

Cazuri neconforme în procesul de certificare oțeluri navale

(Colocviile Constructorilor de Nave - CCN 97)

Autor: dr. ing. Viorel Panaite - inspector S.C. „BureauVeritas Romania”

Rezumat

În industria navală, volumul cel mai important de oțel înglobat se regăsește în corpul navei, care de regulă se execută din table, benzi, bare și profile de oțeluri laminate la cald, cu granulație fină, îmbinate prin operații de sudare. Calitatea oțelului folosit și a sudurilor efectuate în conformitate cu regulile impuse de execuție, asigură perioada de exploatare a navei în condiții de siguranță.

În cadrul conferinței CCN 97 se va face o trecere în revistă a oțelurilor uzuale pentru tabla navală, cu caracteristicile cerute de normele specifice și se vor urmări gradual, aspecte privind neconformitățile detectate în procesul de certificare a acestor oțeluri, atât cazuri practice întâlnite pe fluxul de eșantionare, teste de laborator și inspecția propriu-zisă a produsului, dar și cele de natură teoretică, ivite la emiterea certificatelor de calitate însoțitoare. Un alt aspect urmărit este cel al cazurilor neconforme ce apar la reîncadrarea/recertificarea unor produse având caracteristici mecanico-chimice similare calităților navale.

1. Clasificare. Caracteristici mecanice și chimice ale oțelurilor navale uzuale

Există două categorii mari de oțeluri navale uzuale, putând fi obținute prin laminare simplă, laminare normalizantă, laminare termomecanică sau normalizare (în cuptor):

- *De rezistență normală:* grad A, B, D, E (literele indică temperatura testului de rezistență la impact, respectiv: 20°C, 0°C, -20°C, -40°C), având limita de curgere (R_e) min. 235 N/mm² și rezistența la rupere (R_m) în intervalul [400÷520N/mm²]; aceste oțeluri au următoarea compoziție chimică: C=max. 0.21% (ptr. grad E – 0.18%), Mn=min. 2.5xC% (grad A), 0.6-0.8% (ptr. celelalte grade), Si=max. 0.5% ptr. grad A (max. 0.35% in rest), P & S=max. 0.035%; Al =min. 0.02% (pentru gradele D și E); carbon echivalent=max. 0.4% (calculat cu formula scurtă, $C_{ev1}=C+Mn/6$);
- *De rezistență înaltă,* grupate pe două niveluri de rezistență: AH32, DH32, EH32 & AH36, DH36, EH36 (similar, literele A, D, E indică temperatura testului de rezistență la impact, respectiv: 0°C, -20°C, -40°C); simbolul în cifre “32” reprezintă nivelul limitei de curgere (min. 315N/mm²) și rezistența la rupere în intervalul [440÷570N/mm²]; nivelul de rezistență “36” este corespunzător limitei de curgere de min. 355N/mm² și valori ale rezistenței la rupere în intervalul [490÷630N/mm²]. Compoziția chimică a acestor oțeluri este: C=0.18%, Mn=(0.9-1.6%), Si=max. 0.5%, P & S=max. 0.035%; Al =min. 0.02% și alte elemente de rafinare a structurii: Nb, V, Ti, Cu, Cr, Ni, Mo, etc. Carbonul echivalent, calculat cu formula lungă $C_{ev2}=C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Ni+Cu)/15$ e limitat doar pentru oțeluri obținute prin laminare termomecanică.

Neconformitățile întâlnite în procesul de certificare a oțelurilor navale pot fi pe de o parte: *practice*, care țin de *proprietățile mecanice și compoziția chimică pe produs* (sunt cronologic determinate de trasabilitatea produs/document și apoi în procesul de testare în laborator) și *aspectuale și dimensionale* (depistate la inspecția propriu-zisă a produsului), iar pe de altă parte sunt neconformități *teoretice*, întâlnite în certificatele de calitate care însoțesc produsul la livrarea acestuia către destinatarul final.

2. Situații practice neconforme

3.1 Neconformități care țin de proprietățile mecanice și compoziția chimică

Proprietățile mecanice ale oțelurilor sunt influențate de anizotropia materialului și pentru a avea o caracterizare corectă a tablelor navale, la eșantionare trebuie să se respecte *zona de prelevare*, adecvată caracterizării diferitelor proprietăți și să se marcheze *direcția de laminare* (figura 1). Proba pentru tracțiune se ia perpendicular pe direcția de laminare, direcție defavorabilă de rezistență a materialului

(dată de textura căpătată după laminare), cele de rezistență la impact pot fi longitudinale sau transversale, iar proba Z (proprietați pe grosimea tablei) [1], se ia din zona în care la turnarea continuă se acumulează cele mai multe incluziuni nemetalice (figura 1b).

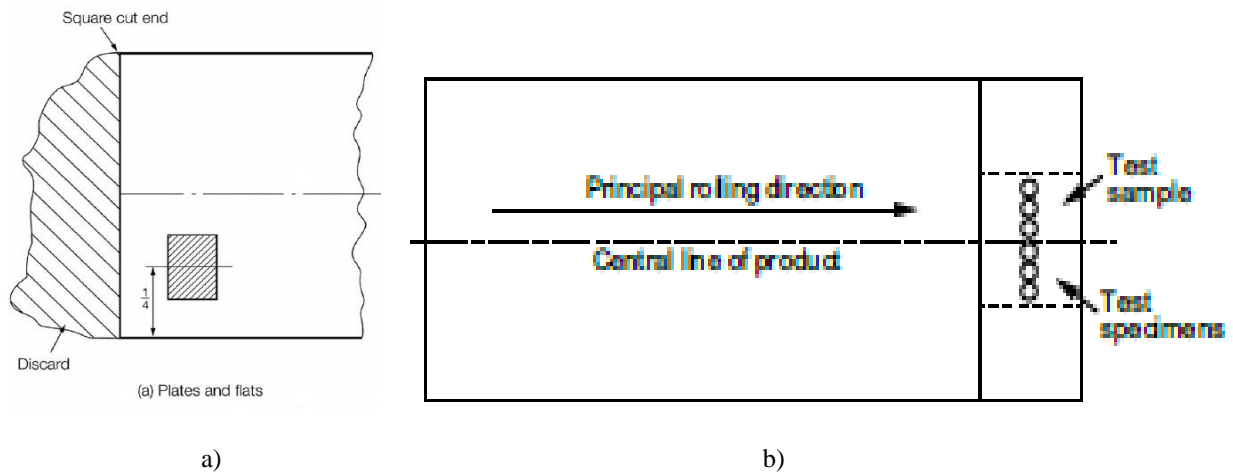


Fig. 1: Zona de prelevare pentru: tracțiune și impact - a); proba Z - b) [1]

Grosimea reală a eșantionului, măsurată la recepția în laborator a acestuia, ne dă un prim indiciu privind trasabilitatea produs/document însoțitor și poate evita prelucrări ulterioare ne-necesare a unor epruvete din material neadecvat.

Nerespectarea *geometriei probei* la execuția acesteia (dimensiuni, raze de racordare, unghi de execuție) așa cum este definită în procedura de testare a regulilor navale (fig. 2) [1] sau standardele specificate în vigoare, înseamnă introducerea unui concentrator de tensiune care influențează generarea unui rezultat neconform la încercările mecanice desfășurate în laborator.

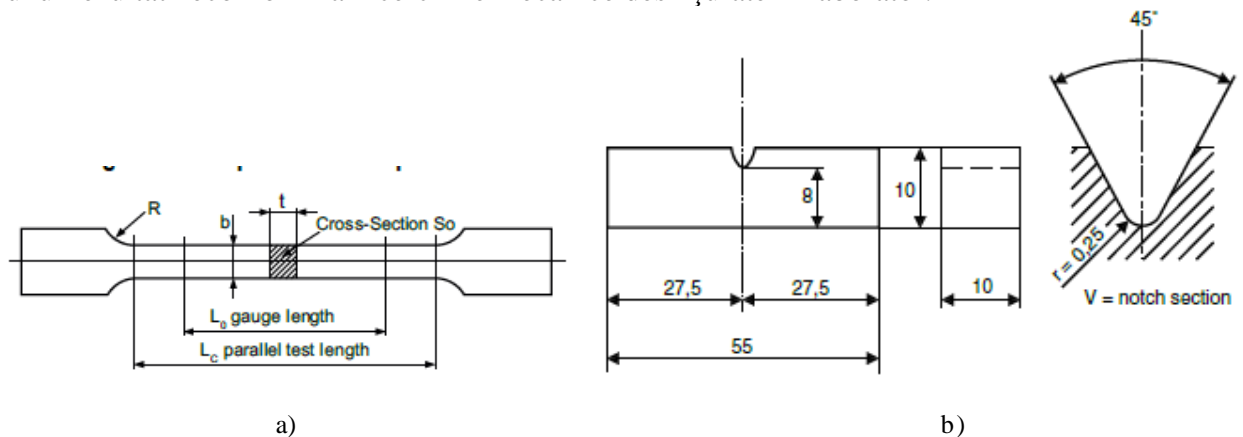


Fig. 2: Epruvete pentru testarea la: tracțiune - a) și impact - b) [1]

Pentru efectuarea propriu-zisă a testului mecanic se verifică aprioric starea echipamentului de lucru: mașina de tracțiune, mașina de îndoire, ciocanul pendul pentru testul de impact, soneta pentru DWTT (Drop Weight Tear Test) și a dispozitivelor de măsurare folosite (șubler, ruletă); este esențială în acest sens respectarea orarului de etalonare metrologică și mentenanță planificate.

Personalul care operează în laborator poate influența de asemenea rezultatul obținut, prin respectarea procedurilor de testare, acuratețea măsurătorilor dimensionale și a execuției propriu-zise a încercărilor mecanice. Spre deosebire de echipamentele mai vechi, cele moderne dau o mai mare încredere în obținerea rezultatelor corecte ale evaluării probelor prin: o prindere mai sigură a epruvetei în bacuri, reglaj automatizat al vitezei, utilizarea tensiometrului pentru detectarea reală a limitei de curgere, utilizarea unui soft adecvat și conectarea la un PC, care să permită trasarea diagramei “Deformație – Forță de tracțiune” (fig. 3) și înregistrarea parametrilor de execuție și a rezultatelor obținute – *la tracțiune; la impact*, reglarea temperaturii și a timpului de menținere, calibrarea ciocanului

pendul printr-o procedură mecanizată, afișarea și înregistrarea energiei de impact și similar la DWTT, calibrarea aparatului și calcularea rezultatelor obținute.

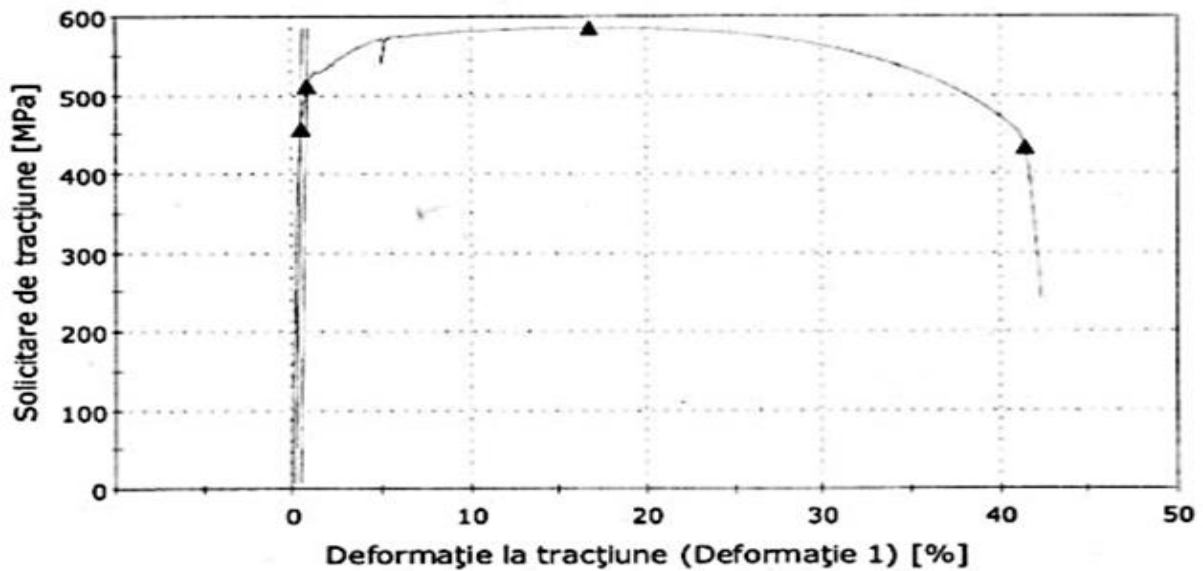


Fig. 3: Diagrama "Deformație - Forță de tracțiune" pentru un oțel DH36

Din figura 3 putem extrage valorile caracteristicilor mecanice ale oțelului naval în discuție: $R_e=504\text{MPa}$, $R_m=589\text{MPa}$, alungire de 32%, valori care sunt conforme cu cerințele de certificare, iar valoarea raportului $R_e/R_m=0.86$, deși nu este limitată, la peste 85% (domeniul plastic restrâns), se întâlnește mai ales la table având grosimi până în 15mm, la care ultima/ultimele treceri de laminare au loc la o temperatură inferioară pragului minim de laminare și astfel structura se ecrusează superficial.

Pentru evaluarea rezultatelor la diferitele încercări, valorile măsurabile sunt corelate cu aspecte macroscopice reprezentative ale secțiunii de rupere ale epruvetelor (fig. 4): valori conforme la tracțiune (R_e , R_m și alungire) și ale probei Z15/Z25/Z35 sunt date și de aspectul "con-cupă" al epruvetei după rupere, proces care are loc în treimea mijlocie a epruvetei, ca și "gâtuirea" adecvată la proba Z (fig. 4a); apariția ruperii la proba de îndoire, pe linia de fuziune înseamnă lipsa de topire la sudură, la interfața "material de bază - material de adaos" (fig. 4b); aspectul exclusiv fragil, "sticlos", neconform al epruvetei după proba de impact (stânga) al unei probe de oțel DH36, în comparație cu aspectul puternic ductil al secțiunii unui oțel sudabil folosit la platforme marine fixe - S355G10+M (dreapta) (fig. 4c) și similar în cazul probei DWTT la materialul corpului țevii, aspectul fragil (stânga) versus cel ductil (dreapta) (fig. 4d), subliniază acel comportament neconform al materialului în cauză.



a)

b)



Fig. 4: Aspecte macro reprezentative ale secțiunii de rupere după testarea la: tracțiune & proba Z - a), îndoire - b), impact - c) și DWTT - d)

În ceea ce privește verificarea conformității *compoziției chimice*, se compară analiza chimică efectuată în stadiul inițial, după turnarea continuă (“pe lichid”) cu analiza unei părți din epruveta supusă testului mecanic (“pe produs”). Se urmărește pe de o parte, validarea trasabilității produs/document însoțitor al acestuia la laboratorul de încercări, pe de altă parte, încadrarea compoziției chimice în normele impuse (unii clienți precizează în cerința lor, numărul de zecimale cu care se vor reprezenta anumite elemente chimice sau carbonul echivalent).

Fie că vorbim despre valori eronate sau de cele neconforme ale caracteristicilor mecanice sau chimice ale unui produs, validarea acestora trebuie să se facă prin repetări și/sau contraprobe, care întotdeauna trebuie să fie în număr dublu față de încercările neconforme inițiale.

3.2 Neconformități aspectuale, dimensionale sau depistate la controlul nedistructiv

Aceste cazuri neconforme se detectează la inspecția propriu-zisă a produsului. Inspecția *vizuală/aspectuală* se desfășoară în conformitate cu prevederile EN 10163/2-2004 [2];

Cele mai întâlnite neconformități sunt:

- imprimări, oxizi, discontinuități, defecte produse în timpul fabricației efective;
- margine naturală, trepte marginale de tăiere – care s-au produs la îndepărtarea incorectă a marginilor căpătate în timpul procesului de laminare;

Standardul precizează totodată și condițiile în care se pot folosi corecții ale neconformităților, prin polizare și sudură. Trebuie avut în vedere ca toleranța negativă la grosime este de maxim 0.3 mm [1].

Controlul marcajului foilor de tablă se face urmărind prevederile standarduale și cerințele clientului.

Inspecția dimensională și abaterile de *planeitate* se derulează în concordanță cu EN 10029/2010 [3]. În figura 5 sunt reprezentate locațiile punctelor de măsurare a grosimii [1] pe suprafața unei foi de tablă.

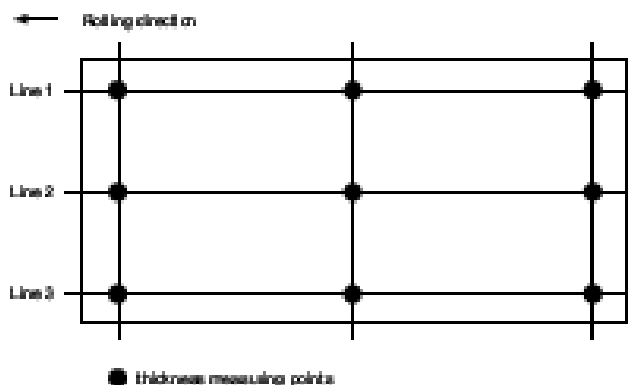


Fig. 5: Locațiile punctelor de măsurare a grosimii unei foi de tablă

Locațiile figurate se completează cu minim alte două linii printre cele trasate, păstrând un număr egal de puncte de control, pe fiecare linie.

Neconformitățile de volum al foilor de tablă, se pun în evidență prin controlul ultrasonic. Acest tip de control nedistructiv se aplică mai ales la grosimi de peste 20mm și cu predilecție în aplicațiile offshore.

4. Situații teoretice neconforme

Sunt cele întâlnite în certificatele de calitate care însoțesc produsul la destinatarul final. Pot fi considerate erori *de formă*, cele exclusiv de redactare a documentului și care se pot corecta fără a fi implicat și beneficiarul produsului. Dintre acestea cele mai întâlnite sunt:

- calitate navală dată după norme europene (de ex. DH36 conform EN 10025-2/2019);
- neconcordanță între calitate și formula de calcul a carbonului echivalent (Cev);
- alungire exprimată incorect;
- lipsa valorii temperaturii la testul de impact;
- rezistența la impact exprimată prin două sau patru valori în loc de trei; valori extrase incorect din baza de date (de ex. exprimate printr-o singură cifră sau cifra zero);
- lipsă trasabilitate între produs și document (lipsă poanson BV);

Neconformitățile *de fond* pot fi considerate cele la care erorile din certificatul de calitate sunt dublate simultan de livrarea produsului neconform către beneficiar. Dintre acestea se pot aminti:

- numărul de piese livrate incorect față de cele ce apar în documente;
- compoziție chimică neconformă;
- produs livrat cu valori incorecte ale caracteristicilor mecanice: rezistența la curgere, rezistența la rupere, valori ale rezistenței la impact.

În cazul acestor erori, trebuie informat clientul în timp util, în vederea identificării, izolării produsului neconform și a neutilizării involuntare.

5. Recertificări/reîncadrări

O serie de neconformități pot apărea la aprovizionarea de către constructorul navei, a unor produse din oțeluri industriale, cu proprietăți mecanice și compoziție chimică similare unui grad naval. Este necesară recertificarea/reîncadrarea materialului aprovizionat, având certificat de tip 3.1 (validat doar de reprezentantul inspecției producătorului, independent de departamentul de producție al acestuia), în concordanță cu planul desenului aprobat și întocmirea în consecință a unui certificat de tip 3.2 (validat atât de reprezentantul inspecției producătorului cât și de inspectorul desemnat de registrul naval).

În cele ce urmează sunt exemplificate două dintre situațiile cele mai întâlnite:

a. A reîncadra o tablă din oțel structural S235JR, conform EN 10025/2-2019, de 20mm de exemplu, în grad A naval; lucrul acesta pare foarte posibil - cele două oțeluri sunt cumva din aceeași clasă de rezistență, ambele având limita de curgere, $Re = \min. 235 \text{ N/mm}^2$, iar rezistența la rupere, Rm în intervalul $[360 \div 510 \text{ N/mm}^2]$ pentru primul oțel, respectiv în intervalul $[400 \div 520 \text{ N/mm}^2]$ pentru gradul A. Simbolul "JR" înseamnă că încercarea la impact (simbolul "J"), se verifică doar dacă așa a fost prevăzut la momentul comenzii inițiale și are loc la temperatura ambiantă ("R" – room temperature). Pe de altă parte, la gradul A testul de impact nu este cerut decât la grosimi de peste 50mm; s-ar părea că se întrunesc condițiile necesare recertificării și sub presiunea timpului se trece la asistarea la încercările mecanice. Rezultatele obținute se găsesc la intersecția cerințelor impuse; materialul se poate reîncadra cu succes.

Neconformitatea apare atunci când se scapă din vedere că deși compoziția chimică este foarte apropiată, elementele nedorite precum P și S sunt limitate la max. 0.035% la gradul A și la 0.045% la S235JR. Putem vorbi despre faptul că cele două calități sunt similare din punct de vedere al proprietăților mecanice și compoziției chimice doar dacă se realizează intersecția cerințelor impuse și la nivelul elementelor chimice.

b. A reîncadra o tablă DH36 (oțel de rezistență înaltă), având limita de curgere de min. 355 N/mm^2 și valori ale rezistenței la rupere în intervalul $[490 \div 630 \text{ N/mm}^2]$, în grad D (oțel de rezistență normală), având limita de curgere, $Re = \min. 235 \text{ N/mm}^2$, iar rezistența la rupere, Rm în intervalul

[400÷520N/mm²]. În acest caz lucrurile par a fi și mai ușoare: ambele oțeluri sunt deja recunoscute de o societate de clasificare, în principiu un oțel de rezistență înaltă este considerat “superior” celui de rezistență normală, valorile de rezistență la impact au fost deja testate cu succes, ambele la -20°C, iar dacă și restul parametrilor mecanici, Re, Rm, alungirea se conformează cerințelor pentru grad D, atunci reîncadrarea poate avea loc.

Ca și în primul caz, dacă după efectuarea încercărilor mecanice de laborator se obțin parametrii respectivi la intersecția intervalului impus, spunem că se poate realiza reîncadrarea. Neconformitățile apar din nou, acolo unde ne așteptăm mai puțin, când se omit aprioric cerințele de compoziție chimică: Si=max. 0.35%, Cev₁=max. 0.4% la grad D (în cele mai multe cazuri această valoare este sub 0.3%); la DH36, Si=max. 0.50% iar Cev₂ este limitat doar la cele obținute prin laminare termomecanică (de cele mai multe ori întâlnim valori de peste 0.42%), cu consecințe negative asupra sudabilității.

6. Concluzii

Pentru certificarea oțelurilor navale se verifică mai întâi analiza chimică și se asistă apoi la încercările mecanice corespunzătoare.

La interpretarea rezultatelor “zona limită” este sensibilă în luarea deciziei.

Rezultatul eronat sau neconform se validează prin repetări și/sau contraprobe; acestea măresc gradul de certitudine dar consumă resurse umane și de timp.

La detectarea unei situații neconforme se trece la identificarea și izolarea produsului necorespunzător, împotriva utilizării involuntare a acestuia. Se cere derogare de la client.

7. Bibliografie

[1] - BV Rules on Materials and Welding for the Classification of Marine Units – NR 216/2022;

[2] - EN 10163/2-2004 – Delivery requirements for surface condition of hot-rolled steel plates, wide flats and sections;

[3] - EN 10029/2010 – Hot-rolled steel plates 3mm thick or above – Tolerances on dimensions and shape;

[4] - EN 10025/2-2019 – Hot-rolled products of structural steels; Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels;