

# STUDIU PRIVIND ÎMBUNĂȚIREA REZILIENȚEI OȚELURILOR DE ÎNALTĂ REZISTENȚĂ DESTINATE PRODUSELOR LAMINATE PLATE PENTRU CONSTRUCȚII NAVALE

Prof. univ. dr. ing. Elisabeta VASILESCU<sup>1</sup>, Ș.I. dr. ing. MARIAN-IULIAN NEACȘU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sucursala AGIR Galați, România, <sup>2</sup>Universitatea „Dunărea de Jos“, Galați, România

**REZUMAT.** Lucrarea prezintă oțelurile destinate tablei navale și caracteristicile impuse de norme, dar și sinteza rezultatelor cercetărilor cu privire la influența prelucrărilor termice neconvenționale și termomecanice asupra caracteristicilor de utilizare ale produselor laminate plate din oțeluri navale (table navale). Modificările structurale și de proprietăți obținute în variantele experimentale ale tratamentului termic neconvențional (din punct de vedere a temperaturii de încălzire) și al tratamentelor termomecanice au fost comparate cu cele prescrise prin norma de produs.

**Cuvinte cheie:** oțel naval, laminat, sudabilitate, reziliență, prelucrare termomecanică.

**ABSTRACT.** The paper presents the steels intended for naval sheet metal and the characteristics imposed by the rules, but also the synthesis of research results regarding the influence of thermal and thermomechanical processing on the usage characteristics of flat rolled products from naval steels (naval sheets). The structural and property changes obtained in the experimental variants of the non-conventional heat treatment (from the point of view of the heating temperature) and of the thermomechanical treatments were compared with those prescribed by the product norm.

**Keywords:** naval steel, rolled, weldability, resilience, thermomechanical processing.

## 1. INTRODUCERE

Ponderea cea mai mare a produselor din construcția navală o deține corpul navei, care se execută din table, benzi, profile și bare, din oțeluri cu granulație fină, destinate operației de sudare a elementelor componente [1].

Calitatea produselor din oțel și calitatea sudurilor asigură siguranța și perioada de exploatare a navei; Ameliorarea continuă a calității se face prin acțiuni planificate și sistematice, necesare pentru a da încrederea că produsele laminate plate destinate industriei navale satisfac condițiile de calitate specificate în normele navale [2].

Oțelurile pentru industria navală îndeplinesc cerințele Asociației Internaționale a Societăților de Clasificare (IACS) [3-11], iar simbolizarea acestora se face cu litere și cifre astfel: A, D, E; A, D, E 32; A, D, E 36; A, D, E 40 [9,10,11]. Fiecare grupă are valori unice pentru limita la curgere ( $R_{p0.2} = 235; 315; 355; 390 \text{ N/mm}^2$ ) și tenacitate, exprimată prin energia de rupere la încercarea de încovoiere prin șoc (KV = 27; 31; 34 și 39J).

Clasa (A, D, E) cuprinde oțelurile carbon nealiate și este destinată elementelor sudate ale structurilor

portante ale navelor fluviale și maritime de mic tonaj. Clasele (A, D, E 32); (A, D, E 36); (A, D, E 40) sunt oțeluri care conțin cantități mici de cupru, aluminiu, crom nichel, molibden, niobiu și vanadiu, fiind destinate elementelor sudate de structuri portante ale navelor maritime de tonaj mediu și mare; Din oțelurile clasa (A, D, E 40) se execută elementele de rezistență din zona centrală a navelor maritime de mare tonaj.

Tabla din oțel cu rezistență normală se caracterizează prin valoarea limitei de curgere minimă de  $235 \text{ N/mm}^2$  și temperatura la care se determină reziliența, după cum urmează: grupa A cu reziliența determinată la ( $0^\circ\text{C}$ ); grupa D cu reziliența determinată la ( $-20^\circ\text{C}$ ); grupa E cu reziliența determinată la ( $-40^\circ\text{C}$ ).

Tabla din oțel cu rezistență ridicată se caracterizează prin valoarea limitei de curgere minimă cuprinsă în intervalul:  $315 - 390 \text{ N/mm}^2$  pentru următoarele niveluri de rezistență:

- nivelul de rezistență 32 (A32, D32, E32), cu limita de curgere de  $315 \text{ N/mm}^2$ ;
- nivelul de rezistență 36 (A36, D36, E36), cu limita de curgere de  $355 \text{ N/mm}^2$ ;
- nivelul de rezistență 40 (A40, D40, E40), cu limita de curgere  $390 \text{ N/mm}^2$ .

## ÎMBUNĂȚIREA REZILIENȚEI OȚELURILOR DE ÎNALTĂ REZISTENȚĂ

În ceea ce privește starea de livrare a tablei navale, aceasta poate fi starea laminată, însă cu condiția obținerii în mod constant a unor rezultate satisfăcătoare la încercarea de încovoiere prin șoc (reziliența).

Pentru tabla din oțeluri cu rezistență normală, categoria A, toate grosimile și categoria D grosimi mai mici de 35mm, starea de livrare nu se regementează, însă pentru categoria D, la grosimi strict mai mari de 35mm și categoria E toate grosimile, starea de livrare recomandată este starea structurală conferită de următoarele modalități de procesare termică sau termomecanică:

- normalizare (N);
- laminare cu temperatură controlată (L.C.);
- tratamente termomecanice (TTM).

Pentru tabla din oțeluri cu rezistență ridicată, starea de livrare a acesteia depinde de categoria de oțel, adică de compoziția chimică caracterizată de prezența elementelor chimice care finisează granulația [12-17] și de grosimea tablei, conform tabelului 1.

În tabelul 2 sunt prezentate proprietăți mecanice ale tablelor navale din oțeluri de înaltă rezistență conform normei de produs la livrare.

## 2. CONDIȚII EXPERIMENTALE

Având în vedere starea structurală de livrare a tablei navale, în prezentul studiu s-a analizat influența prelucrărilor termice neconvenționale și a tratamentelor termomecanice asupra proprietăților mecanice, având ca referință valorile impuse de normă. Conform normelor în vigoare, produsele plate se livrează în stare normalizată sau într-o stare echivalentă obținută prin laminare normalizantă.

În experimentările la scară de laborator s-au folosit eșantioane de tablă navală (grosimi de 10-40mm) din oțel cu granulație fină (punctele critice de transformare în stare solidă ale oțelului sunt:  $Ac_1=715\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $Ac_3=875\text{ }^\circ\text{C}$ ), clasa A36 și E36 pentru construcții sudate.

Pentru studiul influenței tratamentelor termice cu încălzire în intervalul intercritic al oțelului s-au experimentat următoarele modalități de încălzire:

a) încălzirea directă de la temperatura ambiantă până în intervalul A1-A3 (numită și încălzire de “jos în sus”);

b) austenitizare prealabilă a oțelului urmată de prerăcire până în intervalul A3-A1 (numită și încălzire de “sus în jos”).

Tabelul1. Starea de livrare a tabelor navale din oțeluri de înaltă rezistență

Categorie Oțel	Elemente de finisare a granulației	Grosime, t (mm)	Stare de livrare
A32 A36 A40	Nb, V	$\leq 12.5$ $> 12.5$	Nu se reglementează (oricare) N, CR sau TM
A32 A36 A40	Al sau Al+Ti	$20 < t \leq 35$ $> 35$	Nu se reglementează (oricare) N, CR sau TM
D32 D36 D40	Nb, V	$\leq 12.5$ $> 12.5$	Nu se reglementează (oricare) N, CR sau TM
D32 D36 D40	Al sau Al+Ti	$20 < t$ $\leq 25$	Nu se reglementează (oricare) N, CR sau TM
E32 E36 E40	ricare	Toate	N, TM, (QT)

Tabelul2. Proprietăți mecanice ale tablelor navale din oțeluri de înaltă rezistență

Oțel	Proprietati			Încercarea la încovoiere prin soc Test Charpy pe epruvete cu crestatura în V		
	$R_m$ N/mm <sup>2</sup>	$R_c$ N/mm <sup>2</sup>	$A_5$ %	Temperatura de încercare, °C	Energie absorbită, valoare medie (J), min.	
					KV <sub>L</sub>	KV <sub>T</sub>
A32; D32; E32	444÷590	315	22	A32; A36; A40 ( $\pm 0\text{ }^\circ\text{C}$ )	31; 34; 41	22; 24; 27
A36; D36; E36	490÷620	355	21	D32; D36; D40 ( $-20\text{ }^\circ\text{C}$ )	31; 34; 41	22; 24; 27
A40; D40; E40	510÷650	390	20	E32; E36; E40 ( $-40\text{ }^\circ\text{C}$ )	31; 34; 41	22; 24; 27

### 3. REZUTATE ȘI DISCUȚII

Observațiile studiului și rezultatele experimentale obținute permit formularea următoarelor concluzii:

- starea *laminat* conferă proprietăți mecanice care valoric, fie se situează sub limita normei (ex. Rp0,2 și A5), fie nu sunt valori constante (nu se asigură reproductibilitatea rezultatelor).

- starea *normalizat convențional după laminare*, indică încadrarea în normă a valorilor proprietăților mecanice, însă și normalizarea intercritică în anumite variante (*care presupune încălzirea la temperaturi mai mici cu toate avantajele rezultaie din aceasta*) asigură, de asemenea, un ansamblu de proprietăți mecanice la nivelul normei de material.

Ca urmare, *normalizarea intercritică* (variantea cu încălzire „*de jos în sus*”, la temperatura  $A_{C1} + 50^{\circ}C$ ) poate fi soluția optimă de încălzire la tratamentul termic, care garantează ansamblul de valori ale proprietăților reglementat prin norma navală și totodată în condiții tehnologice economice.

Pe de altă parte, oțelurile convenționale pentru tablele groase navale au un conținut de carbon echivalent mare și necesită, pentru grosimi mai mari de 20mm un tratament termic de normalizare, cu rolul de a corecta valoarea mică a rezilienței obținută după laminare.

Soluția modernă recomandată este prelucrarea termomecanică (ex. *laminarea controlată sau tratamentele termomecanice*), cu avantajul că tablele prezintă după acest tip de prelucrare o tenacitate superioară, mai ales în zona sudurii.

În timpul laminării controlate sunt puse în funcțiune mecanisme de durificare, precum finisarea granulației și durificarea prin precipitare, bazate pe microalierea oțelului, iar combinarea laminării controlate cu răcirea accelerată după laminare conduce la o creștere importantă a rezistenței și a tenacității.

Microalierea oțelurilor a redus considerabil problemele privind comportarea la sudare prin reducerea considerabilă a valorii carbonului echivalent combinată cu creșterea valorii rezistenței. Astfel au apărut noi mărci de oțeluri cu granulație fină sudabile, care a făcut posibilă trecerea de la laminarea obișnuită (convențională), la laminarea controlată. De altfel, succesul prelucrărilor termomecanice este asigurat prin alegerea corespunzătoare a mărcii de oțel și a parametrilor tehnologici de proces.

Luând în considerare avantajele tehnice, tehnogice și economice obținute la aplicarea tratamentelor termice intercritice, precum și modalitățile de corelare a compoziției chimice a oțelului cu parametrii de proces la laminarea controlată a tablei navale, s-au efectuat o serie de experimentări care au vizat

aplicarea unor variante experimentale de tratament termomecanic intercritic.

S-a observat că scăderea temperaturii de sfârșit de laminare conduce la creșterea proprietăților mecanice de rezistență ( $R_m$ ,  $R_{p0,2}$ ) în timp ce plasticitatea (A5) și tenacitatea (KV) scad.

Tratamentele termomecanice de temperatură înaltă, în variantele experimentale cu austenitizare și deformare plastică cu grade de deformare cuprinse în intervalul 10 -40% au ca rezultat, în general, o rezistență mecanică crescută odată cu creșterea gradului de deformare, atât în timpul răcirii finale în aer, cât și în timpul răcirii în apă.

Tratamentele termomecanice de temperatură joasă recomandate sunt cele cu încălzire directă în intervalul intercritic, grade de deformare de cca 30% și răcire rapidă.

Recomandăm pentru tabla navală din oțelurile A36, D36 și E36, tehnologia de tratament termic și/sau termomecanic la temperatură joasă, cu efecte tehnice, tehnologice dar și economice benefice.

### 4. CONCLUZII

În demersurile pentru stabilirea unei variante optime (din punct de vedere tehnic și economic) de prelucrare metalurgică la cald a tablei navale din oțeluri de înaltă rezistență și valori impuse pentru reziliență, au fost comparate rezultatele obținute la prelucrările convenționale, analizând nivelul valoric al caracteristicilor mecanice pentru încadrarea în limitele normei de produs, precum și asigurarea reproductibilității rezultatelor.

Studiul efectuat arată că starea structurală de normalizare (convențională) după laminare realizează încadrarea în normă a valorilor proprietăților mecanice. De asemenea, ansamblul de proprietăți mecanice la nivelul normei de material este asigurat și de normalizarea intercritică, efectuată în anumite variante tehnologice.

Așadar, normalizarea intercritică poate fi soluția optimă de prelucrare termică care garantează ansamblul de valori al proprietăților reglementat prin norma navală, dar și efectuarea unei prelucrări termice în condiții tehnologice economice de material și de energie.

În privința prelucrărilor termomecanice, rezultatele experimentale obținute relevă faptul că pentru tabla navală din oțelurile A36, D36 și E36, tratamentul termomecanic la temperatură joasă are de asemenea efecte benefice pentru fabricarea produselor laminate plate cu caracteristici rigurose prescrise de normele navale.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Alexandru, Ioan si colab., *Alegerea si utilizarea materialelor metalice* Ed. Didactica si Pedagogică București, 1997
- [2] \*\*\* *Catalog mărci oțeluri* produse de ISPAT SIDEX S.A. Galați, Norme românești (STAS 8324/86) norme americane (ASTM A 131/91) și registre navale RNR/95 (A36, D36)
- [3] Det Norske Veritas, 1993
- [4] Doniga, A., Vasilescu E., Udvuleanu, A., *Bazele tratamentelor termomecanice* E.D.P., Bucuresti 2004
- [5] Duckworth, W., *Ductility in high strenght steels, achievement and importance*, Spec. Rept. Iron and Steels, nr.76 – 1962 Paris – Leuven – 1982
- [6] Lloyd's Register of Shipping, 1995
- [7] Popescu, N, s.a., *Tratamente termice si prelucrari la cald* (Bucuresti, Editura Didactica si Pedagogica, 1993)
- [8] Popescu, N, Constantin G, Popescu, Oprea *Tratamente termice neconventionale*, Editura Tehnică București, 1990, pag.118÷123
- [9] STAS 8324-86/ *Table pentru constructii navale*
- [10] STAS 9021/1-89 – *Table de oțel cu limita de curgere ridicată*
- [11] SR EN 10113/2-1995 – *Produse plate laminate la cald din oteluri de constructie sudabile cu granulație fina*
- [12] Vasilescu, E., *Intercritical thermomechanical treatments applied to the steel heavy plates*, The XV-th International Scientific Conference „TEHNOMUS”, May 8-9, 2009, University „Stefan cel Mare” of Suceava - Romania
- [13] Levcovici T. Dan, Contract nr. 748C/B29. *Cercetări pentru promovarea tratamentelor intercritice la fabricația tablelor navale de înaltă rezistență* (STAS 8324 - 86).
- [15] E. Vasilescu, A. Doniga, V.O. Rindasu, *Influence of the thermomechanical treatments on the properties of steel plates for welded constructions.*, Metalurgia International nr.3 special/2009, ISSN 1582-2214, pag.173-176
- [16] J. Vasilescu, M. Neacșu, I. Vasilescu, 2008, *Modern Production Technologies of Steel Processing*, 08 TQSD Proceedings of the 8th International Conference on Technology and Quality for Sustained, University Politehnica of Bucharest, [17] De-Zhuang, Yang ș.a. *Effect of Intercritical Quenching on Microstructure and Tensile Properties of Steels 15 and 15Mn2N*

---

## Despre autori

### Prof. dr. ing. Elisabeta Vasilescu

Sucursala AGIR Galați, România

Absolventă a Facultății de Mecanică profilul Metalurgic din cadrul Univesității din Galați, promoția 1981. După stagiul efectuat la Combinatul siderurgic Galați este angajată în anul 1984 la Universitatea Galați, unde parcurge toate etapele carierei universitare: asistent universitar (1984-1990), șef de lucrări (1990-1997), conferențiar universitar (1997–2001) și din anul 2001 profesor universitar. În anul 1996 obține titlul de Doctor în Științe Tehnice, Specializarea Deformări Plastice și Tratamente Termice. Activitatea didactică desfășurată la Facultatea de Inginerie, Departamentul Știința și Ingineria Materialelor, titular la disciplina Tratamente termice si termochimic s-a îmbinat armonios cu activitatea de cercetare desfășurată ca membru al Centrului de cercetare “Calitatea Materialelor si a Mediului” al Universității “Dunărea de Jos” din Galați. A publicat peste 200 de articole științifice, 10 cărți de specialitate (manuale didactice, îndrumare de laborator, monografii, capitole de carte in edituri străine) și este deținătoare a unor brevete de invenție axate pe obținerea și caracterizarea unor materiale speciale cu aplicații în inginerie și în medicină dentară. Are o bogată activitate de evaluare a unor programe de studii noi la diferite universități din țară în vederea acreditării ARACIS, precum și o susținută activitate de expertiză tehnico-judiciară. Este membru al unor asociații profesionale precum Asociația Generală a Inginerilor din România (AGIR) afiliată la Federația Europeană a Asociațiilor Naționale a Inginerilor (FEANI) și (FEEA), presedinte (2007- 2021) și în prezent vicepresedinte al Sucursalei AGIR Galati, membru fondator al Societății Române de Metalurgie (SRM, 2000), membru al Societății de Chimie din Romania, membru al Societății de Microscopie Electronică din România (SMER) și al Asociației științifice Societatea Română de Biomateriale (SRB).

### S.I. dr. ing. Marian-Iulian Neacșu

Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați

Absolvent al Facultății de Metalurgie și Știința Materialelor, specializarea Știința Materialelor promoția 2001. În februarie anul 2002 devine cadru didactic titular la Facultatea de Metalurgie și Știința Materialelor, debutând ca preparator până în prezent când este șef de lucrări. În anul 2012 obține titlul științific de Doctor in domeniul Știința si ingineria materialelor. La facultate ca și cadru didactic a condus activitatea de laborator și de proiect la următoarele discipline: Elaborarea aliajelor feroase, Elaborarea aliajelor neferoase, Tratamente termice si termochimice, Teoria proceselor de punere în formă, Metode numerice, Modelarea si optimizarea proceselor, etc. A publicat peste 50 de articole științifice si trei îndrumare de laborator.