

STUDIUL MICROSTRUCTURII ARTEFACTELOR SUDATE

Bogdana Petruța SCARLAT¹, Mădălina Maria BICA²,
Vlad Ioan DINU³, Alexandru Florian GHÎȚĂ⁴

Conducători științifici: Prof.dr.ing. I. VOICULESCU , S.L. dr. ing. Ion Mihai VASILE

REZUMAT: In cadrul lucrării de cercetare a fost realizat studiul metalografic pentru artefacte descoperite pe o nava medievală scufundata in Marea Mediterana, in zona litoralului ce aparține statului Israel. S-a urmărit evidențierea aspectelor microstructurale si ale compoziției chimice ale oțelului realizat si utilizat in acea perioadă pentru realizarea de piese sudate prin forjare la cald, pentru a se constitui intr-o baza de comparație cu nivelul actual de prelucrare microstructurala al oțelurilor contemporane.

CUVINTE CHEIE: sudare, artefacte, microstructură

INTRODUCERE

Lucrarea conține date comparative privind aspectele microstructurale ale unor piese utilizate pe corăbii din Evul Mediu, respectiv lanț si articulație de prindere, realizate din oțel. Sunt prezentate microstructuri si incluziuni existente in oțelurile produse in perioada 1880-1887, când au fost datate materialele descoperite intr-o corabie scufundata in preajma litoralului statului Israel. Artefactele au fost obținute prin colaborarea intre profesorii din UPB si cei de la TelAviv.

1. STADIUL ACTUAL

In perioada Evului Mediu se realizau diferite componente sudate pentru corăbii sau utilaje agricole, bijuterii sau obiecte de podoabă etc.

Cel mai frecvent utilizat era oțelul, un metal ieftin si usor de prelucrat, mai ales prin sudarea prin forjare la cald [1-4]. Piesele analizate în lucrare sunt 3 zale de lanț și o articulație de prindere. Acestea au fost descoperite in marea Mediterană, în zona coastei Israelului, într-o corabie medievală. Acestea au fost îmbinate prin sudare prin forjare la cald si sunt realizate din oțel nealiat, cu conținut ridicat de Si, asa cum se proceda in acele vremuri.

Conținutul de carbon este foarte scăzut, pentru a se asigura o buna comportare la îmbinarea prin forjare la cald. Piesele au fost trimise in România de profesorii din Israel, in urma unui protocol de colaborare cu echipa de profesori de la Universitatea Tehnica din Tel-Aviv, Facultatea de Inginerie Mecanica, pentru analiza microstructurii îmbinărilor sudate.

2. ANALIZA MICROSTRUCTURALA

Analiza microstructurala a vizat evidențierea caracteristicilor specifice ale oțelurilor medievale utilizate pentru diferite piese: tipurile de faze si constituenți metalografici, imperfecțiuni, compoziția chimica, posibilitatea realizării îmbinărilor prin sudare etc. Analiza pieselor sudate din lucrare a fost realizata cu microscop electronic SEM (Scanning Electron Microscopy) FEI QUANTA INSPECT F dotat cu tun cu emisie de camp - EGF si rezolutie 1.2 nm si Spectrometru cu Energie dispersiva X-ray (EDS) cu rezolutie de 133 eV la MnK.

2.1. Lanțul cu zale

Prima piesa analizata a fost un lanț cu 3 zale, aflat intr-o stare buna de conservare, acoperit cu un strat gros de rugina (fig. 1).



Fig.1. Lanț cu 3 zale supus analizei.

¹Specializarea Ingineria Transporturilor si a Traficului, Facultatea de Transporturi

E-mail: dinuvlad_2006@yahoo.com

²Specializarea Ingineria Transporturilor si a Traficului, Facultatea de Transporturi;

³Specializarea Ingineria Transporturilor si a Traficului, Facultatea de Transporturi;

⁴Specializarea Ingineria Transporturilor si a Traficului, Facultatea de Transporturi;

Pentru efectuarea analizei metalografice, din fiecare za a lanțului au fost secționate părți reprezentative care au fost supuse procedurii de prelucrare metalografică. Tăierea pieselor s-a realizat cu mașina automată IsoMet 4000.

Piesele extrase pentru analiza au fost înglobate în rășina fenolică, pentru a fi mai ușor de manevrat (fig. 2) apoi au fost șlefuite cu hârtie abrazivă specială, cu granulații 400, 600, 800, 1200, 2500, după care au fost lustruite cu pulbere de alumina, având granulații de 3, 1 și 0,1 μm. Toate prelucrările metalografice au fost efectuate cu mașini automate aflate în cadrul laboratorului LAMET, din Departamentul TMS, Facultatea de IMST [5].



Fig. 2. Za de lanț debitată longitudinal și înglobată în rasina fenolica.

Analiza prin microscopie electronică a evidențiat prezența în microstructura zalelor de lanț a unor incluziuni cu dimensiuni mari (50-100 μm), dispuse între grăunții de ferită alfa ai fierului. Totodată au fost puși în evidență pori și mici cavități din care au fost extrase prin smulgere incluziuni (fig. 3).

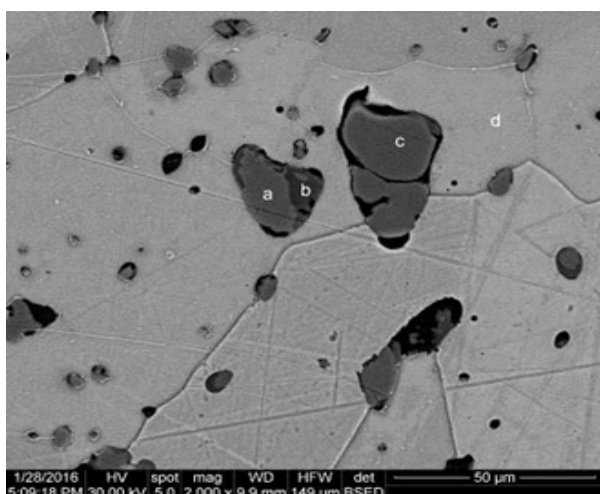


Fig. 3. Secțiune transversală (T-CS) prin za de lanț. Analiza SEM a arătat grăunți grosolani de ferită (d) și incluziuni de Fe-O/Mn-O (a, c) și Fe-Mn-Si-P-O (b).

Compoziția chimică a incluziunilor a fost analizată pentru a se evidenția tipurile de compuși care existau în acele oțeluri. Valorile efective ale compozițiilor chimice au fost determinate prin analiza punctuală cu microscopul SEM.

Zona a

| Elem | Wt % |
|-------|---------------|
| O | 15.08 |
| Mn | 0.62 |
| Fe | 84.30 |
| Total | 100.00 100.00 |

Zona b

| Elem | Wt % |
|-------|---------------|
| O | 16.97 |
| Si | 2.67 |
| P | 1.94 |
| Fe | 77.56 |
| Total | 100.00 100.00 |

Zona c

| Elem | Wt % |
|-------|---------------|
| O | 14.83 |
| Mn | 0.60 |
| Fe | 84.58 |
| Total | 100.00 100.00 |

Zona d

| Elem | Wt % |
|------|--------|
| Fe | 100.00 |

Din rezultatele obținute prin analiza chimică spectrometrică efectuată cu aparatul SpectromaxX se observă că matricea oțelului este alcătuită din fier de puritate mare, cu conținut redus de carbon (0,014% C) (fig. 4)

| | | | | | | | |
|--------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|
| C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Mo |
| % | % | % | % | % | % | % | % |
| 0.014 | 0.169 | 0.079 | 0.104 | 0.0051 | 0.011 | 0.046 | 0.0067 |
| Al | Cu | Co | Ti | Nb | V | W | Pb |
| % | % | % | % | % | % | % | % |
| 0.013 | 0.018 | 0.023 | 0.0033 | <0.0040 | 0.018 | 0.053 | 0.017 |
| Mg | B | Sb | Sn | Zn | As | Bi | Ta |
| % | % | % | % | % | % | % | % |
| 0.0058 | 0.0006 | <0.0025 | 0.0053 | 0.019 | 0.023 | 0.0071 | 0.031 |
| Ca | Ce | Zr | La | Se | N | Fe | |
| % | % | % | % | % | % | % | |
| <0.015 | <0.0020 | <0.0015 | 0.010 | <0.0020 | >0.492 | 98.8 | |

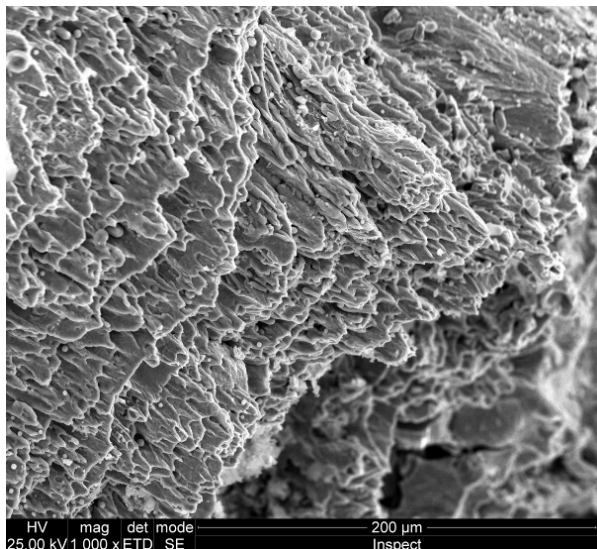
Fig. 4. Analiza prin spectrometrie de raze X pentru lanț medieval.

Totodată se observă că principalele elemente chimice prezente în oțel sunt Si – 0,169%, Mn – 0,079%, P – 0,104%, Ni – 0,046%.

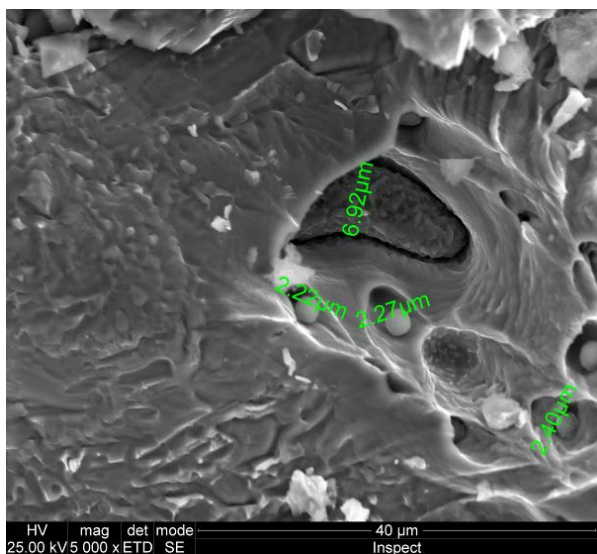
Această compoziție chimică nu se regăsește în tipurile de oțel actuale, conținutul de fosfor fiind foarte mare. Se poate trage concluzia că în acele

vremuri nu se putea reduce conținutul de fosfor la niveluri actuale (0,05%P), nefiind cunoscute tehnicile de rafinare.

Prin analiza suprafețelor de rupere a fost evidențiat modul de rupere ductil, dat de matricea maleabilă a oțelului (fig. 5).



a) 1000x



b) 5000x

Fig. 5. Aspectul suprafețelor de rupere în zaua de lanț.

În fig. 5a se observă modul de rupere ductilă, cu goluri și plane de alunecare acoperite cu strat de oxid. Stratul de oxid s-a format în urma menținerii îndelungate (circa 200 de ani) în apa de mare sărată. În fig. 5b se observă compuși secundari sub formă de silicați sferici și oxizi cu forme neregulate localizați în zonele de deformare plastică. Zonele striate ce înconjură compușii indică solicitări de oboseală;

2.2. Articulație

Piesa numită articulație este realizată din oțel similar cu cel utilizat pentru lanț, dar având mici modificări ale compoziției chimice. Aceasta piesă a fost realizată prin sudare prin forjare la cald (fig. 6).

Pentru analiza metalografică a fost decupată o zonă din porțiunea de coadă a articulației, pe care s-a realizat și analiza de compoziție chimică locală (fig. 7). Compoziția chimică efectuată prin spectrometrie de raze X este prezentată în fig. 8. Se observă conținutul redus de carbon (0,075%C) care asigură maleabilitatea oțelului dar și conținutul foarte mare de siliciu (3,16%Si) sau de sulf (0,290%S), care nu sunt întâlnite în oțelurile actuale.



Fig. 6. Articulație.

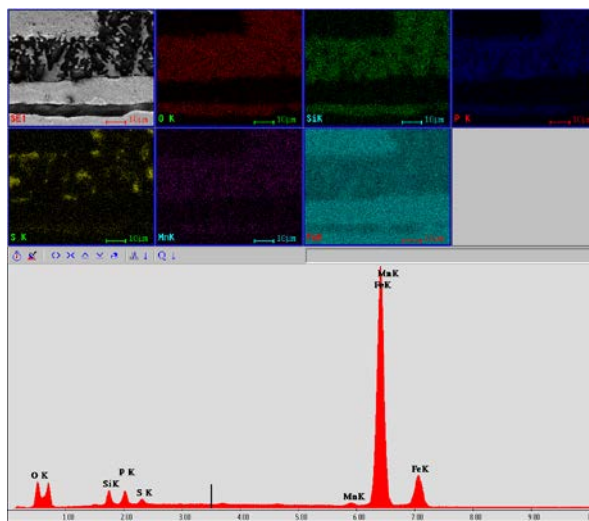


Fig. 7. Analiza complexă pe o incluziune și compoziția chimică globală pentru zona decupată din articulație.

| | | | | | | | |
|-------|-------|--------|--------|-------|--------|---------|--------|
| C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Mo |
| % | % | % | % | % | % | % | % |
| 0.075 | 3.16 | 0.458 | >0.120 | 0.290 | 0.0085 | 3.08 | 0.028 |
| Al | Cu | Co | V | W | Pb | Bi | N |
| % | % | % | % | % | % | % | % |
| 0.084 | 0.334 | 0.0052 | 0.054 | 0.158 | 0.069 | <0.0020 | >0.024 |
| Fe | | | | | | | |
| % | | | | | | | |
| <91.6 | | | | | | | |

Fig. 8. Analiza de compoziție chimică spectrală.

Conținutul foarte mare de siliciu poate fi datorat utilizării acestui element pentru dezoxidare dar conținutul mare de sulf și fosfor apare din

imposibilitatea tehnologica de limitare, cu tehnicile din acea vreme, a conținutului acestor elemente chimice.

CONCLUZII

1. Procedeele de îmbinare prin sudare a fost mult utilizat în antichitate pentru realizarea unor piese metalice cu utilizări diverse;
2. Piesele din oțel analizate au fost sudate prin forjare la cald, sub forma de zale de lanț pentru corăbii și articulații de prindere a lanțului.
3. Analiza metalografică a scos în evidență aspectele microstructurii oțelurilor utilizate în Evul Mediu: grăunți grosolani de ferită cu incluziuni alungite din procesul de forjare la cald,
4. Compoziția chimică a oțelurilor medievale evidențiază un conținut redus de carbon și conținut ridicat de siliciu, incluziuni de sulf și numeroase incluziuni de oxid.

MULȚUMIRI

Autorii doresc să mulțumească coordonatorilor Prof. dr.ing. I. Voiculescu și S.L. dr.ing. Ion Mihai Vasile pentru accesul la aparatura de cercetare și îndrumarea acordată.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Ashkenazi D, Mentovich E, Kahanov Y, Cvikel D, Barkai O, Aronson A, (2012), Archaeometallurgical investigation of iron artifacts from shipwrecks: a review. In: Ollich-Castanyer I (ed) Archaeology, new approaches in theory and techniques. InTech, Rijeka, pp 169–186;
- [2] Cohen M, Ashkenazi D, Kahanov Y, Stern A, Klein S, Cvikel D (2015) The brass nails of the Akko Tower Wreck (Israel): Archaeometallurgical analyses. Metallurg Microstruct Anal 4(3):188–206
- [3] Cvikel D, Ashkenazi D, Stern A, Kahanov Y (2013) Characterization of a 12-pdr wrought-iron cannonball from the Akko 1 shipwreck. Mater Charact 83:198–211
Cvikel D (2016) The Akko Tower Wreck, Israel: A summary of the first two excavation seasons. Int J Naut Archaeol;
- [4] Dodds J, Moore M (1984) Building the wooden fighting ship. Chatham, Publishing, London;
- [5] I.Voiculescu, Metalografia imbinarilor sudate, ed. Sudura, 2010.