolul 4: Încercarea structurii podurilor

Încercarea dinamică a podurilor înainte de darea în funcțiune a acestora reprezintă un ansamblu de metode experimentale și procedee experimentale. La realizarea proiectelor de încercare trebuie să se țină seama de complexitatea încercării în ansamblu.

O metodă utilizată frecvent este cea a utilizării convoaielor de probă, având ca principal dezavantaj inducerea de vibrații perturbatoare a căror frecvență de vibrație poate apare distinct în conținutul de frecvențe al mișcării înregistrate sau se poate suprapune cu unul din modurile de vibrație ale podului încercat.

ABSTRACT

The title of the dissertation project is ***Design and welding of welded corten steel structures for bridges*** and its main purpose is to describe the technologies of thermal assembly of bridges. The project is structured in four chapters, as follows:

Chapter 1: Introductory notions about bridges

In the first chapter of the dissertation paper, it is presented the evolution of bridges over time and also the major impact of using metal in construction, which stands out as a material with unsuspected possibilities in the construction of bridges. The bridges were classified according to destination, opening, and height. We continued with the nomenclature of the constructive elements and their description.

Chapter 2: Characterization of corten steels used in the manufacture of bridges: S355 J2C + N and S355 J2 C + N

In the second chapter of the dissertation project we presented the chemical characteristics of S355 J2 C + N corten steel for bridges, we presented and exemplified the tests to which the materials are subjected to establish the mechanical properties. We analysed the cooling rate for four common carbon steel types and the typical cooling rate ranges for different processes. In the second part of the second chapter of the dissertation, we conducted a case study trying several steel specimens S355 J2 C + N with different thicknesses to find out the values of its strength characteristics (yield strength and ultimate yield strength) and ductility (elongation, necking, and failure).

Chapter 3: Design of thermal assembly technologies and test methods for corten steel welded structures

In the third chapter of the dissertation project, we presented the types of welding processes that are used to assemble bridges, characterization of auxiliary materials, shielding gas, and welding parameters used in the manufacturing technology. We continued with the presentation of NDT control methods for the examination of the strength's structure and parts without the need to disassemble or destroy it.

Chapter 4: Testing the structure of the bridges

Dynamic testing of bridges before commissioning is a set of experimental methods and experimental procedures. The complexity of the test as a whole must be taken into account when carrying out the test designs. A frequently used method is the use of test convoys, having as the main disadvantage the induction of disturbing vibrations whose vibrational frequency may appear distinctly in the frequency content of the recorded movement or may overlap with one of the vibration modes of the tested bridge.

CUPRINS

Rezumat	3
Abstract	4
Cuprins	5
CAP. 1. Noțiuni introductive	7
1.1. Scurt istoric a construcțiilor de poduri metalice.....	7
1.2. Noțiuni despre poduri.....	7
1.2.1. Clasificarea podurilor și denumirea acestora	12
1.3. Definiții și nomenclatura elementelor constructive.....	13
1.4. Concluzii	15
CAP. 2. Caracterizarea oțelurilor corten utilizate la fabricarea podurilor: S235 J2 C+N; S355 J2 C+N	16
2.1. Oțeluri structurale.....	16
2.1.1. Sistemul de notare. Oțeluri pentru construcții.....	17
2.2. Caracteristici și calități de oțeluri pentru construcții.....	18
2.3. Materiale folosite la execuția tablierelor metalice sudate.....	19
2.3.1. Oțelul corten S355 J2 C+N	19
2.3.2. Caracterizarea chimică a materialului S355 EN 10025–2	20
2.3.3. Caracterizarea mecanică a materialului de bază S355 EN 10025–2	22
2.4. Procedee de testare a rezistenței mecanice a oțelului S355 J2 C+N	23
2.4.1. Testul la tracțiune	24
2.4.2. Testul de duritate	26
2.4.2.1. Test Rockwell	28
2.4.2.2. Testul Vickers	28
2.4.3. Valorile măsurate	29
2.4.4. Testul de impact Charpy - Procedura de testare	30
2.4.5. Valorile măsurate pentru rezistența la impact	31
2.5. Sudabilitatea oțelului S355 J2 C+N în funcțiile de proprietățile mecanice	31
2.5.1. Regiunile structurale diferite ale unei zone afectate de căldură	32
2.5.2. Duritatea	34
2.6. Studiu de caz - Încercarea la tracțiune a oțelului S355 J2 C+N	41
2.7. Concluzii	
CAP. 3. Proiectarea tehnologiilor de asamblare termică și metode de încercare a structurilor sudate din oțel corten.....	42
3.1. Caracterizarea materialelor de adaos și auxiliare.....	42
3.3.1. Caracterizarea materialelor de adaos și auxiliare la sudarea MAG.....	42
3.3.2. Caracterizarea materialelor de adaos și auxiliare la sudarea SF.....	45
3.4. Calculul parametrilor de sudare prin procedeul MAG-M.....	47
3.5. Calculul parametrilor de sudare prin procedeul SF.....	49
3.6. Alegerea echipamentelor de sudare	53
3.6.1. Alegerea echipamentelor de sudare MAG-M	53
3.6.2. Alegerea echipamentului de sudare SF	54
3.7. Metode de control a îmbinărilor sudate.....	54
3.7.1. Controlul cu radiații RX	54
3.7.2. Control ultrasunete.....	56

3.7.3. Control vizual	58
3.8. Concluzii	58
CAP. 4. Încercarea structurii podurilor.....	59
4.1. Noțiuni introductive.....	59
4.2. Încercarea structurilor podurilor	60
4.2.1. Importanța încercării podurilor	60
4.3. Teste de măsurare experimentale nedistructive	60
4.3.1. Metode de încercarea a structurilor podurilor pentru încercarea în regim dinamic ...	61
4.3.1.1. Principii generale de măsurare	61
4.3.1.2. Realizarea încărcării dinamice cu instalații de produs vibrații	62
4.3.2. Metode de încercarea a structurilor podurilor pentru încercarea în regim static	62
4.3.2.1. Încărcarea podurilor cu ajutorul convoaielor de probă	63
4.4. Concepte moderne de inspecție a podurilor	64
4.4.1. Tipuri de teste pentru evaluarea stabilității rezistenței la vânt	65
4.4.1.1. Testul stabilității rezistenței la vânt	65
4.4.1.2. Testul pilonilor podurilor	65
4.5. Concluzii	66
Opis figuri.....	67
Opis de tabele.....	69
Bibliografie	70

Capitolul 1.

NOȚIUNI INTRODUCTIVE DESPRE PODURI

1.1. Istoric a construcțiilor de poduri metalice

Construcția podurilor a reprezentat de-a lungul timpurilor un element de referință în istoria dezvoltării societății, a nivelului de cultură, civilizație și bunăstare a unei națiuni. Multe din aceste lucrări au fost monumente de artă; unele s-au păstrat până în zilele noastre.

Lemnul și piatra de construcție încep să fie înlocuite de metal din ce în ce mai mult îndeosebi din a doua jumătate a secolului al XIX-lea, evidențiindu-se ca un material cu posibilități nebănuite în construcția de poduri.

Primul pod metalic cunoscut, ce pare a fi în funcțiune și astăzi, a fost realizat în anul 1706 în China, având cca. 100 m deschidere, fiind alcătuit din noua lanțuri cu zale de fier, din bare sudate la foc de mangal prin ciocănire. [1]

Revoluția industrială, începută în secolul al XVIII-lea, a condus la creșterea intensivă a producției de metal și la perfecționarea metodelor de elaborare. Dacă în anul 1740 se produceau abia 17 400 tone de fontă, în 1834 se ajunsese la 700 000 tone, iar în 1876 la cca. 6 milioane tone.

Podurile din fontă, în special cele în arc, permiteau să se acopere deschideri destul de mari cu înălțimi de construcție relativ mici. Podurile din fontă n-au dat însă rezultatele scontate deoarece utilizarea acestui material necesita lucrări complicate și un cost ridicat. În plus, fonta este casantă, cu rezistențe mici la întindere, producându-se multe accidente, ceea ce a făcut ca după o perioadă să fie interzisă la construcția podurilor.

Sistemul de poduri de la Cernavodă este o adevărată operă de artă inginerescă, cea mai grandioasă de acest fel din Europa continentală la ora construirii sale și încă multă vreme după aceea, construit în întregime de ingineri români, rămâne cel mai important simbol al ingineriei românești din perioada de început.[1]

Sistemul cuprinde două poduri principale, cu deschideri între 140 și 190 metri și cu o înălțime liberă de 30 de metri, precum și o serie de alte lucrări. Dintre numeroasele soluții absolut

originale care au fost aplicate cu succes la realizarea podului de la Cernavodă, poate fi amintită folosirea, în premieră mondială la astfel de lucrări, a oțelului moale – fapt ce a contribuit la durabilitatea acestei lucrări, dovedită timp de 100 de ani.

Podul de la Cernavodă a fost, la acea vreme, cel mai lung pod din Europa și unul dintre principalele poduri metalice cu deschidere mare din lume având o deschidere de 4.088 m între malul stâng și cel drept al văii Dunării.[1]



Fig. 1.1 Podul de la Fetești-Cernavodă peste Dunăre proiectat de inginerul român Anghel Saligny [1]

De asemenea podul peste râul Doftana este printre primele construcții metalice de poduri de la vremea aceea.



Fig. 1.2 Podul peste râul Doftana [1]



Fig. 1.3 Podul de la Moșoare peste râul Trotuș – Târgu Ocna [1]



Fig. 1.4 Podul din Onești peste râul Trotuș proiectat de inginerul român Anghel Saligny [1]

În această perioadă a fost finalizat „Podul prieteniei” peste Dunăre, care unește Giurgiu de Ruse, Podul a fost construit pentru trafic mixt: în partea inferioară are o cale ferată simplă, iar la partea superioară are o șosea cu două benzi de circulație.

Suprastructura are 37 deschideri și este simetrică față de deschiderea centrală de 86 m. Lungimea totală a podului este de 2223,52m. Toate tablierele sunt metalice nituite (cele mici, din grinzi cu inimă plină, iar cele mari, din grinzi cu zăbrele cu tălpi paralele). Tablierele podului propriu-zis sunt comune pentru calea ferată și șosea, în timp ce tablierele viaductelor de acces sunt separate pentru fiecare cale. Cele patru tabliere de 80 m, precum și cele două de 160 m, sunt grinzi continue pe câte două deschideri. [1]. Construcția a durat doi ani și trei luni și a fost dată în exploatare la data de 20 iunie 1954, când s-a și inaugurat.



Fig. 1.5 Podul Prieteniei, Giurgiu –Ruse [1]



Fig. 1.6 Podul Prieteniei, Giurgiu –Ruse, dat în exploatare la data de 20 iunie 1954 [1]

Cel mai mare proiect de infrastructură rutieră după 1989 pentru România este construirea podului suspendat peste Dunăre, care, odată terminat, va fi cel mai lung din România și al treilea din Europa după lungimea segmentului central.

Podul de la Brăila este cel mai lung pod suspendat aflat în construcție din lume la acest moment. De asemenea acesta reprezintă o construcție de importanță strategică pentru țară, fiind co-finanțat de Uniunea Europeană. Podul va avea o lungime de 1.974,3 m, cu o deschidere centrală de 1.120 m și deschideri laterale de 489,65 m și 364,65 m, o lățime totală de 31 m, din care 22 m vor fi calea de rulare. Cu o valoare e 1,99 miliarde e lei, fără TVA, acesta cuprinde 12 luni de proiectare, 36 luni de execuție și o perioadă de garanție a lucrărilor de 120 luni.

După construirea sa la kilometrul 165 + 800 al fluviului, va deveni ultimul pod peste Dunăre înainte de vărsarea acesteia în Marea Neagră. [1]



Fig.1.7 Podul peste Dunăre de la Brăila – 2019 [1]

Combinatul Siderurgic Liberty Galați furnizează oțel pentru cel mai important proiect regional de dezvoltare a infrastructurii - podul peste Dunăre de la Brăila.

Tabla groasă este folosită la confecționarea segmentelor tablierului podului, operațiune care se desfășoară la Șantierul Naval Vard din Brăila.



Fig.1.8 Podul Osman Gazi care traversează Golful Izmit – 2016 [1]

Tabla groasă produsă la Combinatul siderurgic de la Galați a fost folosită și la construcția Podului "Osman Gazi", inaugurat în 2016, care traversează Golful Izmit. La mai mult de 2.620 de metri lungime, este considerat al șaselea din lume ca anvergură între stâlpii de susținere.

Podul este compus din trei segmente, cel central fiind cel mai lung, de peste 1.500 de metri. Construcția a început în 2013 și a durat 39 de luni.

Drumul dintre orașele Istanbul și Izmir s-a scurtat astfel cu aproximativ 140 de kilometri.

1.2. Noțiuni despre poduri

1.2.1. Clasificarea podurilor și denumirea acestora

Definiția podului așa cum apare în standardul EN 1998-2, 2005 este următoarea:

- Pod – Construcție care susține o cale de transport deasupra unui obstacol, lăsând un spațiu liber pentru asigurarea continuității obstacolului traversat.[2]

În multe din cazuri acest obstacol nu este neapărat un râu, fluviu, etc., poate fi o altă cale de comunicație și în cazul acesta, podurile se clasifică în:

- Pasaj inferior – Pod de cale ferată care traversează o șosea.[2]
- Pasaj superior – Pod de șosea care traversează o cale ferată. [2]
- Pod de încrucișare – Pod care asigură încrucișarea la niveluri diferite a două sau mai multor căi de comunicație de același fel [2] sau poate fi o vale, caz în care podurile poartă denumirea de viaduct și se clasifică în:
- Viaduct – pod care traversează o vale adâncă, înlocuind un rambleu. [2]



Fig 1.9. Primele lucrări la viaductul Combinatului Siderurgic Galați, anul 1968, Galați [1]

- Pod estacadă – pod având rolul de a ridica o cale de transport deasupra unei zone de teren amenajată. [2]

La o trecere în revistă a unei clasificări a podurilor în funcție de deschiderea acestora așa cum îl prevede Standardul EN 1998-2, 2005, pentru ca mai apoi să delimităm și tipurile de soluții constructive în funcție de aceste deschideri, podurile pot fi:

- Podețe – pod cu deschidere sau suma deschiderilor sub 5 m.
- Pod mic – pod a cărui deschidere este de 5 – 20 m.
- Pod mijlociu – Pod a cărui deschidere maximă este de 21 – 50 m.
- Pod mare – Pod a cărui deschidere maximă este de 51 – 100 m
- Pod foarte mare – Pod având cel puțin o deschidere de peste 100 m

În funcție de modul de alcătuire a suprastructurii, podurile se clasifică în: [2]

- Pod cu grinzi – Pod la care elementele principale de rezistență ale suprastructurii sunt grinzi. Grinzile simplu rezemate se utilizează pentru deschideri mici, până la 25 m, în timp ce grinziile continue se utilizează pentru deschideri medii și mari între 20 – 100 m.
- Pod cu grinzi din beton. Pentru podurile de cale ferată se diferențiază două tipuri de poduri cu suprastructura alcătuită din grinzi de beton:
 - Cu secțiune deschisă – între 10-30m deschidere;
 - Cu secțiune casetată – până la 50m deschidere;
- Pod metalic cu grinzi cu inimă plină – deschideri de 30-50m pentru poduri de cale ferată.
- Pod cu grinzi cu zăbrele – în cazul podurilor de cale ferată se utilizează pentru deschideri mijlocii, mari și foarte mari, între 40 – 300 m.
- Pod cu grinzi mixte cu conlucrare – deschideri de 30 – 40 m în cazul podurilor de cale ferată.
- Pod boltit – pod al cărui element principal de rezistență este bolta;
- Pod în arc – pod al cărui element principal de rezistență este arcul.
Deschiderile maxime sunt de 300m pentru podurile în arc din beton, respectiv de 550-600m pentru podurile în arc din metal.
- Pod în cadru – pod al cărui element principal de rezistență este cadru.
- Pod suspendat – pod al cărui elemente principale de rezistență sunt cablurile sau lanțurile, tablierul fiind suspendat de ele prin intermediul tiranților.
Deschiderile pentru aceste tipuri de poduri pot atinge valori de 1000-2000m.
- Pod hobanat – pod al cărui tablier este susținut de cabluri rectilinii oblice. Aceste tipuri de poduri pot deservi deschideri de până la 900m. [2]

1.3. Definiții și nomenclatura elementelor constructive

Un pod se compune din două părți principale:

- Suprastructura
- Infrastructura

I. Suprastructura podului este acel element care conține calea și structura ce reprezintă principalul element de rezistență (dala cu secțiune compusă oțel-beton). Suprastructura unui pod poate fi împărțită pe mai multe travee. [2]

În general ea cuprinde:

- **Calea propriu-zisă**
Asigură posibilitatea circulației vehiculelor sau a pietonilor pe pod.
- **Elemente principale de rezistență**
Realizează spațiul liber sub pod și preiau solicitările dominante. Pot fi: dale, grinzi, bolți, arce, cadre, cabluri. [2]
- **Platelajul**
Este format dintr-un ansamblu de elemente care asigură susținerea căii și transmiterea încercărilor produse de vehicule, pietoni, la elementele principale de rezistență. Poate fi realizat cu plăci; rețele de grinzi secundare transversale podului (antretoaze) și

longitudinale acestuia (longeronii); plăci ortotrope metalice (plăci metalice cu niveluri longitudinale și transversale sudate). [2]

- **Elemente de legătură între elementele principale de rezistență**
Preiau acțiunile longitudinale și transversale podului și le transmit elementelor principale de rezistență (EPR). Împreună cu platelajul asigură conlucrarea între EPR și repartiția în sens transversal a încărcărilor produse de vehicule și pietoni. Pot fi: contravânturi longitudinale sau transversale, șaibe, diafragme. [2]
- **Dispozitive de legătură între pod și terasamente sau între două părți ale suprastructurii (dispozitive de acoperire a rosturilor de dilatație)**
Asigură continuitatea căii și deformarea liberă a suprastructurii.[2]
- **Aparate de reazem**
Realizarea transmiterea încărcărilor de la suprastructura la infrastructura cu asigurarea mobilității, conform schemei statice. [2]

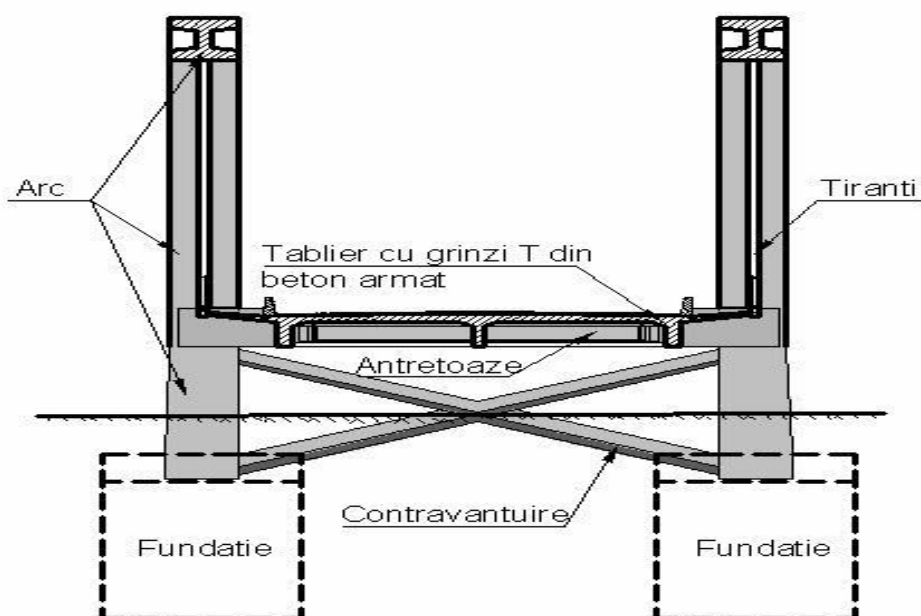


Fig. 1.10. Elemente constructive ale unui pod [2]

- II. Infrastructura** este partea componentă a podului care susține suprastructura și preia solicitările din suprastructură transmise prin intermediul sistemului de rezemare și le transmite mai departe la terenul de fundare. [2]
- **Culei**
Sunt elementele de rezemare de la extremitățile podului, având în plus și rolul de ziduri de sprijin pentru terasamentele din spatele ei (împiedică surparea acestora către spațiul liber de sub pod). De asemenea asigură și racordarea terasamentelor la pod prin construcții speciale: sferturi de con sau aripi. Se construiesc de obicei din beton. [2]

- **Pile**

Sunt elemente intermediare de rezemare ale podurilor. Se execută din lemn, zidărie, beton și metal.

Elementele intermediare de rezemare ale unui pod, realizate în lemn sau metal se numesc **palei** (palee). [2]

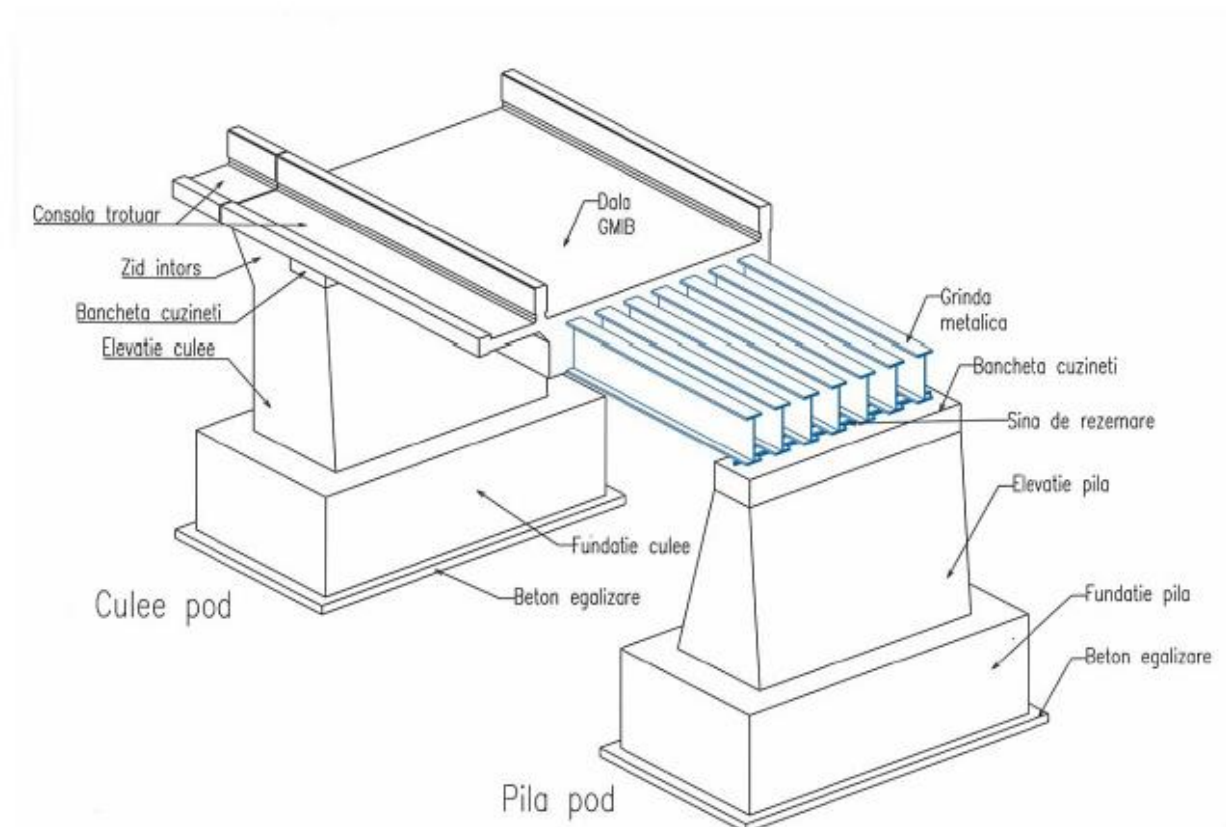


Fig. 1.11. Elemente constructive ale unui pod structură mixtă oțel-beton tip grinzi înglobate [2]

1.4. Concluzii

În primul capitol al lucrării de disertație a fost prezentată evoluția podurilor de-a lungul timpurilor dar și impactul metalului în construcții, acesta evidențiindu-se ca un material cu posibilități nebănuite în construcția de poduri.

Au fost clasificate podurile în funcție de destinație, deschidere și înălțime. Am continuat cu nomenclatura elementelor constructive și descrierea acestora.

Capitolul 2.

CARACTERIZAREA OȚELURILOR CORTEN UTILIZATE LA FABRICAREA PODURILOR: S355 J2 C+N ȘI S355 J2 C+N

2.1. Oțelul structural

Oțelul structural este un material de înaltă calitate, care este disponibil la nivel mondial în clase standardizate, sub forma unor produse de diferite forme și mărimi.

2.1.1. Sistemul de notare. Oțeluri pentru construcții

La alegerea oțelurilor pentru construcții se va ține cont de seria de standarde EN 10025-1.6 care reglementează condițiile tehnice de livrare pentru diferitele tipuri de oțeluri după cum urmează: [3]

- ✚ SR EN 10025-1:2019 – Produse laminate la cald din oțeluri pentru construcții.
Partea 1: Condiții tehnice generale de livrare
- ✚ SR EN 10025-2:2019 – Produse laminate la cald din oțeluri de construcții.
Partea 2: Condiții tehnice de livrare pentru oțeluri de construcții nealiat
- ✚ SR EN 10025-3:2019 - Produse laminate la cald din oțeluri de construcții. Partea 3: Condiții tehnice de livrare pentru oțeluri de construcții sudabile cu granulație fină în stare normalizată/laminare normalizată
- ✚ SR EN 10025-4:2019 - Produse laminate la cald din oțeluri de construcții. Partea 4: Condiții tehnice de livrare pentru oțeluri de construcții sudabile cu granulație fină obținute prin laminare termomecanică
- ✚ SR EN 10025-5:2019 - Produse laminate la cald din oțeluri pentru construcții. Partea 5: Condiții tehnice de livrare pentru oțeluri de construcții cu rezistență îmbunătățită la coroziunea atmosferică
- ✚ SR EN 10025-6:2019 - Produse laminate la cald din oțeluri pentru construcții. Partea 6: Condiții tehnice de livrare pentru produse plate din oțel cu limită de curgere ridicată în stare caldă și revenită [3]

Sistemul de notare a oțelului structural (S) folosit în construcții include următoarele simboluri [3]:

- Numărul standardului prin care este definit;
- Simbolul S – oțel structural;

- Valoarea minimă specificată a limitei de curgere ($f_z = R_{eh}$) în MPa pentru grosimea de 16 mm;
- Simbol ce precizează energia de rupere la încovoiere prin șoc (J, K, L)
 - ✓ J – 27 Joule
 - ✓ K – 40 Joule
 - ✓ L – 50 Joule
- Simbol alfanumeric care indică temperatura la care se garantează energia de rupere
 - ✓ R – pentru temperatura de 20°C
 - ✓ 0 – pentru temperatura de $\pm 0^\circ\text{C}$
 - ✓ 2 – pentru temperatura de -20°C
- Simbol care precizează starea de livrare:
 - ✓ AR – livrat în condiții de laminare
 - ✓ M – laminare termomecanică
 - ✓ N – normalizat prin tratament termic sau normalizat prin laminare
 - ✓ Q – îmbunătățit
- Sisteme de simboluri speciale:
 - ✓ C- pentru oțeluri prelucrate la rece
 - ✓ L – pentru oțeluri cu tenacitate ridicată la temperaturi joase
 - ✓ W – pentru oțeluri rezistente la mediul coroziv
 - ✓ Z – pentru oțeluri cu proprietăți îmbunătățite la destrămarea lamelară (normale pe suprafață).

2.2. Caracteristici și calități de oțeluri pentru construcții

Tabel 2.1. Standard și marcă de oțel pentru construcții [3]

Standard și marcă de oțel			Grosimile nominale ale elementului t (mm)	
t ≤ 40 mm			40 mm < t ≤ 80 mm	
Limita de curgere Re (MPa)	Rezistența la tracțiune Rm (MPa)		Limita de curgere Re (MPa)	Rezistența la tracțiune Rm (MPa)
SR EN 10025-2 – Oțeluri de construcții nealiate				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	450	550	410	550
SR EN 10025-3 – Oțeluri de construcții sudabile cu granulație fină în stare normalizată				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
SR EN 10025-4 – Oțeluri de construcții sudabile cu granulație fină obținute prin laminare termomecanică				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450

S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
SR EN 10025-5 – Oțeluri de construcții cu rezistență îmbunătățită la coroziunea atmosferică				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
SR EN 10025-6 – Produse plate din oțel cu limită de curgere ridicată în stare caldă și revenită				
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	550
SR EN 10210-1 – Produse cave finisate la cald pentru construcții, din oțeluri de construcție nealiat și cu granulație fină.				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550

2.3. Materiale folosite la execuția tablierelor metalice sudate

Oțelurile pentru structurile sudate de poduri se aleg din categoria celor de uz general pentru construcții EN 10025-5: 2019, având compoziția chimică, caracteristicile mecanice și tehnologice îmbunătățite, în sensul creșterii proprietăților de sudabilitate a materialului. [3]

Îmbunătățirile se referă, în principal, la limitarea conținutului de sulf, pe produs, la 0,030% pentru S235 JR și la 0,020% pentru S355 J2, față de 0,045% din EN 10025-5: 2019. [3]

Dacă nu se convine pentru alta metoda, tablele cu grosimi de 8 - 50 mm se controlează ultrasonic pe un caroiaj de 200 x 200 mm conform EN 10025-5: 2019. Verificarea calității se face pe loturi din același fel de produse laminate, provenite din aceeași șarja de elaborare și din aceeași clasa de calitate, mărimea lotului fiind de maximum 15 tone. [3]



Fig. 2.1 Brame din oțel S355 J2 C+N

2.3.1. Oțelul corten S355 J2 C+N

Oțelul Corten este cunoscut și sub denumirea de Weathering Steel este întâlnit mai des în aplicații nevopsite pentru poduri, stâlpi de utilitate și semne, structuri și balustrade pentru autostrăzi. Proprietățile acestui material fac ca acest oțel să fie deosebit de util pentru aplicații în care rezistența, ușurința de fabricație și aspectul sunt primordiale.



Fig.2.2. Aplicații ale oțelului corten [6]

2.3.2. Caracterizarea chimică a materialului S355 EN 10025–2

Oțelurile utilizate la realizarea structurilor sudate pentru poduri, au recomandări din specificația EN 10025–2/2019 oferă standarde pentru lucrările de construcție, compoziția chimică prezentată în tabelul 1.1. EN 10025 este standardul care se referă la oțelul pentru structuri sudate. Aceste oțeluri au structura ferito-perlitică tipică oțelurilor nealiate, sau slab aliate hipoeutectoide. [3].

Tabel 2.2. Compoziția chimică a oțelurilor utilizate la poduri EN 10025–2 [3]

Marcă	C % max	Si % max	Mn %	P % max	S% max	N % max	Cr %	Cu %	CEV % max	
Oțel										
S235 JOW	0,13	0,40	0,20-0,60	0,035	0,035	0,012	0.40-0,80	0,25- 0,55	0,44	
S235 J2W					0,030	-				
S355JOWP	0,12	0,75	1,0	0,06 –0,15	0,035	0,012	0,30-1,25	0,25-0,55	0,52	
S355J2WP					0,030	-				
S355J0W	0,16	0,50	0,50-1,50	0,035	0,035	0,012	0,40-0,80	0,25-0,55	0,52	
S355J2W				0,030	0,030	-				
S355K2W										
S355J4W					0,025					

S355J5W									
S420J0W	0,20	0,65	0,50-1,35	0,035	0,035	0,025	0,40-0,80	0,25-0,55	0,52
S420J2W				0,30	0,030				
S420K2W					0,025				
S420J4W									
S420J5W									
S460J0W	0,20	0,65	1,40	0,035	0,035	0,025	0,40-0,80	0,25-0,55	0,52
S460J2W				0,030	0,030				
S460K2W					0,025				
S460J4W									
S460J5W									

2.3.3. Caracterizarea mecanică a materialului de bază S355 EN 10025–2

Corespunzător standardului EN 10025–2, proprietățile mecanice sunt guvernate de conceptele de bază ale elasticității, plasticității și tenacității.

Elasticitatea este capacitatea unui metal de a suferi o deformare temporară. De îndată ce încărcătura care a provocat această deformare este îndepărtată, metalul revine la forma sa originală.

Plasticitatea, sau ductilitatea, este abilitatea de a suferi o deformare permanentă fără eșec.

Această proprietate este utilizată în formarea metalică pentru a modifica permanent forma. Scopul testării mecanice este de a evalua comportamentul unui material atunci când este supus unei sarcini mecanice. [3]

Elasticitatea și plasticitatea pot fi definite din rezultatele încercărilor la tracțiune și măsurători ale durității.

Caracteristicile mecanice ale oțelului S355J2+N EN 10025–2 sunt date în (tabel 2.3.).

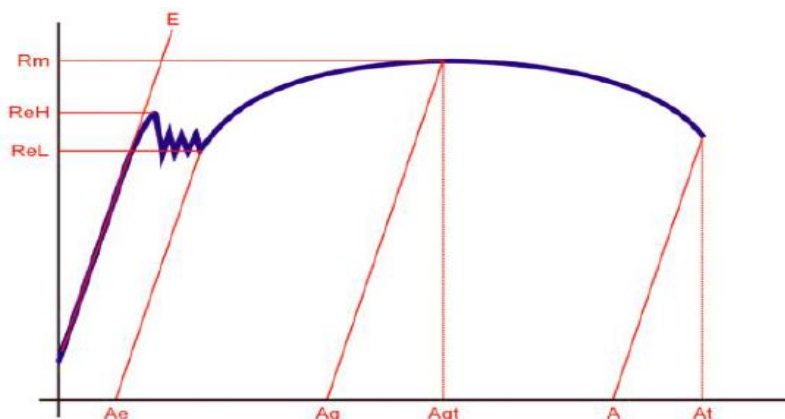


Fig. 2.3 Laminarea oțelului S355J2+N

Tabel 2.3. Caracteristicile mecanice ale oțelurilor corten în funcție de grosime EN 10025–2 [3]

Marcă	Limita de curgere						Rezistența la rupere			Procentul minim al elongației după încercări [%]										
	Rc [MPa]						Rm [MPa]													
	Grosime									Lo = 80mm			Lo=5,65√So							
	≤16	≥16	>40	>63	>80	>100	<3	≥3	≥100	>1.5	>2	≤2.5	≥3	>40	>63	>100				
Oțel		≤40	≤63	≤80	≤100	≤150		≤100	≤150	≤2	≤2.5	<3	≤40	≤63	≤100	≤150				
S235 J0W	235	225	215	215	215	195	360-510		350	19	20	21	26	25	24	22				
S235 J2W									500	17	18	19	24	23	22					
S355J0WP	355	345	-	-	-	-	510	470	-	16	17	18	22	-						
S355J2WP							680	630		14	15	16	10							
S355J0W	355	345	335	325	315	295	520	470	450	16	17	18	22	21	20	18				
S355J2W																				
S355K2W																				
S355J4W																				
S355J5W																				
S420J0W	420	400	390	380	370	365	520	500	460	15			19	18	17	16				
S420J2W																				
S420K2W										13							17	16	15	14
S420J4W																				
S420J5W																				
S460J0W	460	440	430	410	400	385	540	530	490	14			17	16	15	14				
S460J2W																				
S460K2W										12							15	14	13	12
S460J4W																				
S460J5W																				

Curba caracteristică a oțelului:



Unde:

- E - modulul de elasticitate
- Ae - alungirea la curgere
- Ag - alungirea plastică la forța maximă
- Agt - alungirea totală la forța maximă
- A - alungirea la rupere
- At - alungirea totală la rupere
- Rel - limita de curgere inferioară
- ReH - limita de curgere superioară
- Rm - rezistența la tracțiune

Tabel 2.4. Testul la impact KV în funcție de temperatură [3]

Marcă	Temperatură	Energie minimă
Oțel	[°C]	KV ₂ [J]
S235 J0W	0	27
S235 J2W	-20	27
S355J0WP	0	27
S355J2WP	-20	27
S355J0W	0	27
S355J2W	-20	27
S355K2W	-20	40
S355J4W	-40	27
S355J5W	-50	27
S420J0W	0	27
S420J2W	-20	27
S420K2W	-20	40
S420J4W	-40	27
S420J5W	-50	27
S460J0W	0	27
S460J2W	-20	27
S460K2W	-20	40
S460J4W	-40	27
S460J5W	-50	27

2.4. Procedee de testare a rezistenței mecanice a oțelului S355 J2 C+N

Proprietățile mecanice au rolul de a stabili comportamentul materialelor de construcție sub sarcini mecanice. Aceste proprietăți sunt cauzate de forțele de legătură interatomică ale materialelor care formează materialul. În plus, structura internă a materialului are un efect asupra acestui aspect. Ca atare, este posibilă obținerea de proprietăți mecanice diferite din același material, de exemplu prin modificarea structurii interne a unui material metalic. [4]

2.4.1. Testul la tracțiune

Testarea la tracțiune, cunoscută și sub denumirea de testare a tensiunii, implică supunerea unui eșantion metalic la o încărcare lentă, în creștere treptată, pentru a permite stabilirea echilibrului între sarcina impusă și tulpina indusă. Testul cuprinde de obicei două mărci de referință, distanțate inițial la o distanță L_0 , cunoscute ca lungime inițială a gabaritului. [6]

Mașinile moderne de testare înregistrează în mod constant lungimea gabaritului în funcție de sarcina aplicată și trasează direct o curbă care reprezintă variația tulpinii $\frac{L-L_0}{L_0}$ cu stres (sarcină per zona unității) $\frac{F}{S_0}$. [8],[6]

Proprietățile care sunt măsurate în mod direct printr-un test de tracțiune sunt rezistența maximă la tracțiune, rezistența la rupere și alungirea. Din aceste măsurători pot fi, de asemenea, determinate următoarele proprietăți: [8]

- modulul Young ,
- coeficientul lui Poisson , .

Încercarea la tracțiune uniaxială este cea mai frecvent utilizată pentru obținerea caracteristicilor mecanice ale materialelor izotrope. Principala diferență între aceste mașini de testare este modul în care se aplică sarcina pe materiale. [8]

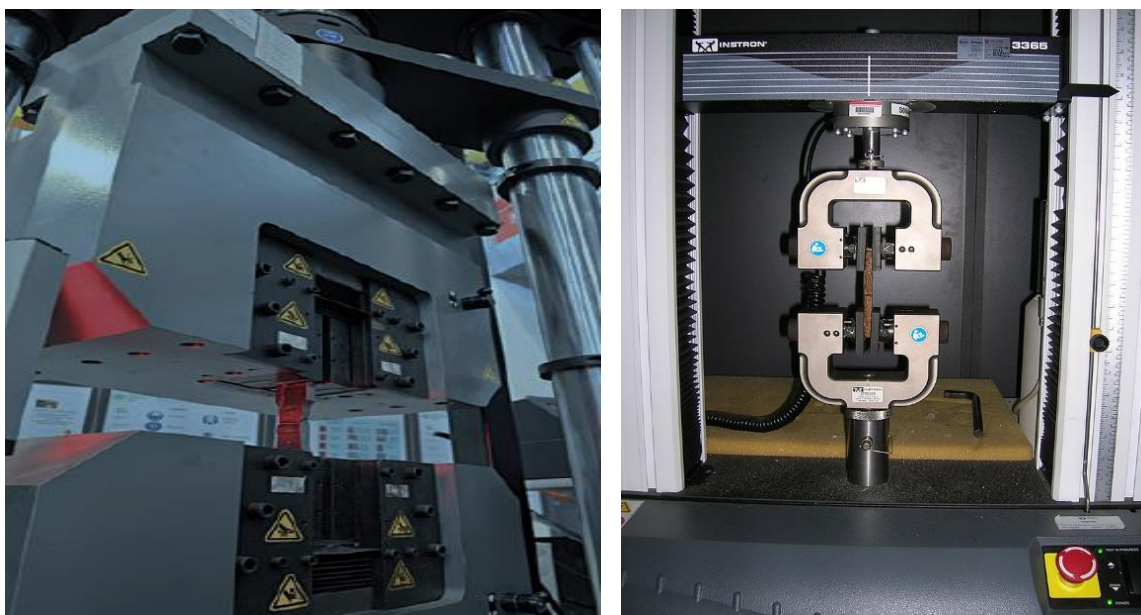


Fig.2.4. Echipament pentru încercarea la tracțiune [8]

Proprietăți mecanice

Următoarea curbă ilustrează deformarea probei în timpul încercării. [4]

- **Re** = limita de curgere în MPa sau N/ mm², (punctul A din diagramă);

- **R_m** = rezistența la rupere, în MPa sau N / mm² (punctul B din diagramă);
- **A%** = alungirea totală la rupere, în% (punctul C din diagrama, modelul 4).

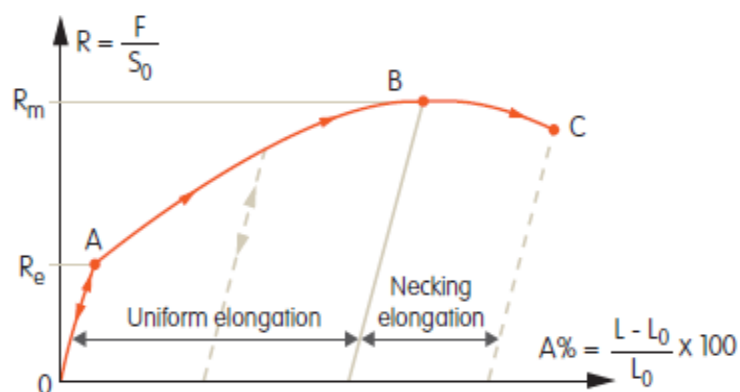


Fig. 2.5. Diagrama Re și Rm în funcție de alungire [9]

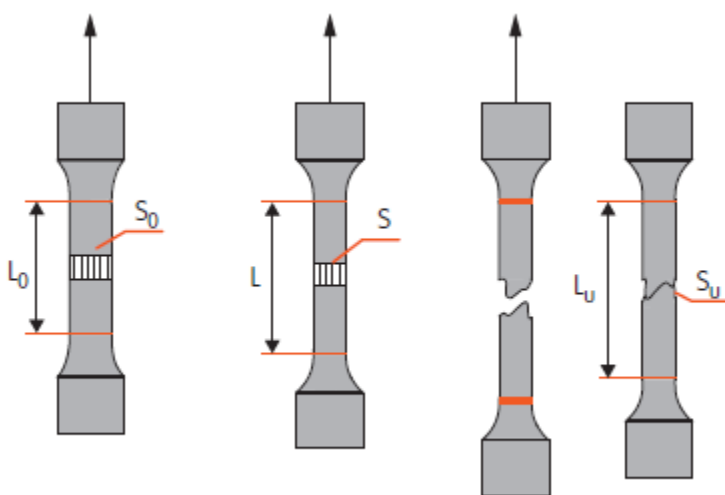


Fig. 2.6. Zonele de deformare ale probelor [9]

Unde:

S₀ - Zona inițială a lungimii probei

S - Zona în timpul încercării

S_U - Zona finală

L_U - Lungimea finală

Pe această curbă pot fi observate trei puncte particulare și sunt marcate A, B și C.

- Între originea 0 și A, alungirea specimenului este proporțională cu forța. Dacă tensiunea este înlăturată, alungirea revine la 0. Segmentul de linie 0A corespunde astfel regiunii elastice (proba1).

- Între A și B, deformarea este răspândită în mod uniform (proba 2). Dacă tensiunea este eliberată, proba nu mai revine la lungimea sa inițială. Aceasta este regiunea plastică..
- Între B și C (proba 3), deformarea devine localizată („gât”), ceea ce duce la rupere în punctul C.

În diagrama de mai jos am prezentat aceiași situație a etapelor procesului de deformare a epruvetelor la încercarea la tracțiune.[4]

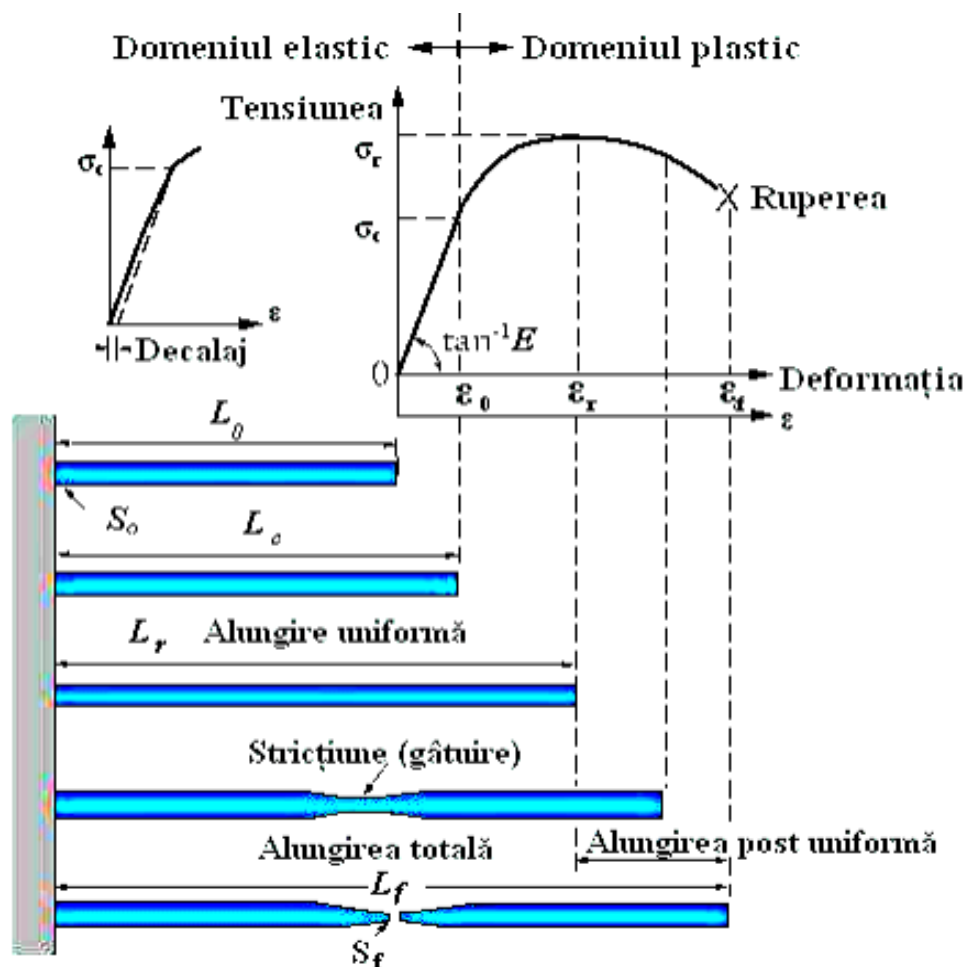


Fig. 2.7. Etapele procesului de deformare a epruvetelor la încercarea la tracțiune [6]

Raportând diferența dintre secțiunea inițială S_0 și finală S_f , la secțiunea inițială S_0 , se obține gâtuirea la rupere Z , reprezentând valoarea contracției relative în zona ruperii.

$$Z = [(S_0 - S_f) / S_0] \cdot 100 [\%]$$

Tipurile uzuale de epruvete utilizate pentru încercarea la tracțiune, pentru produsele plate și pentru cele rotunde, se prezintă în figura 2.6.

Efortul unitar se exprimă prin raportul dintre forța F la o anumită solicitare și secțiunea inițială S_0 $\sigma = F / S_0$ [daN/mm²]

Conform legii lui Hook, a cărei expresie grafică este prezentată în fig. 2.5. [3]

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \text{ și cum } \sigma = F / S_0, \text{ iar } \varepsilon = \Delta L / L_0$$

$$\begin{aligned} \text{rezultă:} & \quad F / S_o = E * L_0 / \Delta L \\ \text{sau:} & \quad E = F * \Delta L / S_o L_o \end{aligned}$$

Unde: E este modulul de elasticitate.

2.4.2. Testul de duritate

Scala Rockwell este o scală de duritate utilizată în marcarea durității materialelor metalice și este bazată pe identificarea durității de material. Este folosită de preferință pentru materiale foarte dure, a căror duritate este $D > 200$ pe scala Brinell.[3]

Testele de identificare a durității Rockwell se fac prin determinarea adâncimii unei penetrații făcute cu o anumită forță în probe materiale metalice de corpuri penetrante profilate (sferă, con) dure, raportate la profunzimea unei penetrații (mai mici) făcute cu o forță de penetrare inițiale. Metoda a fost folosită practic pentru prima dată de americanii H.M. Rockwell și S.P. Rockwell care în 1914 au inventat o mașină de testare pe principiu diferențial. [3]

Descrierea testelor:

În general, se folosesc două tipuri de corpuri, fie o bilă, fie un corp conic. Aceste două geometrii formează baza celor două mari categorii de teste, în cadrul cărora dimensiunea corpului și sarcina aplicată poate varia.

- Corp cu bile: Rockwell (scale B, E și K), Rockwell de suprafață (scara T), teste Brinell
- Corp conic: teste Vickers, Rockwell (scale A, C și D), teste Rockwell (scala N) de suprafață.[3]

2.4.2.1. Test Rockwell

Testul de identificare a durității Rockwell, este unul dintre cele mai utilizate, se apasă o bilă de oțel călit cu diametrul de 1,6 mm în foaie sub o sarcină F_1 de 100 daN (HRB), după aplicarea unei preîncărcări F_0 . Cifra de duritate se citește direct pe cadranul etalonat montat pe aparatul de duritate Rockwell în intervalul de valori 25...60 HRC, se poate utiliza relația $1 \text{ HRC} \sim 10 \text{ HB}$. [4]

Se determina secvențial adâncimea urmei față de un plan de referință ales convențional.

O testare presupune 3 faze:[4]

1. Aplicarea unei forțe inițiale F_i de 98 N (10 kgf). Corpul penetrant face o penetrație (adâncitură) inițială care este luată în considerare corespunzător în formula de calcul a durității (HR, duritate Rockwell în engleză Hardness Rockwell).
2. Este aplicată o forță suplimentară F_r , semnificativ mai mare, făcându-se o adâncitură mai profundă.
3. Este relaxată forța F_r la nivelul F_i și se citește profunzimea adânciturii finale cu ajutorul unui indicator de penetrare. [4]

Rezistența la oboseală este definită prin limita de oboseală, adică tensiunea maximă σ pe care poate s-o suporte un material la N cicluri fără să se rupă. [4]

Dintre caracteristicile mecanice cele mai importante sunt:

- rezistența la rupere;
- limita de curgere;
- alungirea;

- gâtuirea;
- modulul de elasticitate.

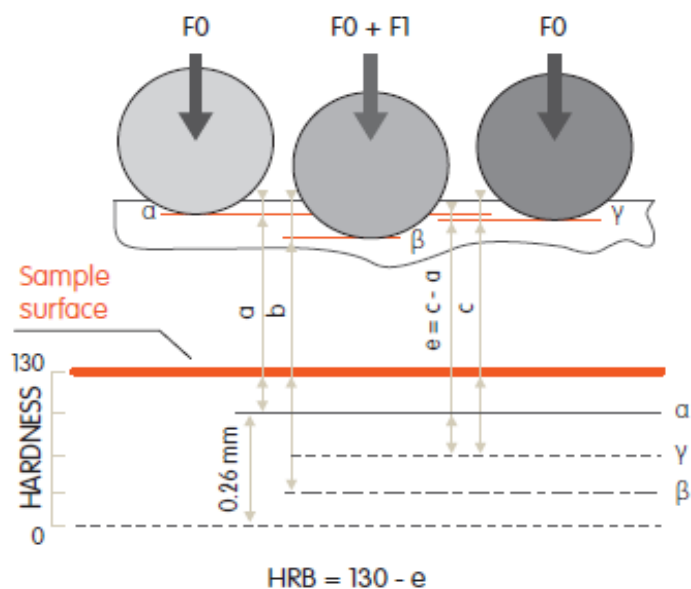


Fig. 2.8. Test Rockwell cu bile [4]

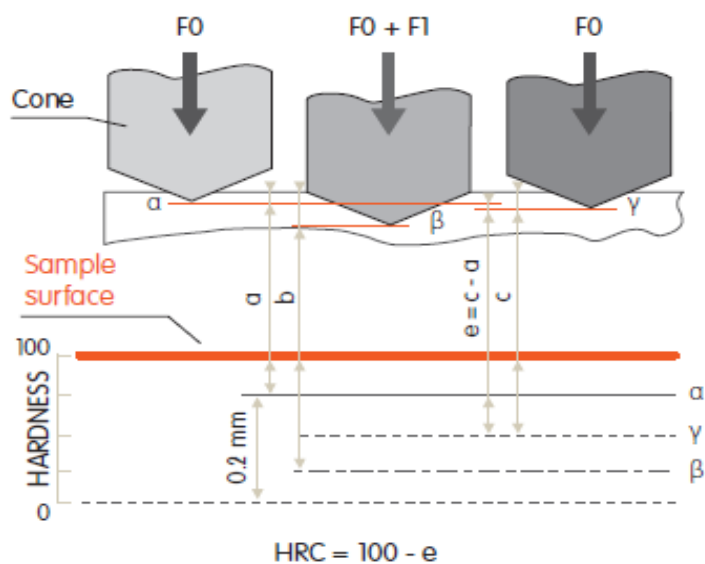


Fig. 2.9. Test Rockwell cu corp conic [5]

2.4.2.2. Testul Vickers

Testul Vickers simbolizat HV la care penetratorul este o piramida patrulatera cu unghiul la vârf de 136° . Sarcina aplicată poate varia de la 5 la 100 kgf. Se exprima similar, dar secțiunea urmei depinde de unghi: [4]

$$S = d^2/2 \sin(136^\circ/2)$$

$$HV = F / S$$

$$HV = (2F \sin 136^\circ/2) / d^2 = 1,8544 F / d^2$$

Unde:

d - este lungimea diagonalei amprentei (măsurată cu ajutorul microscopului).

În funcție de mărimea sarcinii, la determinarea durității Vickers se disting trei domenii:

1. sarcini uzuale 1000...50 N
2. sarcini mici 50...5 N
3. microsarcini < 5 N

În practică duritatea Vickers se aplică pe tipuri de constituenți ca microduritate (microsarcini). Pentru aceasta se stabilește forța care produce o urmă standard pe baza legii care arată ca diagonala d și sarcina F sunt independente: [5]

$$F = a d^n$$

unde:

a, n sunt constante de material. Empiric, 1HV ~ 1 HB.

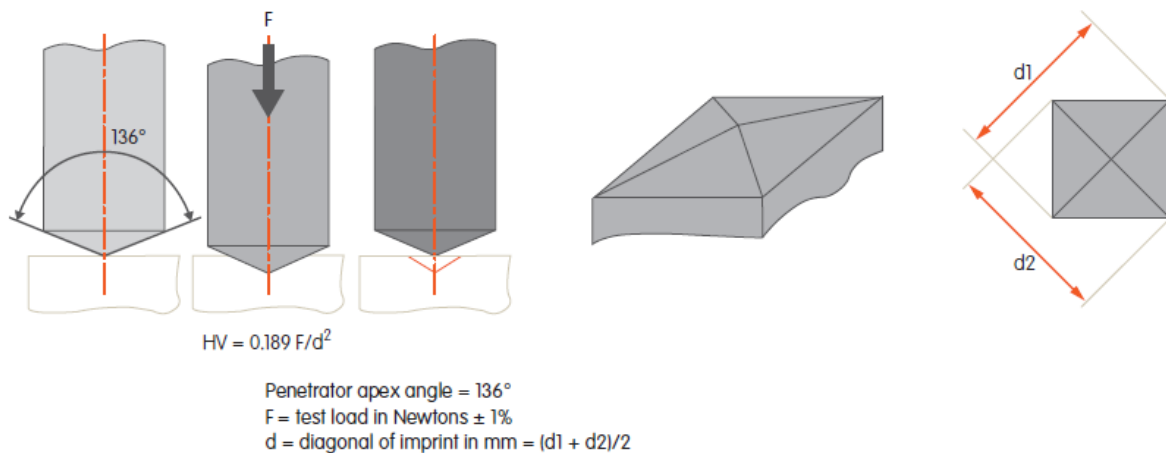


Fig. 2.10. Test Vickers [5]

2.4.3. Valorile măsurate

În funcție de test, se măsoară adâncimea sau dimensiunea indentării. Această valoare este comparată cu tabelele, caracterizând duritatea metalului.

Nu există o corelație fiabilă între duritate și proprietățile mecanice determinate într-un test la tracțiune. Acest lucru se datorează principiului măsurătorilor de duritate, care evaluează numai suprafața proprietăților materialului, în timp ce testul la tracțiune caracterizează întregul volum. [6]

2.4.4. Testul de impact Charpy - Procedura de testare

Testul de impact Charpy, cunoscut și sub denumirea de Charpy V-notch test, este

un test standardizat, care determină cantitatea de energie absorbită de un material în timpul fracturii. [5]

Încercarea constă în măsurarea energiei necesare pentru a rupe o probă în V sau în U, sprijinită în două puncte, într-o singură lovitură. Puterea de impact este energia, exprimată în joules pe cm², necesară pentru ruperea epruvetei. De obicei se măsoară la testare utilaje bazate pe un pendul în mișcare, tipul cel mai obișnuit fiind impactul Charpy tester. Deși eșantioanele standard de dimensiuni complete necesită o grosime minimă de 10 mm, există și pentru grosimi ale eșantionului > 5 mm. [5]

Este aplicat pe scară largă în industrie, deoarece este ușor de pregătit și de condus, iar rezultatele pot fi obținute rapid și ieftin. Un dezavantaj este că unele rezultate sunt doar comparative.

Astăzi este utilizat în multe industrii pentru testarea materialelor, de exemplu, construcția vaselor sub presiune și a podurilor pentru a determina modul în care furtunile vor afecta materialele utilizate.[5]

$$\text{Puterea impactului (K)} = \frac{\text{energie absorbita } W \text{ (JOULES)}}{\text{zona sub crestatura proba (cm}^2\text{)}}$$

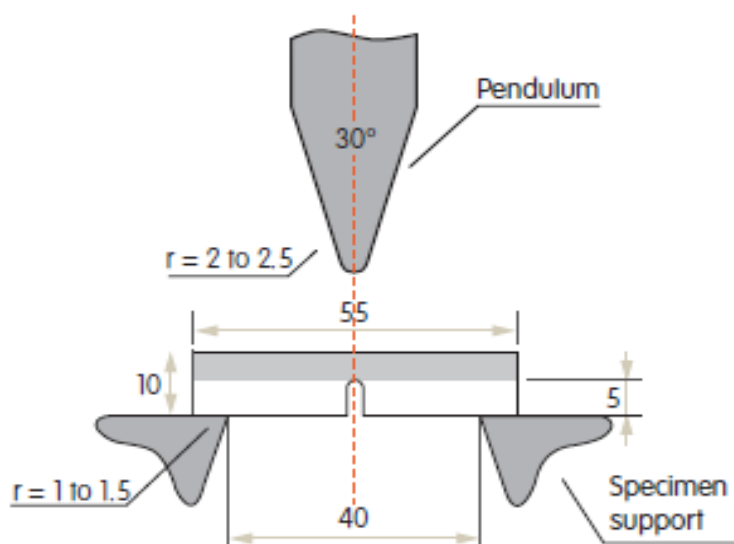


Fig. 2.11. Schema testului la impact, [mm] [3]

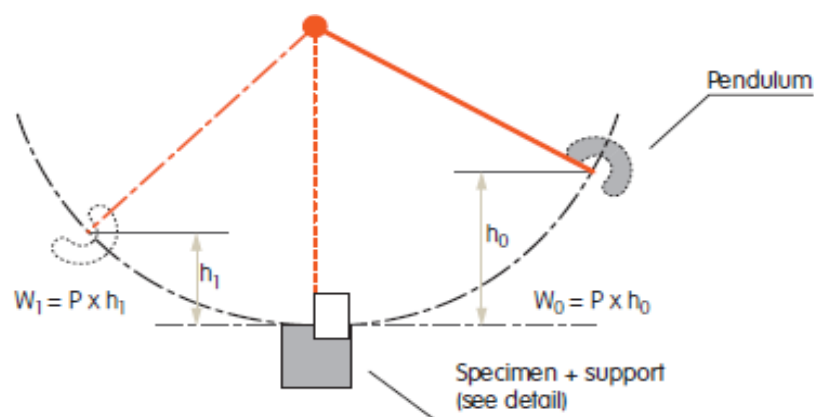


Fig. 2.12. Schema testului la impact in mm vizualizata de sus [3]

Unde:

P - este greutatea [N]

h_0 – greutate inițială [m]

h_1 – greutate finală [m]

Energia absorbita de impact: $W = W_0 - W_1$ [J]

2.4.5. Valorile măsurate pentru rezistența la impact

Rezistența la impact este, în general, măsurată la temperatura camerei, dar pentru numeroase aplicații, este necesar să cunoaștem comportamentul materialului la temperaturi scăzute sau foarte înalte. Atunci când sunt efectuate măsurători ale rezistenței la impact se fac pe același oțel la temperaturi diferite, graficul rezultat, numit curba de tranziție, are adesea forma prezentată în graficul de mai jos, cu o tranziție ductilă la fragilă la temperaturi scăzute.[6]

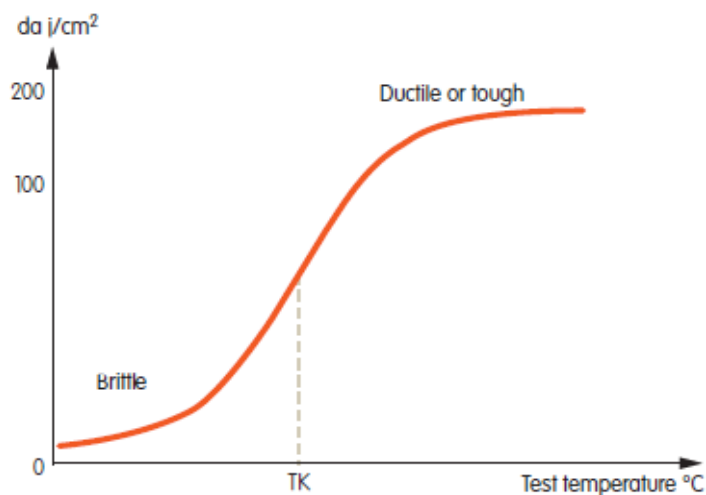


Fig. 2.13. Graficul curbei de tranziție [3]

Conform graficului curbei de tranziție, peste temperatura TK, este necesară o cantitate mare de energie pentru rupere, care apare numai după o deformare plastică extinsă. Sub TK, energia necesară este mult mai mică, iar proba se rupe fără deformare plastică semnificativă. Se spune că metalul și fractura (ruperea) sunt fragile. Temperatura TK, situată la jumătatea distanței între nivelurile ductile și fragile, se numește temperatura de tranziție. Cu cât valoarea acestuia este mai mică, cu atât materialul va fi utilizat la o temperatură mai scăzută.[6]

2.5. Sudabilitatea oțelului S355 J2 C+N în funcțiile de proprietățile mecanice

2.5.1. Regiunile structurale diferite ale unei zone afectate de căldură

Oricare ar fi procedeul de sudare, un punct sudat pe un material (unde metalul a fost încălzit, dar nu este topit) influențează zonele de căldură, iar materialul va suferi un ciclu termic la încălzire rapidă, urmată de răcire la o rată variabilă.

Ciclu termic determină structura metalurgică care se formează în punctul considerat, acest lucru este adesea diferit de cel al metalului de bază.[7]

În diagrama de mai jos am prezentat zonele afectate de căldura pentru concentrația de carbon aferentă oțelului S355J2 C+N. [8]

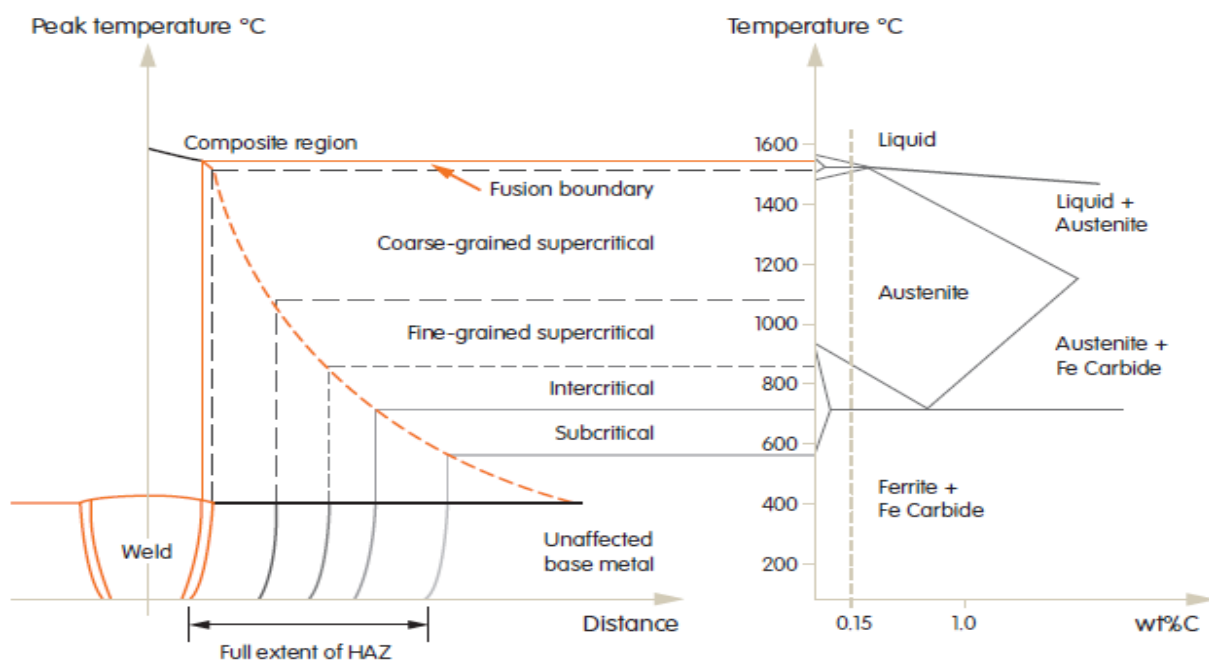


Fig. 2.14. Regiunile structurale diferite ale unei zone afectate de căldură [8]

Capacitatea unui oțel de a forma diferite produse de transformare cu duritate variabilă și fragilitate depinde de compoziția sa chimică. În special pentru zona influențată termic (ZIT), aceasta este evaluată de mijlocul valorii echivalentului de carbon (C_{eq}), care urmărește să permită, făcând astfel posibilă comparația diferitelor oțeluri. Cea mai simplă formă a C_{eq} este dată de:[7]

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

Pentru a evalua structurile metalurgice care pot fi obținute, folosind diagrama de Fe-C împreună cu temperaturile maxime θ_M atinse la distanțe diferite de sursa de căldură. [7]

Marginea zonei de fuziune este la linia de fuziune, unde tranziția dintre metalul care a fost topit și metalul care a rămas solid, corespunzând izotermei solidus. Alături de linia solidus se află zona afectată termic (ZIT), care poate fi, în general, împărțită în regiuni: [7]

- ZIT intercritic, încălzit între Ac_1 și Ac_3 și astfel parțial recrystalizat;
- ZIT-ul subcritic, unde a avut loc temperarea; [7]

Temperaturile exacte atinse care corespund acestor tranziții depind de compoziția chimică a oțelului și, în special, de cantitatea de carbon (C). [7]

De exemplu, la sudarea cu arc electric, riscul de fisurare la rece este limitat dacă duritatea nu depășește 350 HV, care corespunde unei valori C_{eq} mai mici de 0,49.

Această curbă arată variația durității oțelului (ca urmare a diferitelor faze, în acest caz martensită și bainită) ca funcție a vitezei de răcire, frecvent temperatura critică este cuprinsă între 800 și 500 ° C. [7]

2.5.2. Duritatea

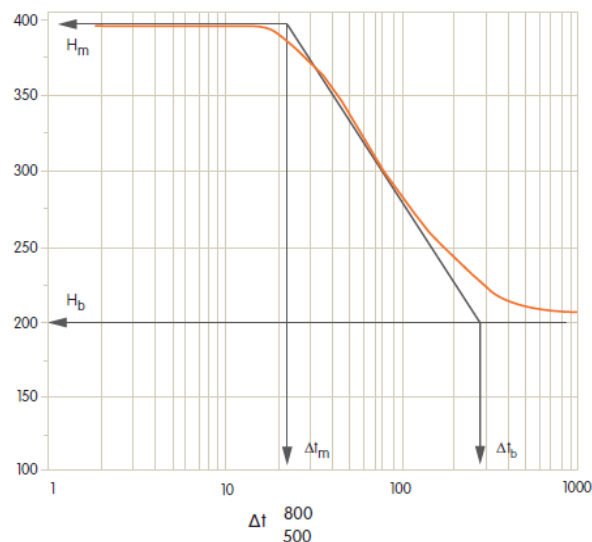


Fig. 2.15. Graficul curbei de „duritate-răcire” [8]

Unde:

H_m = duritatea martensitei

H_b = duritatea bainitei

t_m = viteza de răcire critică pentru formarea martensitei

t_b = viteza de răcire critică la tranziția la bainite / ferită

În figura 2.16 am comparat curbele de viteză de răcire a durității pentru patru tipuri de oțel carbon și am prezentat ciclurile de răcire comune pentru zona de fuziune și zona de influență termică (ZIT) pentru diferite procedee de sudare. După cum arată curba graficului de duritate-răcire, atât gradul de oțel (compoziția chimică) și viteza de răcire au influență în determinarea durității. [7]

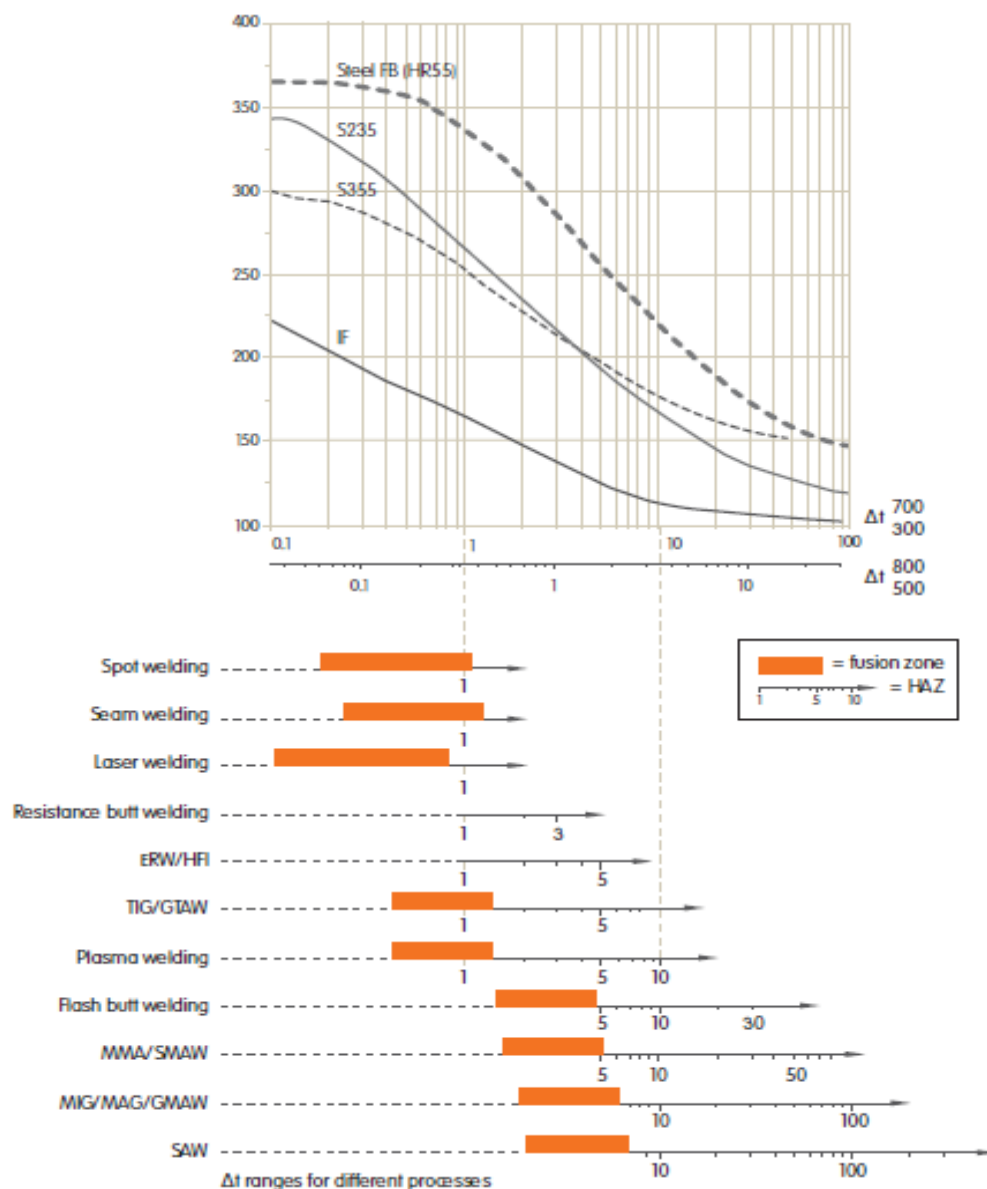


Fig 2.16. Curbele de viteză de răcire a durității pentru patru tipuri de oțeluri carbon obișnuite și intervale de viteză tipice de răcire pentru diferite procese de sudare. [8]

2.6 Studiu de caz - Încercarea la tracțiune a oțelului S355 J2 C+N

Prezentare generală

Încercarea la tracțiune (sau întindere) este una dintre metodele cele mai sigure și cel mai mult folosite pentru stabilirea modului principal în care se comportă un material necunoscut, atunci când este solicitat mecanic.

Avantajele ei sunt următoarele:

- simplitatea relativă de punere în practică a încercării;
 - relațiile de calcul simple prin care sunt valorificate datele obținute prin experimente;
 - valabilitatea inclusiv în domeniul deformărilor plastice a relațiilor de calcul folosite în domeniul elastic;
 - costul redus de realizare, deoarece nu este necesară o calificare foarte înaltă a operatorului;
 - cheltuielile materiale scăzute, fiind consumată o cantitate relativ mică de material studiat.
- Trebuie făcută totuși observația că rezultatele încercării nu sunt independente de calitatea dotărilor din laboratorul unde se lucrează: vor fi cu atât mai elocvente cu cât mașina folosită este mai competitivă și mai complet utilată pentru efectuarea experimentelor.

Scopul lucrării

Prin realizarea încercării la tracțiune se pot atinge simultan mai multe obiective:

- stabilirea categoriei în care poate fi încadrat materialul studiat, din punctul de vedere al răspunsului la solicitările mecanice;
- determinarea valorilor caracteristicilor de rezistență și de ductilitate, la tracțiune, ale materialului încercat;
- trasarea curbei caracteristice la tracțiune a materialului.

Epruveta utilizată

Pentru materialele metalice încercarea se efectuează urmând prevederile standardului SR EN 10002, care este pe cale să fie înlocuit de norma ISO 6892:2010. Ambele prevăd utilizarea unor epruvete de formă plată sau cilindrică, acestea din urmă fiind preferate dacă probele sunt prelevate din material sub formă de bloc. Pentru ca efectele forțelor cu care epruveta este prinsă în bacurile mașinii să nu denatureze starea de tensiuni din zona ei de măsurare, capetele epruvetei sunt de obicei ceva mai late și mai groase față de celelalte porțiuni ale ei.

Schema de solicitare

Epruveta este solicitată la întindere prin intermediul a două forte concentrate F , egale și opuse, aplicate pe capetele ei și având direcția axei sale longitudinale. Forțele cresc treptat și lent (solicitarea este de tip static) până la ruperea probei, iar pe parcursul încercării se înregistrează curba de variație a dependenței dintre mărimea încărcării și alungirea pe care aceasta o produce pe probă. Dimensiunile inițiale d_0 și L_0 se măsoară pe zona „calibrată” a epruvetei, așa cum se arată în figura de mai jos.

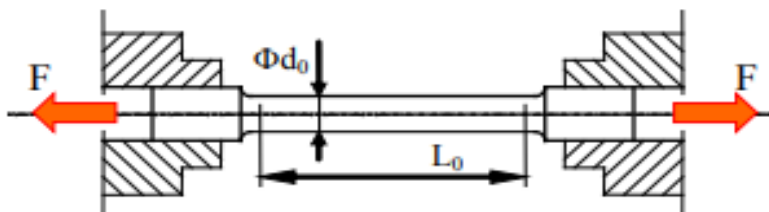


Fig.2.17 Schema încercării la tracțiune

Dispozitivul folosit

Lucrarea se efectuează pe o mașină universală pentru încercări mecanice, condusă de computer, prin intermediul căruia se aleg parametrii la care se realizează solicitarea – de exemplu viteza de creștere a forței. Aceasta se reglează de fapt în termeni de alungire (îndepărtarea reciprocă a capetelor epruvetei) produsă în unitatea de timp. Mașina afișează în mod continuu pe monitor graficul de dependență între forța aplicată F și alungirea ΔL a epruvetei, grafic pentru care se poate opta să aibă în axele de coordonate și alte mărimi (de exemplu tensiune-alungire specifică), ale căror valori se calculează automat pe baza datelor inițiale ale probei.

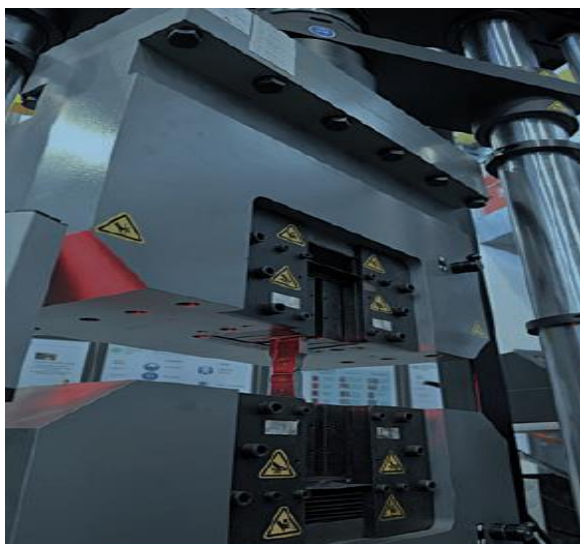


Fig. 2.18. Echipamentul folosit încercările mecanice

Tipuri de comportări ale materialelor

Studiul a fost făcut pe cinci epruvete de oțel S355 J2 C+N cu grosimi și lățimi diferite cu valori cuprinse între 5,98 - 9,50 de mm.

- Grosime 5,98 mm și lățime 25,20 mm;
- Grosime 5,99 mm și lățime 24,80 mm;
- Grosime 6,00 mm și lățime 24,80 mm;
- Grosime 6,02 mm și lățime 25,20 mm;
- Grosime 9,50 mm și lățime 25,40 mm;

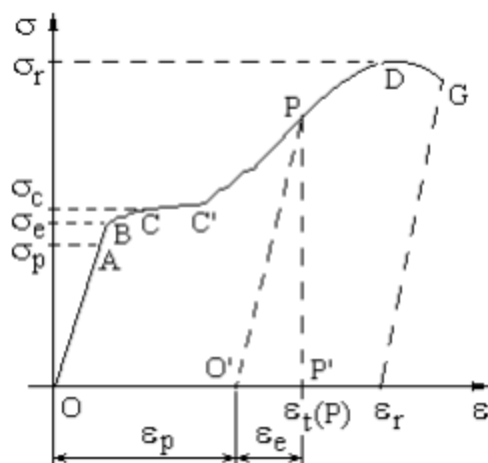


Fig. 2.19. Aspectul tipic al curbei caracteristice pentru oțelurile de duritate medie

Imaginea grafică a dependenței dintre mărimile relative σ și ε este specifică fiecărei clase de materiale, fiind numită curbă caracteristică a materialului (în acest caz – la tracțiune).

Pentru oțelurile de duritate medie, pe curba caracteristică se pot deosebi mai multe zone, cărora le corespund o serie de mărimi importante.

Punctul O corespunde situației inițiale, în care în epruvetă nu există tensiuni ($\sigma=0$) și nici deformații ($\varepsilon=0$); în prima porțiune a curbei, cele două mărimi cresc simultan, dar viteza de creștere a lui (σ) este mai mare. În plus, dependența dintre cele două mărimi este liniară până în punctul A, care corespunde limitei de proporționalitate a materialului (σ_p).

Ordonata punctului B, până la care materialul se comportă perfect elastic, adică după descărcare (îndepărtarea forței) epruveta își recapătă lungimea inițială L_0 , se numește limită de elasticitate (σ_e).

Începând din punctul C curba capătă tendința de a continua pe o direcție aproximativ paralelă cu axa absciselor, deoarece se produce creșterea deformației fără ca forța să crească în mod sensibil (se spune că materialul “curge”). Această zonă marchează intrarea în zona deformării plastice a materialului, iar tensiunea corespunzătoare punctului C se numește limită de curgere (σ_c).

Urmează o porțiune crescătoare a curbei, fără proporționalitate între cele două mărimi, care se termină în punctul de maxim D, considerat a fi limita de rupere (σ_r) sau rezistența la (rupere prin) tracțiune a materialului testat. Dacă se oprește încercarea într-un punct oarecare $P \in (C'D)$ și se urmărește evoluția epruvetei pe parcursul scăderii forței către zero, se constată că descreșterea celor două mărimi nu se face nici pe drumul urmat la încărcare și nici pe direcția normală la axa absciselor (PP'), ci după o linie (PO'), aproximativ paralelă cu zona elastică (OB) a curbei.

Aceasta arată că deformațiile înregistrate pe epruvetă nu sunt în totalitate reversibile, pentru că din deformația specifică (ε_t), existentă în starea de încărcare din punctul P, dispăre cantitatea (ε_e), numită deformație elastică, dar epruveta rămâne cu deformația (ε_p) – deformație plastică (permanentă), adică are o lungime mai mare cu ($\varepsilon_p \cdot L_0$) decât lungimea inițială.

Dacă această epruvetă se montează din nou în mașina pentru încercări și se reia solicitarea ei, se observă o evoluție $\sigma(\varepsilon)$ mergând, cu aproximație, după segmentul ($O'P$), ceea ce indică o zonă cu deformare proporțională (elastică) a materialului, zonă de lungime mai mare decât porțiunea inițială (OA). Acest fenomen, marcând o modificare favorabilă a calităților materialului, se numește ecruisare și este specific metalelor cu proprietăți mecanice moderate. Este

recomandabil ca piesele făcute din astfel de materiale să fie supuse unei solicitări inițiale (pre-încărcare) înainte de a le fi aplicate încărcările propriu-zise pe care trebuie să le preia.

Când se ajunge cu încărcarea epruvetei în apropierea punctului D, adică la valoarea maximă a forței (F_{max}), se constată că într-o anumită porțiune a epruvetei secțiunea ei transversală se micșorează (“gâtuire”), fenomen care se accentuează apoi până când se produce ruperea. În acest timp forța aplicată se micșorează, conducând la un traseu descendent (DF) al curbei caracteristice.

Este remarcabil că momentul apariției gâtuirii pe epruvetă înseamnă pierderea caracterului omogen al solicitării (care fusese observabil prin producerea acelorași fenomene în întregul volum al probei aflat în afara zonelor de prindere), datorită creșterii valorilor locale ale tensiunilor și deformațiilor specifice în acea zonă a epruvetei.

Pe lângă forma propriu-zisă a curbei caracteristice, aspectul secțiunii de rupere a epruvetei este un criteriu în plus pentru încadrarea materialului analizat într-o anumită categorie: materialele fragile se rup după deformații foarte mici, aproape inobservabile, iar cele ductile – dimpotrivă, se deformează mult, iar curba nu are o zonă urcătoare după zona de curgere. Aspectul tipic al curbei caracteristice pentru oțelurile de duritate medie.

Materialele pentru care s-a descris mai sus forma tipică a curbei de tracțiune, în rândul cărora se situează și oțelurile de duritate medie, formează categoria intermediară: ele nu manifestă nici fragilitate, dar nici ductilitate pronunțată, în schimb închid sub curba lor caracteristică la tracțiune o suprafață mult mai mare decât la celelalte două categorii. Această arie reprezintă măsura energiei de deformare pe care materialul o poate acumula înainte de rupere: cu cât aceasta este mai mare, cu atât materialul este mai tenace și va suporta mai bine, de exemplu, solicitările prin șoc.

Așadar, despre un material care se rupe la tracțiune prin smulgere, după apariția unei gâtuirii pronunțate pe epruvetă și pentru care pe curba caracteristică apar zonele descrise, inclusiv zona urcătoare dinaintea de rupere, se va spune că are tenacitate mare și că este recomandabil pentru preluarea în condiții de siguranță a unei game variate de încărcări mecanice.

Relații de calcul

Dacă după rupere se așează cap la cap cele două bucăți ale epruvetei și se măsoară lungimea finală L_u a porțiunii sale calibrate, se poate determina alungirea specifică la rupere a materialului:

$$A_r = \frac{L_u - L_0}{L_0} * 100 = \frac{\Delta L}{L_0} * 100 \quad [\%]$$

În mod analog, notând cu S_0 și S_u ariile inițială și finală (calculate în funcție de diametru) ale secțiunii de rupere, se poate stabili gâtuirea specifică la rupere a materialului:

$$Z = \frac{S_u - S_0}{S_0} * 100 \quad [\%]$$

Cu privire la valorile limită ale tensiunii, în standardele pentru încercarea la tracțiune a metalelor se recomandă calcularea lor prin împărțirea valorilor corespunzătoare ale forței de încărcare nu la aria instantanee a secțiunii epruvetei, ci la aria ei inițială S_0 , astfel că limitele teoretice ale tensiunii (σ_c și σ_r) sunt înlocuite prin niște mărimi convenționale:

- limita de curgere $R_e = \frac{F_c}{S_0}$ [MPa]
- limita de rupere $R_m = \frac{F_{max}}{S_0}$ [MPa]

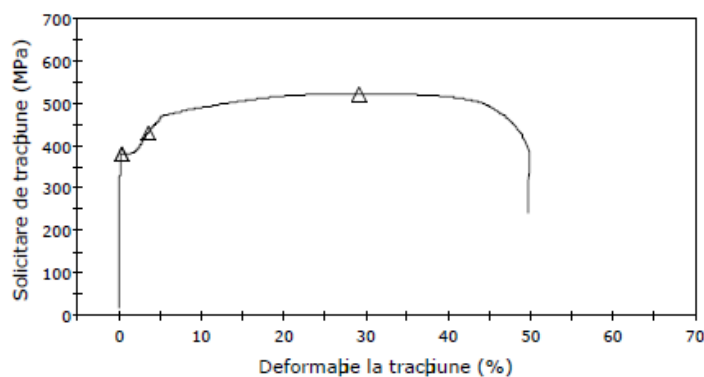
Aceste patru mărimi (R_e , R_m , A_r , Z), calculate pe baza datelor obținute din încercarea descrisă, se numesc caracteristici mecanice la tracțiune ale materialului analizat, iar cunoașterea lor este importantă pentru calculele de rezistență și pentru folosirea corectă a materialului în cauză.

Modul de lucru

Efectuarea în laborator a încercării de tracțiune presupune parcurgerea următoarelor etape:

- se pornește mașina și se reglează parametrii încercării; viteza de creștere a solicitării se alege, de exemplu la valoarea de 2mm/min;
- se măsoară valorile inițiale ale diametrului și lungimii epruvetei;
- se completează cu aceste valori tabelul afișat pe monitor;
- se instalează epruveta între bacurile de prindere ale mașinii și se pornește încărcarea;
- se urmărește modul în care proba se deformează pe parcursul solicitării, iar pe monitor se observă trasarea curbei caracteristice a epruvetei;
- după producerea ruperii probei se înregistrează curba în computerul mașinii, apoi se scot bucățile de epruvetă din mașină și se măsoară dimensiunile finale - diametrul d_u din secțiunea de rupere și distanța L_u dintre reperele extreme de pe epruvetă, atunci când bucățile rupte sunt așezate cap la cap pentru reconstituirea probei.

Epruvetă 1 la 1

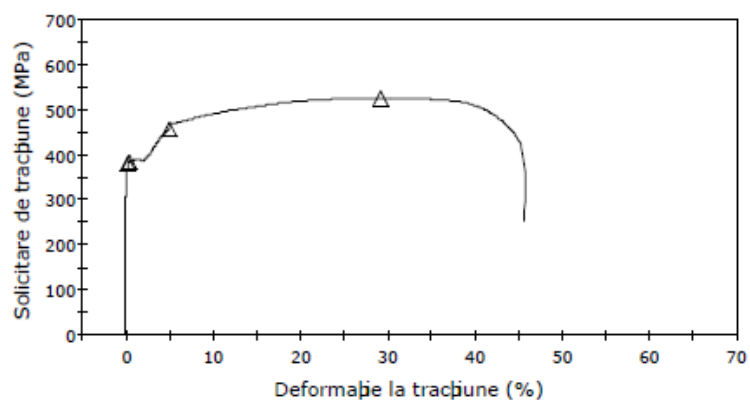


	Grosime (mm)	Lățime (mm)	Fm (kN)	Rm (MPa)	Ft 0,5 % (kN)	Rt 0.5 (MPa)	Fp0,2% (kN)	Rp0,2 (MPa)	Lo (mm)
1	5,98	25,20	78,86	523,27	57,32	380,38	57,29	380,19	70,0

	Lu (mm)	A %	YS/UTS(%)	Rată 1 (MPa/s)	Rată 2 (MPa/s)	Pantă 3 (mm/min)
1	94,0	34,29	0,73	10,00	10,00	57,00000

	Modulus (Young's Tensile stress 100 MPa - 200 MPa) (GPa)
1	207,74

Epruvetă 1 la 1

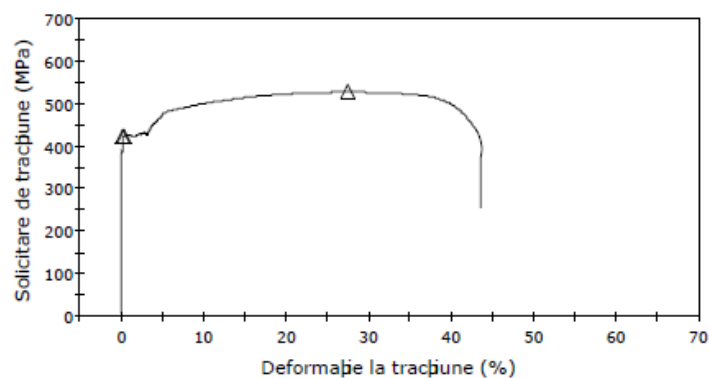


	Grosime (mm)	Lățime (mm)	Fm (kN)	Rm (MPa)	Ft 0,5 % (kN)	Rt 0.5 (MPa)	Fp0,2% (kN)	Rp0,2 (MPa)	Lo (mm)
1	5,99	24,80	78,15	526,09	56,88	382,91	56,39	379,59	70,0

	Lu (mm)	A %	YS/UTS(%)	Rată 1 (MPa/s)	Rată 2 (MPa/s)	Pantă 3 (mm/min)
1	93,0	32,86	0,73	10,00	10,00	57,00000

	Modulus (Young's Tensile stress 100 MPa - 200 MPa) (GPa)
1	148,28

Epruvetă 1 la 1

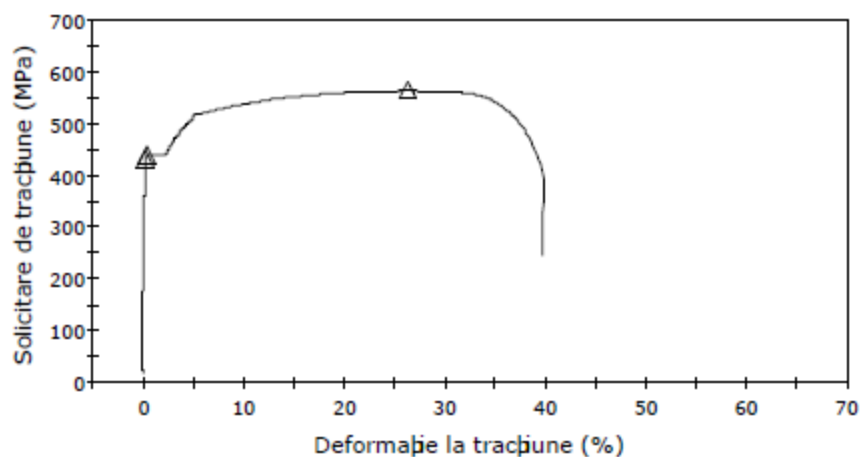


	Grosime (mm)	Lățime (mm)	Fm (kN)	Rm (MPa)	Ft 0,5 % (kN)	Rt 0.5 (MPa)	Fp0,2% (kN)	Rp0,2 (MPa)	Lo (mm)
1	6,00	24,80	78,42	527,01	63,03	423,61	62,83	422,23	70,0

	Lu (mm)	A %	YS/UTS(%)	Rată 1 (MPa/s)	Rată 2 (MPa/s)	Pantă 3 (mm/min)
1	93,0	32,86	0,80	10,00	10,00	57,00000

	Modulus (Young's Tensile stress 100 MPa - 200 MPa) (GPa)
1	327,63

Epruvetă 1 la 1

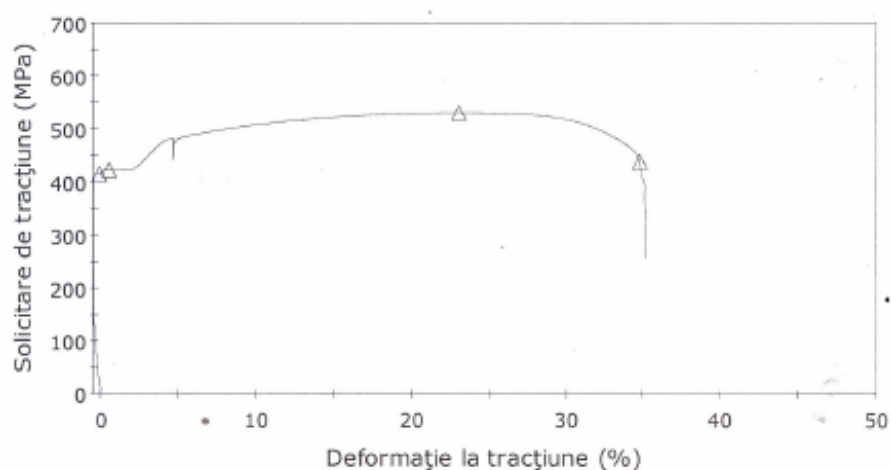


	Grosime (mm)	Lățime (mm)	Fm (kN)	Rm (MPa)	Ft 0,5 % (kN)	Rt 0.5 (MPa)	Fp0,2% (kN)	Rp0,2 (MPa)	Lo (mm)
1	6,02	25,20	85,42	563,04	66,40	437,70	65,63	432,63	70,0

	Lu (mm)	A %	YS/UTS(%)	Rată 1 (MPa/s)	Rată 2 (MPa/s)	Pantă 3 (mm/min)
1	91,0	30,00	0,78	10,00	10,00	57,00000

	Modulus (Young's Tensile stress 100 MPa - 200 MPa) (GPa)
1	201,15

Epruvetă 1 la 1



	Grosime (mm)	Lățime (mm)	Diametru (mm)	Fm (kN)	Rm (MPa)	FeH (kN)	ReH (MPa)	Fp 0,2 (kN)	Rp 0,2 (MPa)	Ft 0.5 (kN)
1	9,50	25,40		128,01	530,49	-----	-----	100,22	415,33	102,17

	Rt 0.5 (MPa)	Lo (mm)	Lu (mm)	A %	YS / UTS (%)	Rată 1 (MPa/s)	Rată 2 (MPa/s)	Pantă 3 (mm/mm/min)
1	423,41	85,00	109,00	28,24	0,80	10,00000	10,00000	0,48240

Analiza rezultatelor

Fenomenele observate și datele rezultate din experiment permit să se încadreze materialul încercat într-o anumită categorie de materiale, precum și să se calculeze valorile caracteristicilor sale de rezistență (limitele de curgere și de rupere) și ductilitate (alungirea și gătuirea la rupere).

2.6. Concluzii

În capitolul al doilea al proiectului de disertație am prezentat caracteristicile chimice ale oțelului corten S355 J2 C+N pentru poduri, am prezentat și exemplificat testele la care sunt supuse materialele pentru a fi stabilite proprietățile mecanice.

Am analizat viteza de răcire pentru patru tipuri de oțeluri carbon obișnuite și intervale de viteză tipice de răcire pentru diferite procese.

În ce-a a doua parte a capitolului doi al lucrării de disertație, am efectuat un studiu de caz încercând mai multe epruvete de oțel S355 J2 C+N cu grosimi diferite pentru a afla valorile caracteristicilor sale de rezistență (limitele de curgere și de rupere) și ductilitate (alungirea și gătuirea la rupere).

.

Capitolul 3.

PROIECTAREA TEHNOLOGIILOR DE ASAMBLARE TERMICĂ ȘI METODE DE ÎNCERCARE A STRUCTURILOR SUDATE DIN OȚEL CORTEN

Sudarea este un proces versatil, complex și esențial care facilitează utilizarea unei game largi de ansambluri de oțel în structurile de transport. Utilizarea sudării îmbunătățește eficiența designului pentru toate structurile de oțel și secțiunile tipice moderne.

Introducerea sudării a revoluționat podurile din oțel, înainte de introducerea acesteia, podurile de oțel erau construite din plăci și forme, îmbinate cu nituri. Îmbinările inter-flanșă au fost realizate cu nituri, ceea ce însemna că elementele de oțel construite erau mult mai grele, componentele individuale erau relativ scurte, ansamblurile nu puteau fi decât drepte.

3.1. Caracterizarea materialelor de adaos și auxiliare

Materialul de sudare este sub formă de sârmă, ceea ce determină tipul variantei de sudare, conform clasificării SR ISO 4063-92. Arcul electric este realizat între electrod și piesa metalică fiind protejat de un strat de flux. Sârma electrodului este dirijată de un mecanism cu role antrenat de un motor electric, iar la contactul electrodului cu piesa metalică se inițiază arcul electric care arde sub stratul protector de flux. Deasupra băii metalice se formează un strat topit de flux care asigură reacțiile metalurgice dintre baia de sudare și flux, realizându-se concomitent dezoxidarea și alierea băii metalice. În coloana arcului electric se degajează o cantitate mare de gaze ce formează o cameră sub startul de flux, dar care sunt evacuate ușor datorită permeativității ridicate la gaze a stratului de flux.[9]

3.1.1. Caracterizarea materialelor de adaos și auxiliare la sudarea MAG

Sudarea cu arc electric cu electrod fuzibil în atmosferă protectoare este un procedeu semiautomat de sudare, la care arcul electric arde între metalul de bază și un electrod fuzibil, sârma de sudare care avansează mecanizat cu viteză constantă, iar în jurul sârmei se insuflă circular un gaz protector. Gazul protecție poate fi CO₂ la sudarea MAG-C și corgon pentru sudarea MAG-M. Pentru sudarea semimecanizată MAG- CO₂ vom utiliza sârma FILCORD C, iar drept gaz de protecție CO₂. [9]

▪ Sârmă plină cuprată FILCORD C [9]

Clasificare: EN 440 - 94: G3Si1, AWS A5.18-93: ER70S-6

Autorizări: ABS, LRS, DNV, BV, DB.

Caracteristici principale: Sârmă plină cuprată pentru sudare în mediu de gaz protector în toate pozițiile. Se utilizează ca gaz de protecție Ar/C02, Ar/CCg/Og sau C02. Indicat pentru sudarea într-o singură sau mai multe treceri a oțelurilor nealiat, cu rezistența de rupere la tracțiune până la 560 N/mm2 (tip SG55J2G3 EN 10025 FE 510/St52 sau similar). Arc electric stabil, stropire redusă, aspect estetic al cordonului.

Domenii de aplicare: Construcții navale, poduri, boilere (Inclusiv cele din industria petrochimică), Industria constructoare de mașini, construcții metalice, fabricarea țevelor, construcția autovehiculelor și aplicații electrocasnice, construcții feroviare.

Poziții de sudare:



1G 2F 2G 3G 3G 4G 5G 5G AWS

PA PB PC PF PG PE PF PG FN

Curent DC⁺

Gaz: Ar-CO2-Ar/CO2/O2-CO2, M2, M3, C1 (EN 439).

Analiza chimică și mecanică a sârmei sunt date în (tabel 3.1.) respectiv (tabel 3.2.). În (tabel 3.3.) este dată ambalarea standard a sârmei electrod. Diametrul și rezistența minimă la rupere a sârmelor de sudură conform procedeul MAG este dat în (tabel 3.4.).

Tabel 3.1. Analiza chimică a sârmei [%],[9]

C	Mn	Si	S	P	Cu
0,06...0,13	0,06...0,13	0.70...1,00	≤ 0,025	≤ 0,025	≤ 0,25

Tabel 3.2. Caracteristici mecanice [9]

Gaz	Trat. termic	Rm, N/mm2	Rp0.2 N/mm2	E, %5d	KV, J - 20°C	KV, J -40 °C
Ar/C02(M21)	Stare sudată	510...560	≥420	≥24	≥70	≥ 50

Tabel 3.3. Ambalare standard [9]

Ambalare	Greutate	Diametru [mm]						
		0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4
K300	16 kg	X	X	X	X	X	X	X
K300/SS	16 kg	-	X	X	X	X	-	-
D300	15 kg	X	X	X	X	X	-	-
D300/SS	15 kg	-	X	X	X	X	X	-
C5	5 kg	X	X	X	X	-	-	-
MICRO	0,8 kg	X	X	X	X	-	-	-
LP	250 kg	-	X	X	X	-	-	-

Tabel 3.4. Diametrul și rezistența minimă la rupere a sârmelor de sudură MAG [9]

Diametrul sârmei d_e [mm]	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4
Rezistența minimă σ_m [Mpa]	1000	900	850	800	700	650	600

Mărcile de sârme de sudură sunt standardizate în STAS 1126/87, simbolizarea cuprinde litera S de la sudură, urmată de conținutul de carbon în procente, simbolurile chimice ale elementelor principale de aliere urmate de conținutul acestora în procente. Exemple de mărci de sârme pentru sudarea în mediu de gaz protector a oțelurilor sunt date în (tabel 3.5.). [10]

Tabel 3.5. Exemple de mărci de sârme pentru sudarea în mediu de gaz protector a oțelurilor [10]

Marca sârmei	Domenii de aplicabilitate
S12MnSi	Sudarea MAG a oțelurilor carbon de construcții
S12Mn1SiNiTi	Sudarea oțelurilor cu granulație fină, oțeluri pentru construcții navale
S10Mn1SiNiCu	Sudarea oțelurilor rezistente la coroziune
S12Cr26Ni2	Sudarea oțelurilor aliate rezistente la coroziune

Gazul de protecție utilizat la sudare gazului de protecție adecvat poate optimiza rezultatele sudării. Gazele de protecție nu numai că protejează sudura finisată de efectele oxigenului și azotului din atmosferă, dar pot să aibă și un efect pozitiv asupra proprietăților materialului de bază, cum ar fi rezistența, rezistența la coroziune și duritatea. Gazul de protecție poate crește productivitatea prin accelerarea procesului de sudare și minimizarea cantității de pulverizare[3].

Gazul de protecție utilizat la sudarea MAG este amestecul cel mai frecvent utilizat la ora actuală la sudarea în amestecuri de gaze, distingându-se combinația 82% Ar + 18% CO₂, (sau 80% Ar + 20% CO₂). Combina avantajele CO₂ pur cu stropirea redusă a amestecurilor Ar + O₂. În domeniile în care stropirea și cantitatea de zgură sunt critice tendința actuală este reducerea proporției de CO₂ din amestec ceea ce duce la reducerea proporțională a stropilor. Gazul de protecție este livrat la presiune ridicată în butelii de oțel fabricate în acest scop. Gazul trebuie să asigure o bună protecție împotriva aerului, să reducă fenomenul de stropire, să asigure amorsarea ușoară și stabilitatea mare a arcului electric de sudare, să nu fie exploziv, să nu producă zgură, să asigure un bun transfer de căldură, conductivitate termică redusă, să evite arderea carbonului și a elementelor de aliere, să aibă o solubilitate redusă în baia de sudare, să nu polueze atmosfera, să aibă efect de intoxicare redus [3]. Caracterizarea gazului de protecție în funcție de metalul de bază este dată în (tabel 3.6.).

Tabel 3.6. Alegerea gazului de protecție în funcție de metalul de bază [3]

Procedeu de sudare	Gaz de protecție	Material de bază
MAG	Ar+ O ₂ (1-3%)	Oțeluri carbon și slab aliate
	Ar+ CO ₂ (2-5%)	
	Ar+ CO ₂ (6-25%)	
	Ar+ CO ₂ (2-5%) + O ₂ (1-3%)	
	Ar+ CO ₂ (4-9%)	
	Ar+ CO ₂ (26-40%)	
	Ar+ CO ₂ (5-20%) + O ₂ (4-6%)	
	Ar + O ₂ (9-12%)	Oțeluri carbon
	CO ₂	Oțeluri carbon și slab aliate

Atmosfera protectoare CO₂, care este mai ieftină, dar influențează activ baia de sudare, deoarece disociază în arc electric, $\text{CO}_2 = \text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2$, unde monoxidul de carbon are un efect reducător, însă oxigenul oxidează. Din această cauză este necesară utilizarea unor sârme de sudură aliate cu 1 -2 % Mn și 0,6 – 1 % Si. Chiar în aceste condiții sudarea în atmosferă de CO₂ se utilizează numai la sudarea oțelurilor carbon și slab aliate cu Mn și Si. Pentru o calitate superioară și reducerea fenomenului de stropire se utilizează amestecuri de gaze Ar + CO₂ (2- 18 %).[3]

3.2. Caracterizarea materialelor de adaos și auxiliare la sudarea SF

Alegerea cuplului sârmă-flux are la bază principiile de modificare ale compoziției chimice în urma procesului de sudare. Metalul depus, transferat prin arc electric, interacționează cu fazele gazoase din coloana arcului și cu zgura. Astfel de interacțiuni se manifestă sub forma reacțiilor de oxidare și dezoxidare, a fenomenelor de aliere și rafinare. Reacția de oxidare – dezoxidare, oxizii metalici și nemetalici reduc caracteristicile fizico-mecanice ale îmbinării fapt pentru care nu sunt doriți în îmbinarea sudată. Oxidul metalului lichid este de cele mai multe ori solubil, astfel FeO este solubil în Fe, pe când ceilalți oxizi, cum ar fi MnO, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, sunt insolubili în Fe. Drept urmare operația de dezoxidare trebuie realizată prin aport la baia de metal topit, prin intermediul sârmei sau a fluxului, a unor elemente dezoxidate. În cazul oțelurilor, elementele dezoxidate sunt: Si, Mn, Ti, C și Al [4].

La sudarea sub strat de flux, procesul de aliere se manifestă prin faza gazoasă, prin materialul de adaos, cât și prin zgură. Se poate suda cu același material de adaos, dar cu fluxuri diferite asigurând gradul de aliere necesar. La oțelurile aliate este necesară alierea și prin materialul de adaos, se folosesc sârme de electrod cu un conținut al elementelor de aliere superior sau cel puțin egal cu al materialului de bază, datorită proceselor de oxidare și trecere în zgură a elementelor transferate prin arc. Datorită dimensiunilor importante ale băii și în special a lățimii acesteia, suprafața de contact metal- zgură este relativ mare, motiv pentru care transferul prin difuzie, de elemente între metalul depus și zgura lichidă, este important.[12]

Rafinarea cusăturii sudate are o deosebită importanță privind asigurarea evitării fisurilor la cald, sau la rece. Desulfurarea este asigurată prin elemente cu afinitate ridicată față de fuzurile la

cald, cum ar fi: Al, Ca, Si și Mg. Aceste elemente au afinitate mai ridicată față de oxigen, luându-l din oxizi. Drept urmare cel mai utilizat desulfurant al băii metalice este Mn. Evitarea fisurilor la cald în cordonul de sudură se va face introducând suplimentar în cusătura sudată, Mn, atât prin sârma electrod cât și prin flux. Defosforarea, respectiv evitarea fragilizării la rece a oțelurilor, se obține folosind în procesul de sudare, fluxuri cu bazicitate ridicată. Procentul fisurilor la rece cât și cele la cald din îmbinările sudate scade cu până la 25%. În baza acestor principii, a interacțiunii materialului depus cu zgura provenită din fluxul topit, rezultă următoarele concluzii privind alegerea cuplului sârmă-flux:[4]

- La sudarea cu fluxuri bogate în SiO_2 și MnO , de tipul fluxurilor silico-manganoase (FSM 37, FSM 37B) la care procentul de SiO_2 și MnO este mai mare decât 50%, se utilizează o sârmă nealiată, caracteristicile îmbinării, respectiv aportul de Si și Mn din flux contribuind la asigurarea proprietăților oțelurilor carbon de uz general. Baia de sudură nu se rafinează.
- La sudarea cu fluxuri bogate în SiO_2 , dar cu puțin MnO ($\text{SiO}_2 = 40,50\%$; $\text{MnO} = 15,20\%$). Aceasta impune ca la sudarea oțelurilor de construcție să se folosească sârme aliate cu 12 % Mn. Astfel la sudarea cu fluxuri FSM 20 se vor folosi sârme cu 1,52% Mn (S12 Mn2);
- Fluxurile cu puțin SiO_2 și MnO sunt fluxuri de tip bazic. Acestea asigură desulfurarea și defosforarea cusăturii. Se asigură o îmbinare cu proprietăți ridicate de plasticitate. Pierderile în arc din elementele de aliere sunt relativ mici, de aceea se folosesc aceste fluxuri la sudarea oțelurilor slab aliate cu sârme având compoziția minimă a materialului de bază.
- Sârmele vor avea în compoziția lor de asemenea Si și Mn, datorită cantității mici din aceste elemente de aliere provenite din zgura topită. Arcul electric trebuie alimentat în curent continuu pentru asigurarea unei bune stabilități. Picăturile sunt de dimensiuni mari, la transferul prin arc, datorită lipsei oxigenului din spațiul arcului. Fluxurile cu bazicitate ridicată sunt fluxuri ceramice sau sinterizate, folosite la sudarea oțelurilor slab sau mediu aliate.[4]

Granulația fluxului determină controlul degazării băii metalice, o granulație mare asigură o degajare rapidă necesară la viteze mari de sudare. Calitatea și aspectul cusăturii sudate este favorizată de utilizarea unui flux de granulație mai fină, însă aceste fluxuri prezintă o sensibilitate mărită la umezeala hidroscopică. Fluxurile de sudare sunt clasificate conform SR EN 76 și sunt date în (Fig. 3.1). [14]

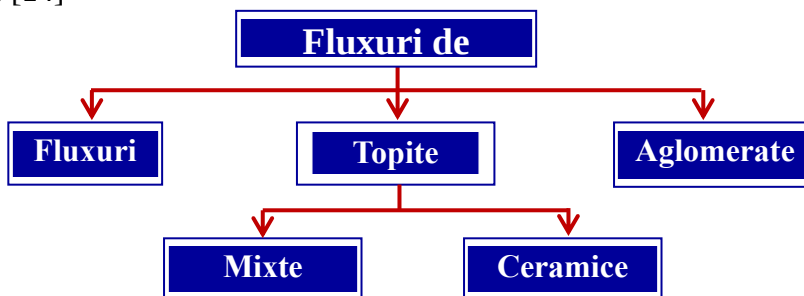


Fig. 3.1. Clasificarea fluxurilor de sudare

Fluxurile topite se obțin prin topirea în cuptoare electrice a componentelor fluxului obținându-se un produs omogen care după solidificare este măcinat la granulația dorită. Fluxurile aglomerate sunt compuse din componente uscate în cuptoare electrice, măcinate de asemenea la diferite granulații și amestecate în diferite proporții utilizând un liant (silicat de sodiu) pentru a asigura legarea particulelor între ele și formarea unui amestec omogen.

Compoziția chimică a fluxului de sudare determină proprietățile cusăturii sudate, condițiile specifice de sudare și consumurile specifice[4]. Clasificarea fluxurilor de sudare în funcție de compoziția chimică sunt date în (tabel 3.7.).

Tabel 3.7. Clasificarea fluxurilor de sudare în funcție de compoziția chimică [4]

Nr. Crt.	Compoziția chimică	Recomandări utilizate
1.	Flux silico-manganos $MnO + SiO_2 > 50 \%$	Produc alierea cu Mn a cusăturii și îmbunătățește caracteristicile mecanice ale acesteia.
2.	Flux silico- calcic $CaO + MgO + SiO_2 > 55\%$	Îmbunătățește pătrunderea cusăturii, se recomandă la sudarea cu curenți de intensitate mare într-o singură trecere.
3.	Flux silico- zirconic $ZrO_2 + SiO_2 + MnO > 45\%$	La sudarea materialelor refractare.
4.	Flux silico- rutilic $TiO_2 + SiO_2 > 50 \%$	Conținutul ridicat de Si reduce sensibilitatea de fisurare și la rugină, îmbunătățește pătrunderea cusăturii.
5.	Flux alimino- bazic $Al_2O_3 + CaO + MgO > 45\%$	Cusătura sudată are excelente proprietăți de rezistență mecanică. Recomandate la sudarea vaselor sub presiune.
6.	Flux alumino- rutilic $Al_2O_3 + TiO_2 > 40 \%$	Sunt favorabile sudării cu viteze mari și la sudările de colț datorită desprinderii ușoare a stratului de zgură.
7.	Flux fluoro –bazic $CaO + MgO + MnO + CaF_2 > 50\%$	Mărește tenacitatea cusăturii și micșorează tendința la fisurare. Cu cât caracterul fluxului este mai basic crește conținutul de Mn din cusătură

Alegerea sârmei de sudare. Sârmele pline se produc în gama de diametre: 2, 2,5, 3, 4, 5, 6, 8, 10 și 12mm. Suprafața sârmei este de obicei cuplată, pentru a asigura protecția anticorozivă și îmbunătățirea contactului electric prin piesa de contact a capului de sudare. Sârmele se livrează în bobine de dimensiuni normalizate. Compoziția chimică a sârmelor se alege în funcție de metalul de bază care se sudează, precum și de fluxul folosit. În STAS 1126- 76 sârmele sunt împărțite în funcție de nivelul de aliere, distingându-se:

- Sârme nealiate și slab aliate, destinate sudării oțelurilor carbon, a oțelurilor slab aliate și cu limită de curgere ridicată;
- Sârme mediu și înalt aliate pentru încărcarea prin sudare;
- Sârme înalt aliate pentru sudarea oțelurilor inoxidabile și refractare.[5]

3.3. Calculul parametrilor de sudare prin procedeul MAG-M

Procedeul de sudare în mediu de gaz MAG (Metal Activ Gas) este folosit în varianta semimecanizată sau mecanizată. Materialele de sudare vin în zona arcului prin intermediul unui tub flexibil de la panoul de distribuție al gazelor și de la mecanismul de avans al sârmei electrod.

Varianta mecanizată folosește o sanie, sau un cărucior care realizează deplasarea arcului electric în lungul rostului elementelor de îmbinat. Pe sanie se află atât sistemul de avans al sârmei electrod cât și capul de sudare la care vin gazele de protecție. [14]

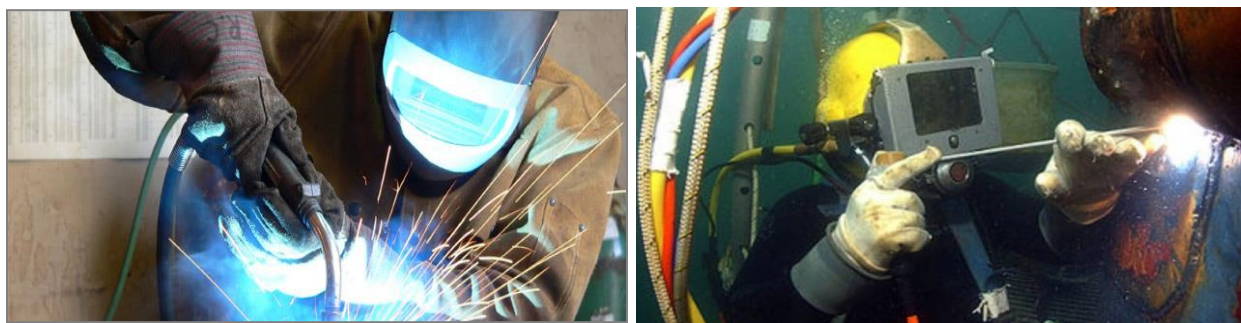


Fig. 3.2. Sudarea în mediu activ de gaze (MAG)

- **Alegerea rostului** se realizează, în principal, în funcție de procedeul de sudare și grosimea materialului de bază. Tipurile de rosturi și aria de calcul a cordonului de sudură în funcție de grosimea materialului sunt date în figura 3.3.

Rost	Grosimea componentelor [mm]	Aria de calcul a cordonului
	$S \leq 6(10)$	$A_C = S \cdot n + \frac{2}{3} b \cdot a$
	$S \leq 10(16)$	$A_C = S \cdot n + \frac{2}{3} b_1 \cdot a_1 + \frac{2}{3} b_2 \cdot a_2$
	$a \leq 0,7 \cdot S$	$A_C = \frac{k^2}{2} + a_1 \cdot k$
	$a \leq 0,7 \cdot S$	$A_C = a^2 + \frac{a \cdot a_1}{\sqrt{2}}$
	$5 \leq S \leq 20$	$A_C = S \cdot n + (S - p)^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \frac{2}{3} b \cdot a$
	$5 \leq S \leq 20$	$A_C = S \cdot n + \frac{(S - p)^2}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \frac{2}{3} b \cdot a$
	$S \geq 20$	$A_C = S \cdot n + m_1^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} + m_2^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_2}{2} + \frac{2}{3} b_1 \cdot a_1 + \frac{2}{3} b_2 \cdot a_2$
	$S \geq 15$	$A_C = S \cdot n + \frac{\pi \cdot r^2}{2} + (S - p - r)^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + 2 \cdot (S - p - r) \cdot r + \frac{2}{3} b \cdot a$

Fig. 3.3. Tipul și dimensiunile rostului la sudare [14]

▪ **Calculul ariei rostului și cordonului de sudură**

$$A_c = S \cdot n + \frac{2}{3} \cdot b \cdot a \quad (3.1)$$

unde: A_r este aria totală a rostului; S - grosimea tablei; b – deschiderea rostului; a – înălțimea rostului; α – unghiul rostului).

$$A_c = k \cdot A_r \quad (3.2)$$

unde: A_c este aria cusăturii; A_r – aria totală a rostului; $k=1,05....1,4$ (coeficientul k ține cont de secțiunea cusăturii regăsită în supraînălțarea acesteia. Valorile mici ale coeficientului corespund grosimilor mari de material, iar valorile mari corespund grosimilor mici de material).

▪ **Diametrul electrodului** se alege în funcție de grosimea metalului de bază, poziția de sudare, modul de transfer, forma rostului, etc. Diametrul electrodului cel mai utilizat este diametrul de 3,25 mm folosit atât la stratul de rădăcină cât și la cel de umplere. Alegerea diametrului electrodului în funcție de grosime materialului de bază este prezentat în (Tabel 3.8).

Tabel 3.8. Alegerea diametrului electrodului în funcție de grosime materialului de bază [4]

Grosimea minimă a materialului de bază [mm]	1.....2,5	3	4....5	6....12	>12
Diametrul electrodului [mm]	1,6....2,5	3,25	3,25....4	4....5	5...6

▪ **Calculul numărului de treceri**

$$n_t = \frac{Fr}{Ft} \quad (3.3)$$

unde: n_t este numărul de treceri; Ft

▪ **Relațiile pentru calculul parametrilor de sudare MAG-M** sunt prezentate în (tabel 3.9) și variază între următoarele valori:

Tabel 3.9. Relațiile pentru calculul parametrilor de sudare MAG-M [4]

Nr.Crt.	Intensitatea curentului de sudare I_s [A]	Tensiunea arcului U_a [V]	Viteza de sudare V_s [cm/min]	Diametrul sârmei electrod D_e [mm]	Debitul de gaz Q_g [l/min]
1.	$I_s = 2,5 \cdot d_e^2 + 35,5 \cdot d_e - 18$	$U_a = 13,34 + 0,05 \cdot I_s$	$V_s = \frac{100 \cdot A_d}{6 \cdot F_t \cdot \rho}$	0,6.....3,2 [mm]	10.....25
2.	50.....500 [A]	16...35 [V]	30...150 [cm/min]	0,8.....2,4 [mm]	

3.4. Calculul parametrilor de sudare prin procedeul SF

Sudarea sub strat de flux se realizează în variantă mecanizată. Această sudare constă în depunerea unui strat de flux, deasupra rostului îmbinării de sudat. Sârma electrod, provenită din

toba este antrenată de un mecanism de avans al sârmei electrod și, după ce trece prin patinele de contact electric, este trimisă asupra rostului unde se produce arc electric. Sârma se topește și odată cu ea și fluxul. Arcul este bine protejat de către perna de flux aflată deasupra lui. [13]



Fig. 3.4. Sudarea sub strat de flux [5]

- **Alegerea rostului** se realizează, în principal, în funcție de procedeul de sudare și grosimea materialului de bază.
- **Alegerea diametrului sârmei** se alege în funcție de grosimea metalului de bază, poziția de sudare, modul de transfer, forma rostului, etc.
- **Calculul ariei rostului și cordonului de sudură**[13]

$$A_r = t \cdot b + (t - c)^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (3.4)$$

unde: A_r este aria totală a rostului;
 t - grosimea tablei;
 b - deschiderea rostului;
 c - înălțimea rostului;
 α - unghiul rostului).

$$A_c = k \cdot A_r \quad (3.5)$$

unde: A_c este aria cusăturii;
 A_r - aria totală a rostului;
 $k = 1,05 \dots 1,4$

(coeficientul k ține cont de secțiunea cusăturii regăsită în supraînălțarea acesteia).

Valorile mici ale coeficientului corespund grosimilor mari de material, iar valorile mari corespund grosimilor mici de material).

- **Calculul numărului de treceri** depinde în principal de natura metalului de bază, de modul de transfer utilizat, poziția de sudare, forma rostului, tipul îmbinării. Pe baza acestor factori se stabilește aria trecerilor. [13]

$$n_t = \frac{A_c - A_{tr}}{A_{tu}} + 1 \quad (3.6)$$

unde: n_t este numărul de treceri A_c – aria cusăturii; A_{tr} – Aria stratului de rădăcină;
 A_{tu} – Aria trecerilor de umplere;

▪ **Relațiile pentru calculul parametrilor de sudare SF** sunt prezentate în (tabel 3.10)
 Parametrii de productivitate a acestui procedeu de sudare depind în principal de viteza de avans a sârmei electrod respectiv de viteza de avans a aparatului de sudare. Densitatea de curent este cuprinsă între 400 și 1200 A sudarea fiind posibilă atât în curent continuu cât și curent alternativ. [13]

Tabel 3.10. Relațiile pentru calculul parametrilor de sudare SF [11]

Nr. Crt.	Intensitatea curentului de sudare I_s [A]	Tensiunea arcului U_a [V]	Viteza de sudare V_s [cm/min]
1.	$I_s = 21 \cdot d_e^2 + 24 \cdot d_e + 270$	$U_a = 2,125 \cdot 10^2 \cdot I_s + 16,5$	$V_s = \frac{\alpha d \cdot I_s}{F_t \cdot \rho}$
2.	400....1200 [A]	25.....42 [V]	40....120 [m/h]

Tabel 3.11. Alegerea diametrului sârmei în funcție de grosimea materialului de bază [5]

Grosimea minimă a materialului de bază [mm]	2.....6	7.....9	10.....14	14.....16
Diametrul sârmei electrod [mm]	2	3	4....5	5.....6

3.5. Specificațiile Procedurilor de Sudare (WPS):

Parametrii de sudare sub strat de flux și celelalte date specifice sudării sunt cuprinse în Specificația Procedurii de Sudare WPS (Welding Procedure Specifications). Aceasta reprezintă documentul scris formal care descrie procedurile de sudare, care oferă direcții sudorilor sau operatorilor de sudare pentru realizarea sudurilor conform cerințelor. Scopul documentului este de a ghida sudorii la procedurile acceptate, astfel încât să se utilizeze tehnici de sudură repetabile și sigure. Conține referiri la materiale de bază și de adaos, pregătirea lor, metoda de sudare, controlul sudurii, tratamentul termic înainte și postsudare, echipamentele care trebuie utilizate și pentru fiecare procedeu de sudare utilizat. Conform EN ISO 15609-1, Specificația Procedurii de Sudare reprezintă un document care prevede în detaliu variabilele necesare unei aplicații specifice pentru a asigura capacitatea de producție. Personalul care pregătește WPS - ul este instruit și deține diploma de studii internaționale de sudură EWF / IIW sau similar, ceea ce oferă siguranța că WPS-urile emise îndeplinesc cerințele europene / internaționale și posibilele cerințe ale clienților. Acest document se întocmește pe baza procesului verbal de calificare a procedurii de sudare (WPAR) care cuprinde toate datele relevante despre sudarea unei probe pentru calificarea unei proceduri de sudare precum și toate rezultatele obținute în urma examinării și încercării probelor sudate.[13]

WPS 1		SPECIFICAȚIA PROCEDURII DE SUDARE <i>(Conform EN ISO 15609-1:2004)</i>				Denumire reper:		
PROCEDEU DE SUDARE		135	121	121	Tip	Manual	Semiautomatic	
		MAG	SAW	SAW		Machine	Automatic	
MATERIALE DE BAZĂ			MATERIALE DE ADAOS					
MB 1,2	Marca:	S355J2+N		EN or AWS				
	Grupa:	2 / subgrupa 2.1		[1]	EN ISO 14341: G 42 4 M G3Si1 (Filcord C)			
	Grosime [mm]:	12	[2]	EN 756: S2 (AS35)				
			[3]	EN 14174: S A AB 1 67 AC H5 (AS461)				
			Uscare:		350°C / 2 h		Flux	
Temp. preîncălzire [°C]: 10			Gaz prot.:				CORGON 18	
Temp.max. între straturi [°C]: 175			Debit gaz [litru/min]:				20	
Postîncălzire [°C / hours]: -			Gaz la radac. [litru/min]:				NA	
DETALIU DE SUDURĂ								
REGIM DE SUDARE								
Rând	Proces sudare	Denumire mat. aport	Dimensiune material de adaos, Φ [mm]	Curent I _s [A]	Tens. U _a [V]	Tip, Polaritate	Vitez. sud. V _s [cm/min]	Energ. Lineară
	135	FILCORD C	1,2	300	27	DC+	95	5,12
1	135	FILCORD C	1,2	308	30	DC+	95	5,84
2	121	AS 35 + flux AS 461	4	700~720	36	DC+	61	25,4
3	121	AS 35 + flux AS 461	4	640~650	35	DC+	51	26,7
TEHNICA DE SUDARE							Revizia / Data	
Pregătire margini:					Mecanic			
Pendular:					-			
Craîtuire:					-			
Curățire între treceri:					Perie			

	[2] 35-40 mm pt.	
Distanța duză contact la piesă:	SAW	
Poziția și sensul de sudare:	PA	
Viteza avans sârmă [cm/min]	NA	
Oscilare (amplitudine,frecvență,dwell time):	NA	
Detalii sudare plasmă / Plasma welding details, torch angle:	NA	

3.6. Alegerea echipamentelor de sudare

3.6.1. Alegerea echipamentului de sudare MAG-M

Pentru sudarea MAG-M se alege echipamentul de sudare multiproces MIG-MAG/TIG/MMA, recomandat pentru sudarea în mediu protector a oricărui tip de material. Invertorul oferă 200 de amperi la 35%/40 grade C / ciclul de sudura, fiind o alegere excelentă pentru mentenanța, lucrări de șantier și confecție metalică.

- Sudează MIG MAG (cu sârma de sudură în mediu protejat ARGON sau CORGON), fără gaz cu sârmă flux (pentru spații deschise), TIG DC (cu material de adaos: inox, oțel carbon, cupru) și MMA (cu electrod învelit : inox, fontă, rutilici și bazici) - Reglaj fin al curentului de sudare au ajutorul potentiometrului .
- Reglaj viteza sarma si tensiune de sudare pentru funcția MIG MAG
- Fiabile și robuste, ușor de întreținut.
- Protecție termică cu termostat.
- Potrivit pentru sârma cu diametrul maxim de 200mm (max 5 kg).
- Kit livrare: pistol sudură MIG MAG - M15 cu conector EURO; cablu cu clește de masă 2ml; cablu cu clește portelectrod 2ml; masca sudură de mână; perie cu ciocănel pentru curățat zgura.
- Specificații Tensiune de alimentare : 230 V Gama de curent reglat : 10-200 A Curent la 60%: 153 A Curent maxim : 118 A în 100% ;Electrozi utilizabili : 1.6 - 4.0 mm Curent absorbit : 9.4 kVA max Tensiune în gol: 53 V Clasa de izolație : F Grad de protecție : IP 21
- Diametrul sârmei de oțel: 0.6-1.0 mm
- Diametru sârmă oțel inox: 0.8-1 mm ++
- Diametru sârmă aluminiu: 0.8-1.0 mm
- Dimensiuni: 485x185x370 mm Greutate: 12.5 kg [10]



Caracteristici generale

Tip aparat	Invertor
Tip alimentare	Electric
Tip sudare	MMA MIG/MAG
Clasa de protecție	IP 21
Clasa de izolație	F

Caracteristici tehnice

Curent maxim de sudare	200 A
Tensiune în gol	53 V
Diametru electrozi	1.6 mm 4mm

3.6.2. Alegerea echipamentului de sudare SF

Pentru sudarea sub strat de flux se utilizează echipamentul de sudare SAW Hugong Armada 1250 A. Aparat trifazic de putere foarte mare, sudare automata a materialelor lungi si groase cu sârma de sudură de max 6 mm. Alte caracteristici:

- Aparat sudură cu sursa putere 1250A, cu Durata Activă de lucru mare 80%, ideală pentru industria grea și sudare robotizată
- Roți pentru mobilitate
- Răcire cu ventilator
- Protecție supraîncălzire, suprasarcina, supra/sub tensiune
- Inclus tractoraș cu servo-motor [10]



Alimentare: 3 x 400 V
 Curent de sudare: 250 - 1250 A
 DA (10 min): 80% - 1250 A
 100% - 1000 A
 Tens.mers în gol: 75 V
 Putere Instalată: 90 KVA
 Grosime sârma: 2.0 - 6.0 mm
 Viteza sudare: 10 - 85 m/h
 Greutate: 405 + 78 Kg
 Dimensiuni LxLxI: 1100x720x1160 mm

3.7. Metode de control a îmbinărilor sudate

Controlul nedistructiv (nondestructive testing –NDT) reprezintă modalitatea de examinarea a rezistenței unei structuri, piese fără a fi necesară demontarea, ori distrugerea acesteia.

Metode de control nedistructiv:

3.7.1. Controlul cu Radiații X

Examinarea cu raze X constă în bombardarea piesei supusă controlului cu radiații X, obținându-se pe filmul radiografic imaginea structurii microscopice interne a piesei.

Generatoarele cu raze X, în funcție de energia pe care o furnizează și de domeniul lor de utilizare pot fi:[16]

- Generatoare de energii mici (tensiuni < 300 kV) pentru controlul pieselor din oțel de grosime mică (<70 mm);
- Generatoare de energii medii (tensiuni de 300...400 kV) pentru controlul pieselor din oțel de grosime mijlocie (100....125mm);
- Generatoare de energii mari (tensiuni de peste 1...2 Mv și betatroane¹ de 15...30 MV) pentru controlul pieselor din oțel de grosime mare (200....300 mm).

¹ Betatronul - primul model de accelerator de particule.

Metoda examinării cu raze X permite determinarea defectelor interne (pori, lipsă de pătrundere), măsurarea grosimilor. Se pot examina structuri de orice formă și mărime, din orice fel de materiale, fără o pregătire specială a suprafețelor.

Radiografia realizată prin raze X are un contrast bun și o rezoluție de calitate, înregistrarea se face prin film fotografic. [16]

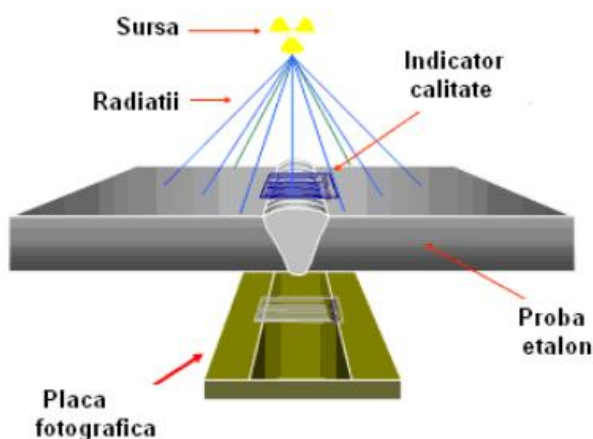


Fig. 3.5. Principiul metodei de control [16]

Aprecierea calității cusăturilor de sudură poate fi făcută, fie pe baza clișeului radiografiei, fie pe baza fotografiilor cusăturii. În vederea obținerii unei radiografii de bună calitate este necesar să fie îndeplinite anumite condiții. [16]

- ✚ Pregătirea suprafeței cusăturii înainte de radiografiere, prin eliminarea stropilor de sudură, îndepărtarea zgurii și a straturilor de protecție sau altor neregularități ale suprafețelor exterioare și interioare. Suprafața cusăturii se prelucrează, prin polizare, numai în cazurile când neregularitățile acestea ar putea crea dificultăți în evidențierea defectelor interne.
- ✚ Pentru identificarea radiografiilor, pe una din părțile laterale ale cordonului de sudură, trebuie plasate cifre sau litere din plumb care să apară pe film și care să servească la identificarea, fără dubiu a părții din îmbinarea examinată. Suprafața controlată trebuie să fie marcată, prin poansonare, în cel puțin două puncte, cu același indicativ. În cazul când condițiile de lucru ale piesei controlate nu permit poansonarea, se poate folosi și un alt procedeu adecvat. [16]
- ✚ În cazul executării unui control radiologie pe toată lungimea cordonului de sudură (radiografiere 100%), capetele filmelor succesive trebuie să se suprapună pe o lungime de cel puțin 10 mm, pentru ca nici o porțiune a cusăturii să nu fie omisă la radiografiere. [16]

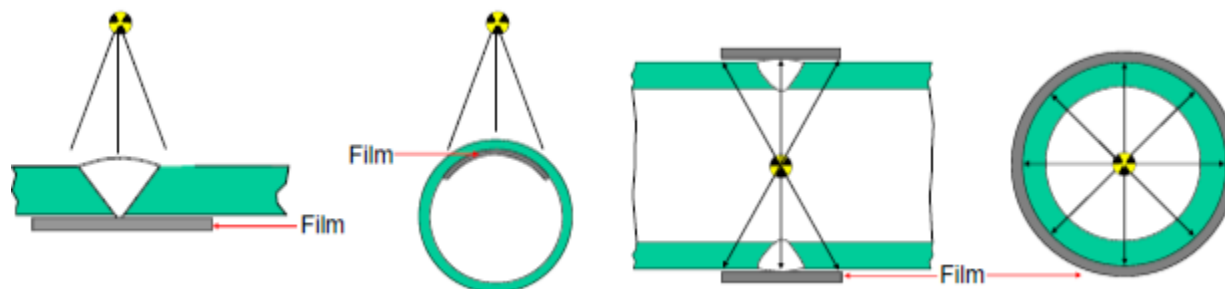


Fig. 3.6. Tehnici de control cu radiații X [16]

3.7.2. Control cu ultrasunete

Controlul ultrasonic a cunoscut în ultimii ani o mare dezvoltare și constituie una dintre cele mai moderne metode de control nedistructiv al îmbinărilor sudate.



Fig.3.7. Controlul cu ultrasunete

La controlul ultrasonic, se folosesc proprietățile fundamentale ale mișcărilor vibratorii și anume:

- viteza de propagare a undelor ultrasonice, depinde de natura mediului în vibrație; [16]
- mișcările undelor ultrasonice, se transmit de la un mediu la altul, respectând legile refracției
- la întâlnirea unor obstacole, undele ultrasonice se reflectă, după legile refracției.

Vibrațiile sunt caracterizate prin frecvența lor, iar când aceasta este mai mare decât limita superioară a frecvențelor acustice perceptibile de urechea omenească, apar vibrații ultrasonore. De obicei, termenul de „ultrasunete” se referă la frecvențe cuprinse între 16 kHz și circa 10 MHz. [16]

Metoda este bazată pe undele mecanice (ultrasunete) generate de un element piezomagnetic excitat la o frecvență cuprinsă de regulă între 2 și 5 MHz. Aceasta procedură se aplică la examinarea cu ultrasunete, prin metoda impuls reflectat, a îmbinărilor sudate pentru detectarea defectelor de sudare. Controlul presupune transmiterea, reflexia, absorbția unei unde ultrasonore ce se propagă în piesa de controlat. Fascicolul de unde emis se reflectă în interiorul piesei și pe defecte, după care devine către defectoscop ce poate fi în același timp emițător și receptor.

Poziționarea defectului se face prin interpretarea semnalelor. [16]

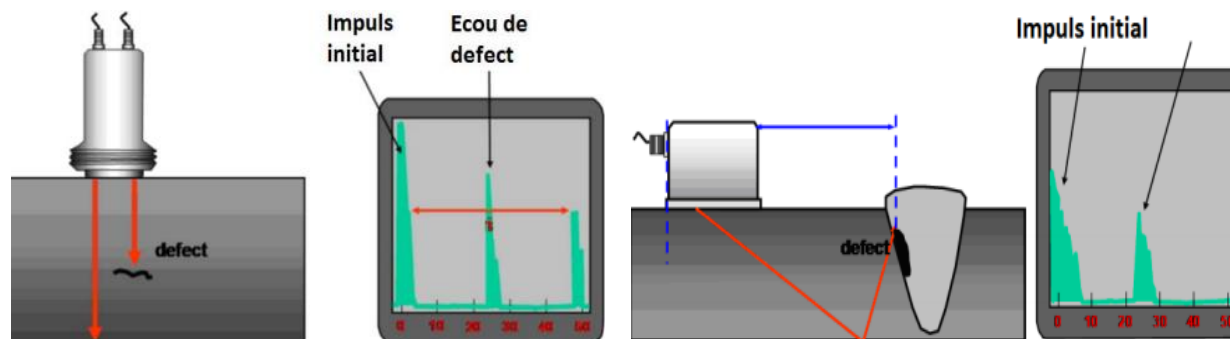


Fig. 3.8. Procedeul de lucru aplicat la controlul îmbinărilor sudate este bazat pe reflexia undelor ultrasonice, care constă în introducerea, sub un anumit unghi, de impulsuri ultrasonice emise de palpatorul emițător [16]

Beneficiile clare ale controlului non-distructiv NDT pentru utilizatorii săi sunt că pot dezvălui informații despre starea unui material fără a provoca daune nefavorabile sau perturbarea materialului sau al procesului. [16]

Metoda prezintă avantaje de a găsi defecte în profunzime datorită unei rezoluții ridicate, însă este lentă datorită necesității de scanare multiplă a piesei. Uneori este necesară executarea controlului pe mai multe suprafețe ale piesei. Metoda de control prin ultrasunete este foarte sensibilă la detectarea defectelor netede.[16]

Ultrasunetele se propagă în materiale cu viteze diferite, iar dacă pe direcția lor de propagare întâlnesc discontinuități de material, au loc reflexii ce sunt captate de traductori piezoelectrice, ce convertesc semnalele recepționate în semnale electrice. Prin defectoscopia cu ultrasunete se pot pune în evidență discontinuități de material volumele și plane, se pot măsura grosimi de material sau ale stratului de vopsea, lungimea semifabricatelor sau se pot determina o serie de constante elastice ale materialelor. Astfel de măsurători sunt extrem de utile pentru mentenanța echipamentelor energetice, măsurarea nivelului de coroziune și depistarea timpurie a unor defecte, prevenind astfel avarii și accidente în domeniul aerospațial, transporturi, industria energetică, petrochimică, construcții de mașini etc. Sensibilitatea de detecție este considerată ca fiind egală cu jumătate din lungimea de undă a ultrasunetelor. Orice imperfecțiune mai mică decât această limită va fi invizibilă. Relația dintre lungimea de undă λ , viteza sunetului în materialul respectiv și frecvența de oscilație f este dată prin relația 3.7. [16]

$$\lambda = \frac{v_{\text{sunet}}}{f} \quad (3.7)$$

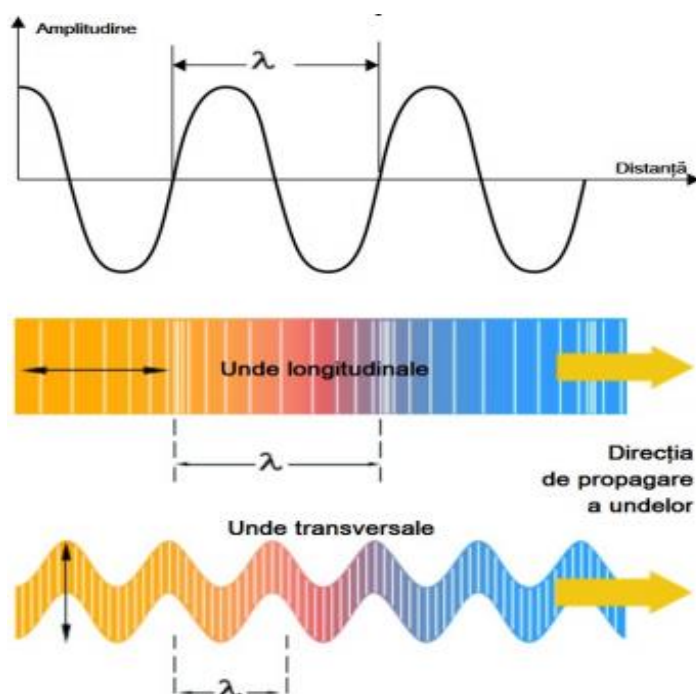


Fig. 3.9. Unde ultrasonice longitudinale si transversale [16]

În cazul undelor longitudinale, atomii materialului execută mișcări vibratorii în direcția de deplasare a undei (zonele de compresiune alternează cu cele de expansiune, figura 3.9), iar în cazul

undelor transversale, atomii execută mișcări vibratorii perpendicular pe direcția de deplasare a unei unde în material. Viteza de propagare a undelor transversale este cca. 1/2 din viteza de propagare a undelor longitudinale. În afara celor două modele de propagare a undelor prezentate în figura 3.9, mai există undele de suprafață Rayleigh și undele Lamb. [16]

3.7.3. Controlul vizual

Orice tip de investigare trebuie să fie urmată de o examinare vizuală a suprafeței. Procedeul este simplu dar indispensabil, examinarea vizuală presupune respectarea condițiilor de precizie potrivite a suprafețelor materialelor, echipamentelor și sudurilor luând în considerare caracteristicile și proprietățile acestora. [17]

Inspecția vizuală este făcută de personal care este instruit să detecteze și să evalueze imperfecțiunile de suprafață și să aibă o acuitate vizuală care să îndeplinească cerințele aplicabile.

O astfel de inspecție se va realiza pe întreaga suprafață exterioară și pe cât posibil pe cea interioară a fiecărei suprafețe. [17]

3.8. Concluzii

În al treilea capitol al proiectului de disertație am prezentat tipurile de sudare care sunt utilizate la asamblarea podurilor, caracterizarea materialelor auxiliare, a gazului de protecție și a parametrilor de sudare necesari pentru realizarea tehnologiei de fabricație.

Am continuat cu prezentarea metodelor de control NDT pentru examinarea rezistenței unei structuri sau piese fără a fi necesară demontarea, ori distrugerea acesteia.

Capitolul 4.

ÎNCERCAREA STRUCTURII PODURILOR

4.1. Noțiuni introductive

Podurile sunt una dintre cele mai importante structuri ingineresti, sudarea acestora oferă un mijloc eficient de îmbinare a plăcilor și formelor, groase și subțiri, în orice unghi și de-a lungul oricărei curbe și, astfel, ușor și rentabil permite geometrii mai complexe.

Podurile, de cale ferată, rutiere sau pietonale, în general, reprezintă noduri cheie ale infrastructurii de transport. Acestea au o importanță deosebită atât din punct de vedere economic, dar și social.

Există diferite tipuri de poduri construite în ultimul secol în funcție de lungimile de întindere și proprietățile materialelor, cum ar fi poduri cu arcuri de zidărie, poduri de beton, poduri din oțel, poduri suspendate, poduri cu cablu și poduri din lemn / cherestea.

Poduri de zidărie au fost construite la nivel mondial în scopuri sociale, economice și strategice. Inițial destinate să transporte doar vehicule pietonale și trase de cai, multe dintre aceste poduri istorice servesc în prezent ca componente critice ale sistemelor de transport și, prin urmare, trebuie să reziste la sarcini semnificativ mai mari. [13]

Podurile cu arc de zidărie dețin un loc important în structurile istorice. Nu sunt structuri complexe. Un pod cu arc de piatră este format din blocuri de piatră și îmbinări de mortar. Blocurile au o rezistență ridicată la compresiune și rezistență scăzută la tensiune, în timp ce mortarul are o rezistență în general scăzută. Podurile arcade de zidărie istorică sunt componente vitale ale sistemelor de transport în multe țări din întreaga lume, asigurând accesul bunurilor și serviciilor pentru milioane de oameni. Multe dintre aceste poduri, care au fost construite inițial pentru trecerea căruțelor, sunt utilizate pentru vehicule rutiere și feroviare. Acestea demonstrează o capacitate de sarcină surprinzător de mare și o durabilitate bună.[13]

Oțelul oferă multe avantaje constructorului de poduri, nu numai materialul în sine, dar și posibilitățile sale arhitectonice largi, cum ar fi raportul mare rezistență la greutate, material de înaltă calitate, viteza de construcție, versatilitate, modificări, reciclare, durabilitate și estetică.

Metoda elementelor finite a fost utilizată pe scară largă în aplicațiile de construcții civile încă din anii '50. Comportamentul static, dinamic, liniar și neliniar poate fi obținut și ilustrat folosind această metodă. În general, este de așteptat ca modelele cu elemente finite (FEM) bazate pe date tehnice de proiectare și judecăți de inginerie să poată genera simulări fiabile. Cu toate acestea, din cauza incertitudinilor de modelare, de multe ori aceste modele nu pot prezice caracteristici dinamice cu nivelul necesar de precizie. Acest lucru crește necesitatea verificării modelelor cu elemente finite folosind teste de măsurare experimentale nedistructive. [13]

4.2. Încercarea structurilor podurilor

Ținând seama de importanța acestora, este firească implementarea unor reglementări ce impun încercarea structurilor de poduri înainte de darea în folosință. Aceste teste vizează în general comportarea sub încărcări a structurilor de poduri, atât pentru încărcări în regim static, cât și dinamic. [21]

În cazul majorității structurilor de poduri este obligatorie implementarea unui program de încercare, înainte de darea în funcțiune. De obicei, pentru poduri cu deschideri mici și cu un sistem structural simplu, programul de încercare constă doar din încercarea în regim static. În situația în care se utilizează tehnologii speciale pentru execuție, materiale sau modelul structural sunt necesare, de asemenea, și încercări în regim dinamic.[21]

Determinarea răspunsului dinamic al podurilor în condiții de încărcare statică și dinamică, precum vânt, cutremur sau trafic, este foarte complexă și necesită studii speciale.

4.2.1. Importanța încercării podurilor

Condițiile de execuție, materialele și tehnologiile utilizate pot conduce la abateri, mai mici sau mai mari, de la proiectul structurii. De asemenea este necontestată importanța unui pod asupra activității umane, atât din punct de vedere social, dar și din punct de vedere economic. [23]

Ca urmare a celor menționate, în general, conform reglementărilor la nivel național, dar și la nivel internațional, înainte de recepția finală, pentru structurile de poduri sunt prevăzute programe de încercare speciale, diferite de încercările normale și periodice ce au loc pe parcursul execuției. Aceste programe de încercare se referă la observarea comportării structurilor de poduri sub încărcări și au două componente: încercări la încărcări în regim static și încercări în regim dinamic de încărcare. [23]

Complexitatea programul de încercări este aleasă în funcție de diverși factori, cum ar fi:

- complexitatea structurii podului,
- importanța acestuia,
- materialele și tehnologiile utilizate etc.

4.3. Teste de măsurare experimentale nedistructive:

- **Test de încărcare dinamică** - monitorizează mișcarea podului în timpul funcționării normale sau aplicării unei sarcini de rulare (vehicul cu mărfuri grele), folosind senzori de mișcare de înaltă frecvență sau tehnologie video de recunoaștere a modelului fără contact.
- **Test de sarcină statică** – aplică sarcina folosind containere mari de testare a sarcinii și monitorizează mișcările structurale rezultate. [22]

Testele statice și dinamice ale podurilor sunt efectuate în mod obișnuit înainte de a intra în serviciu pentru a valida structural specificații, sau în timpul duratei de funcționare a acestora, pentru a furniza anchete de diagnostic pentru planificarea reabilitării, mentenanță și reparații.

4.3.1. Metode de încercarea a structurilor podurilor pentru încercarea în regim dinamic

Testarea dinamică a podurilor rutiere este reglementată vag la nivel național. Standardul care reglementează testarea experimentală a podurilor feroviare și rutiere din România este STAS 12504-86. Pentru cazul testării dinamice, Standardul român oferă câteva informații despre cum să asigurați încărcarea dinamică a podurilor, aceasta enumeră caracteristici care pot fi urmărite prin testare, dar fără a da informații despre cum se pot procesa date experimentale. [21]

4.3.1.1. Principii generale de măsurare

În funcție de etapa de încercare, solicitarea dinamică a unui pod se realizează cu ajutorul unui camion de probă cu 4 osii, încărcat cu balast (fig.4.1) având o masă totală de 40 tone.

Șocul necesar realizării încercării dinamice se datorează trecerii camionului peste un prag construit dintr-un dulap din lemn de 4 cm înălțime. Muchiile din partea superioară a dulapului trebuie să fie teșite la 40 - 45 grade. [13]

În timpul deplasării pe structură, acesta suportă un șoc la întâlnirea cu un prag realizat dintr-un dulap de lemn. În timpul încercării, camionul se deplasează pe ambele sensuri ale structurii, pentru deschiderile monitorizate, dulapul de lemn fiind amplasat, de fiecare dată, pe banda încărcată a tablierului. Pe durata încercării sunt înregistrate în mod continuu accelerațiile podului. Conform STAS-ului 12504 (1986), pentru fiecare schemă de încărcare dinamică este necesară realizarea încercărilor pentru cel puțin 5 trepte de viteză diferite. [13]

- Treapta 1: Camionul rulând cu viteza de 10 km/h;
- Treapta 2: Camionul rulând cu viteza de 20 km/h;
- Treapta 3: Camionul rulând cu viteza de 30 km/h;
- Treapta 4: Camionul rulând cu viteza de 40 km/h;
- Treapta 5: Camionul rulând cu viteza de 50 km/h;

Realizarea încercărilor în funcție de treptele de viteză trebuie să țină cont de forma podului și a limitărilor de viteză ce au fost impuse după deschiderea traficului. După înregistrarea accelerațiilor, datele sunt prelucrate, fiind calculate valorile variațiilor accelerațiilor în timpul încercărilor, respectiv frecvențele structurii și decrementul logaritmic corespunzător mișcărilor libere. [13]



Fig.4.1 Camion de probă pentru încercarea dinamică [13]



Fig.4.2. Pragul în lemn cu muchiile teșite [13]

Din punct de vedere teoretic, încercarea podurilor cu încărcări de probă în regim dinamic are ca scop determinarea tuturor caracteristicilor dinamice ale structurii podurilor, coeficient de amplificare dinamic, frecvențe și, respectiv, perioade proprii de vibrație, decrement logarithmic al vibrațiilor libere, fracțiune din amortizarea critică (STAS 12504, 1986). În funcție de complexitatea aparaturii de testare, de volumul mare de teste necesare pentru determinarea acestora și de condițiile economice în care sunt realizate încercările, în general, testele experimentale urmăresc doar o parte a acestor caracteristici dinamice. [30]

Încercările podurilor au ca scop obținerea frecvențelor de vibrație și a fracțiunii din amortizarea critică rezultate din oscilațiile verticale induse la nivelul tablierului podului.[22]

4.3.1.2. Realizarea încărcării dinamice cu instalații de produs vibrații

Instalațiile de produs vibrații se pot clasifica în funcție de tipul acțiunii induse. Astfel putem avea instalații pentru inducerea vibrațiilor forțate, în regim staționar, și instalații pentru inducerea unor acțiuni dinamice de tip șoc. Dispozitivele utilizate pentru inducerea vibrațiilor forțate se diferențiază în funcție de tehnologia care stă la baza realizării echipamentului. [30]



Fig. 4.3. Vibrator electrodinamic așezat pe traductori de forță



Fig. 4.4. Vibrator servohidraulic [13]



Fig. 4.5. Vibrator mecanic bazat pe oscilația unei mase excentrice [13]

În urma acestor teste se determină frecvențele de vibrație verticală ale tablierului și decrementul logarithmic al mișcării la vibrații libere prin intermediul căruia se poate determina fracțiunea de amortizare critică. Ca urmare a sensibilității ridicate a aparatelor, necesară pentru preluarea tuturor oscilațiilor tablierului la vibrații și exprimată prin numărul mare de valori măsurate pe secundă, accelerațiile măsurate sunt influențate și de vibrațiile ambientale, și în mod special, în acest caz, de vibrațiile induse de rularea camionului de probă. Pentru determinarea mai exactă a frecvențelor de vibrație ale unui pod se pot realiza spectre de putere în scopul determinării conținutului în frecvențe al mișcării. [28]

Echipamentele utilizate pentru inducerea șocurilor pot fi dispozitive realizate artizanal sau dispozitive specializate. Un aspect important privitor la aceste echipamente, valabil într-o oarecare măsură și pentru echipamentele prezentate mai sus, îl constituie masa dispozitivului care produce

șocul. Aceasta trebuie să fie reprezentativă pentru masa totală a podului testat astfel încât șocul produs să se transmită în întreaga suprastructură încercată.

Măsurarea deformațiilor specifice, cu ajutorul traductorilor tensometrici sau a traductorilor optici, se încadrează aproximativ pe aceeași treaptă de complexitate din punctul de vedere al determinării caracteristicilor dinamice, cu un plus în ceea ce privește determinarea stării de tensiune locale pe suprafața elementelor. [22]

Dezavantajul utilizării acestor echipamente constă în cheltuieli cu echipamente nerecuperabile, ce rămân lipite pe elementele încercate sau înglobate în beton.

Utilizarea accelerometrelor pentru determinarea caracteristicilor dinamice, este cea mai simplă metodă experimentală, din punctul de vedere al echipamentelor de măsură, apărând restricții privind caracteristicile dinamice determinate. Din punct de vedere al excitației cea mai performantă metodă este utilizarea echipamentelor pentru inducerea de vibrații armonice forțate, în regim staționar, sau, cu performanțe ceva mai reduse a instalațiilor de indus solicitări dinamice prin șoc.[27]

De asemenea, la interpretarea rezultatelor experimentale trebuie ținut cont de faptul că circulația vehiculului de probă induce pe calea de rulare vibrații, asimilate unor vibrații armonice forțate, cu diverse frecvențe ce se pot regăsi în gama de frecvențe rezultate din analiza oscilațiilor podului. Din punct de vedere al modului de amortizare al vibrațiilor o evaluare calitativă se poate realiza din analiza vizuală a mișcării, observându-se o atenuare rapidă a oscilațiilor, dar și o evaluare cantitativă din analiza înregistrărilor. [25]

Se poate aprecia că pentru amortizarea vibrațiilor, un rol important îl are componenta din beton a tablierului.

4.3.2. Metode de încercarea a structurilor podurilor pentru încercarea în regim static

Încercarea în regim static se efectuează prin încărcarea progresivă a structurii. Astfel, într-o primă etapă sunt aduse la poziție camioanele dispuse pe banda 1 de circulație, apoi pe cele de pe banda 2. Descărcarea se realizează, de asemenea, progresiv, dar în ordinea inversă încărcării. Circulația camioanelor pe pasaj înainte și după încercare se efectuează cu viteză scăzută, de cca. 5 km/h. Acestea opresc în poziția indicată în cadrul proiectului de încercare, respectându-se schemele de încărcare. În fiecare etapă de încărcare – descărcare sunt efectuate citiri ale aparatelor de măsurare și observări vizuale ale comportamentului structural pentru a putea determina cât mai repede eventualele erori apărute în cadrul procesului de încercare a structurii. [26]

4.3.2.1. Încărcarea podurilor cu ajutorul convoaielor de probă

O metodă practică de inducere a unei acțiuni dinamice la poduri este reprezentată de utilizarea unor convoaie de vehicule ce rulează cu diverse viteze pe pod. Tipul convoaielor de vehicule se stabilește prin proiectul de încercare, singura indicație a standardului de încercări fiind dată sub forma eficienței statice. Convoiul de vehicule trebuie ales prin compararea cu încărcările de calcul ale podului, aceasta fiind dată de diverse convoaie de calcul. Prin evaluarea prin calcul a unei mărimi caracteristice a podului (efortul într-o secțiune oarecare a unui element component,

deformații sau deplasări ale elementelor) și făcând raportul între mărimea rezultată ca urmare a încărcării din convoiul de probă și cea produsă de convoiul de calcul, se determină eficiența statică, conform relației următoare (STAS 12504, 1986): [22]

$$E_{s \text{ dinamic}} = \frac{S_{test}}{S_{calcul}} \leq 0.70$$

Unde:

- $E_{s \text{ dinamic}}$ - reprezintă eficiența statică a convoiului de probă pentru încărcarea în regim dinamic
- S_{test} este mărimea caracteristică evaluată ca urmare a acțiunii convoiului de probă
- S_{calcul} este mărimea caracteristică evaluată ca urmare a acțiunii convoiului de calcul.



Fig.4.6. Detaliu la trecerea camionului peste pragul de lemn [21]

Pentru podurile rutiere convoaiele de probă sunt constituite cu ajutorul camioanelor încărcate cu balast. În cazul în care pentru atingerea eficienței statice este nevoie de mai mult de un camion, atunci camioanele trebuie să ruleze în același sens în paralel. În fig.4.6 se poate vizualiza un detaliu cu trecerea unui camion de probă peste pragul artificial, utilizat pentru inducerea unei acțiuni de tip șoc, iar în fig. 4.7 este reprezentat un convoi de probă realizat din două camioane ce rulează în paralel. [22]



Fig.4.7. Convoi de probă realizat din două camioane de 40 t în timpul încercării dinamice [22]

4.4. Concepte moderne de inspecție a podurilor

Analizând inconvenientele inspecțiilor vizuale utilizate la determinarea stării tehnice a podurilor, în întreaga lume s-au dezvoltat ample programe de cercetare dedicate conceptelor moderne de optimizare a lucrărilor de întreținere și intervenții. Aceste cercetări se datorează conștientizării gradului ridicat de importanță a structurilor de poduri pentru întreaga rețea rutieră. Pe lângă necesitatea permanentă de cunoaștere a stării tehnice, este necesară și alocarea optimă a fondurilor bugetare limitate avute la dispoziție pentru întreținerea structurilor, utilizându-se modele de predicție a evoluției defectelor și degradărilor în condițiile date. Unul dintre obiectivele noilor abordări este reprezentat de realizarea celor mai bune estimări privitoare la cantitățile de lucrări necesare întreținerii și reparației structurilor, alături de costurile implicate de realizarea acestora. Modelele structurale astfel dezvoltate sunt up-date constant pe baza datelor provenite de la testele nedistructive efectuate structurilor. [21]

4.4.1. Tipuri de teste pentru evaluarea stabilității rezistenței la vânt

4.4.1.1. Testul stabilității rezistenței la vânt

Secțiunea Model Test este realizată pentru a evalua stabilitatea rezistenței la vânt a podului. Este un test de bază, totuși unul dintre cele mai importante, care este, de asemenea, rentabil.

În teste este utilizat un model rigid cu reprezentarea unei secțiuni a podului, incluzând grinzi, bariere și balustrade pentru mașina de inspecție, care este evaluat prin intermediul sistemului de sprijin al arcului, al sistemului de măsurare a forței eoliene și a oscilatorului forțat în tunelul de vânt. Sistemul de susținere a arcului permite mișcarea modelului pentru testarea vibrațiilor, iar forțele vântului care acționează asupra modelului sunt măsurate de două celule de sarcină cu trei componente.[24]

Rezultatele testelor arată principalele probleme privind stabilitatea vântului podului și, prin analiza ulterioară a acestor rezultate, inginerii trebuie să ofere sugestii cu privire la sistemele de control a vibrațiilor aerodinamice sau structurale.

4.4.1.2. Testul pilonilor podurilor

Pilonii pentru podul cu cablu și podul suspendat sunt, în general, în formă zveltă, care sunt vulnerabile la sarcina vântului. Stâlpii sunt deosebit de vulnerabili atunci când sunt singuri în faza de montaj, înainte de instalarea cablurilor, datorită proprietăților lor de amortizare structurale scăzute.[24]

Testele la tunelul de vânt ale pilonului includ testele modelului aeroelastic și testele forței vântului în diferite etape de construcție.

Testele modelului aeroelastic sunt efectuate pentru a evalua stabilitatea aerodinamică a stâlpului liber. Testele forței vântului sunt realizate pentru a asigura coeficienții forței vântului picioarelor pilonului sau a pilonului întreg.[24]

4.5. Concluzii

Încercarea dinamică a podurilor înainte de darea în funcțiune a acestora reprezintă un ansamblu de metode experimentale și procedee experimentale. La realizarea proiectelor de încercare trebuie să se țină seama de complexitatea încercării în ansamblu.

O metodă utilizată frecvent este cea a utilizării convoaielor de probă, având ca principal dezavantaj inducerea de vibrații perturbatoare a căror frecvență de vibrație poate apare distinct în conținutul de frecvențe al mișcării înregistrate sau se poate suprapune cu unul din modurile de vibrație ale podului încercat.

OPIS FIGURI

Fig. 1.1.	Podul de la Fetești-Cernavodă peste Dunăre proiectat de inginerul român Anghel Saligny
Fig. 1.2.	Podul peste râul Doftana
Fig. 1.3.	Podul de la Moșoare peste râul Trotuș – Târgu Ocna
Fig. 1.4.	Podul din Onești peste râul Trotuș proiectat de inginerul român Anghel Saligny
Fig. 1.5.	Podul Prieteniei, Giurgiu –Ruse
Fig. 1.6.	Podul Prieteniei, Giurgiu –Ruse, dat în exploatare la data de 20 iunie 1954
Fig. 1.7.	Podul peste Dunăre de la Brăila – 2019
Fig. 1.8.	Podul Osman Gazi care traversează Golful Izmit – 2016
Fig. 1.9.	Primele lucrări la viaductul Combinatului Siderurgic Galați, anul 1968, Galați
Fig. 1.10.	Elemente constructive ale unui pod
Fig. 1.11.	Elemente constructive ale unui pod structură mixtă oțel-beton tip grinzi înmglobate
Fig. 2.1.	Brame din oțel S355 J2 C+N
Fig. 2.2.	Aplicații ale oțelului corten
Fig. 2.3.	Laminarea oțelului S355J2+N
Fig. 2.4.	Echipament pentru încercarea la tracțiune
Fig. 2.5.	Diagrama Re și Rm în funcție de alungire
Fig. 2.6.	Zonele de deformare ale probelor
Fig. 2.7.	Etapetele procesului de deformare a epruvetelor la încercarea la tracțiune
Fig. 2.8.	Test Rockwell cu bile
Fig. 2.9.	Test Rockwell cu corp conic
Fig. 2.10.	Test <i>Vickers</i>
Fig. 2.11.	Schema testului la impact, [mm]
Fig. 2.12.	Schema testului la impact în mm vizualizată de sus
Fig. 2.13.	Graficul curbei de tranziție
Fig. 2.14.	Regiunile structurale diferite ale unei zone afectate de căldură
Fig. 2.15.	Graficul curbei de „ <i>duritate-răcire</i> ”
Fig. 2.16.	Curbele de viteză de răcire a durității pentru patru tipuri de carbon oțeluri obișnuite și intervale de viteză tipice de răcire pentru diferite procese de sudare.
Fig. 2.17.	Schema încercării la tracțiune
Fig. 2.18.	Echipamentul folosit încercările mecanice
Fig. 2.19	Aspectul tipic al curbei caracteristice pentru oțelurile de duritate medie
Fig. 3.1.	Clasificarea fluxurilor de sudare
Fig. 3.2.	Sudarea în mediu activ de gaze (MAG)
Fig. 3.3.	Tipul și dimensiunile rostului la sudare
Fig. 3.4.	Sudarea sub strat de flux
Fig. 3.5.	Principiul metodei de control
Fig. 3.6.	Tehnici de control cu radiații X
Fig. 3.7.	Controlul cu ultrasunete
Fig. 3.8.	Procedee de lucru aplicat la controlul îmbinărilor sudate este bazat pe reflexia undelor ultrasonice, care constă în introducerea, sub un anumit unghi, de impulsuri

Fig. 3.9.	ultrasonice emise de palpatorul emițător
Fig. 4.1.	Unde ultrasonice longitudinale si transversal
Fig. 4.2.	Camion de probă pentru încercarea dinamică
Fig. 4.3.	Pragul in lemn cu muchiile teșite
Fig. 4.4.	Vibrator electrodinamic așezat pe traductori de forță
Fig. 4.5.	Vibrator servohidraulic
Fig. 4.6.	Vibrator mecanic bazat pe oscilația unei mase excentrice
Fig. 4.7.	Detaliu la trecerea camionului peste pragul de lemn
Fig. 4.7.	Convoi de probă realizat din două camioane de 40 t în timpul încercării dinamice

OPIS TABELE

Tabel 2.1.	Standard și marcă de oțel pentru construcții
Tabel 2.2.	Compoziția chimică a oțelurilor utilizate la poduri
Tabel 2.3.	Caracteristicile mecanice ale oțelurilor corten în funcție de grosime EN 10025
Tabel 2.4.	Testul la impact KV în funcție de temperatură
Tabel 3.1.	Analiza chimică a sârmei [%]
Tabel 3.2.	Caracteristici mecanice
Tabel 3.3.	Ambalare standard
Tabel 3.4.	Diametrul și rezistența minimă la rupere a sârmelor de sudură MAG
Tabel 3.5.	Exemple de mărci de sârme pentru sudarea în mediu de gaz protector a oțelurilor
Tabel 3.6.	Alegerea gazului de protecție în funcție de metalul de bază
Tabel 3.7.	Clasificarea fluxurilor de sudare în funcție de compoziția chimică
Tabel 3.8.	Alegerea diametrului electrodului în funcție de grosime materialului de bază
Tabel 3.9.	Relațiile pentru calculul parametrilor de sudare MAG-M
Tabel 3.10.	Alegerea diametrului electrodului în funcție de grosime materialului de bază
Tabel 3.11.	Relațiile pentru calculul parametrilor de sudare SF
Tabel 3.12.	Alegerea diametrului sârmei în funcție de grosimea materialului de bază

BIBLIOGRAFIE

- [1] <https://ro.wikipedia.org/wiki/Pod>;
- [2] Iordanescu, D., Georgescu, C.: Construcții pentru transporturi, în România, monografie, CCCF, București, 1986.;
- [3] Standard SR EN 10025-1:2019
- [4] Vermesan H., Mudura P., Vermesan G., Berara A.: Bazele teoretice ale tratamentelor termice, 2002
- [5] Suciu V., Suciu M.: Studiul Materialelor, 2008
- [6] Mechanical mounting of accelerometers, International Organization for Standardization, Geneva.
- [7] Hohne, K.I.: Proprietățile tablelor brute în direcția grosimii și însemnătatea lor pentru construcții de oțel sudate. In: Stahlbau, Germania, nr.3, 1976.
- [8] Standard STAS 1126/87.
- [9] ESDEP - European Steel Design Education Programme: Structural Systems - Refurbishment, Lecture 16.5, Vol. 28 Londra – 1995.
- [10] Catalog *Ductil - Consumabile sudare*, Compania Air Liquide
- [11] Dehelean D., *Sudarea prin topire*, Editura Sudura, Timișoara, 1997;
- [12] Vișan D. *Tehnologii de sudare*, Editura Fundației Universitare „Dunărea de Jos”, Galați, 2008;
- [13] Mihăilescu D., Mihăilescu A., Lupu G., *Tehnologia sudării prin topire - Îndrumar de proiectare*, Editura Fundației Universitare „Dunărea de Jos” Galați, 2004
- [14] www.aws.org
- [15] www.emag.ro
- [16] Non-destructive testing of welds - Acceptance levels for radiographic testing - Part 1: Steel, nickel, titanium and their alloys (ISO 10675-1:2008)
- [17] <http://www.ansndt.com>
- [18] www.examinarinedestructive.ro
- [19] Florin Vitan - Ingineria proceselor în textile și pielărie Vol. II – OPERAȚII UNITARE
- [20] Stainless Steel: 1.4301 Sheet and Plate (Quarto Plate & CPP)
- [21] Dehelean D., *Sudarea prin topire*, Editura Sudura, Timișoara, 1997;
- [22] Vișan D. *Tehnologii de sudare*, Editura Fundației Universitare „Dunărea de Jos”, Galați, 2008;
- [23] *Brige Welding Reference Manual* – US Departament Transportation, 2019
- [24] www.emag.ro
- [25] Non-destructive testing of welds - Acceptance levels for radiographic testing - Part 1: Steel, nickel, titanium and their alloys (ISO 10675-1:2008)
- [26] www.examinarinedestructive.ro
- [27] Catalog *Ductil - Consumabile sudare*, Compania Air Liquide
- [28] Mihăilescu A. et al., *Tehnologia sudării prin topire – Îndrumar de proiectare*, Editura Fundației „Universității Dunărea de Jos Galați”, 2004 (168 pagini)
- [29] Scutelnicu E., *Proiectare asistată de calculator a tehnologiilor de sudare – Fundamentarea pe criterii economice a tehnologiei optime de sudare pentru un subsamblu sudat - Note de curs* Universitatea „Dunărea de Jos”, Galați, 2004.
- [30] CHOPRA, Anil Kumar (2006) Dynamics of Structures, 3rd edition, Prentice Hall, New Jersey 5. GHINDEA, Cristian Lucian, CRUCIAT, Radu, CREȚU, Dan (2013)

- [31] ISO 5348 (1998) 6. *Mechanical mounting of accelerometers*, International Organization for Standardization, Geneva.
- [32] 7.STAS 12504 (1986) *Poduri de cale ferată, de șosea și pasarele. Încercarea suprastructurilor cu acțiuni de probă*, Institutul Român de Standardizare, București.
- [33] Teza de doctorat "Contributii privin analiza structurii unui doc plutitor la sollicitari extreme", Ing. Elisabeta C. Burlacu, Galați, 2010.