

CERCETĂRI PRIVIND RENTABILITATEA ÎNLOCUIRII PROCEDEELOR DE TURNARE A REPERELOR METALICE CU CELE OBTINUTE PRIN PROCEDEUL DE PRINTARE 3D PRIN SINTERIZARE LASER

RESEARCH REGARDING THE POSSIBILITY OF REPLACING TRADITIONAL MOULDING METHODS WITH 3D METAL PRINTING TECHNIQUES USING LASER SINTERING

NEGREA Catalin-Stefan,

Facultatea: I.I.R. , Specializarea: Siguranța și Integritatea Structurilor, Anul de studii: Master II, e-mail:
catalin.negrea95@gmail.com

Conducător științific: Prof.dr.ing. Gabriel JIGA

ABSTRACT: The paper presents a novel method of part manufacturing through the use of metal laser sintering emphasizing on the advantages and challenges brought forth by it. The main goal is to present the process and its common problems considering its place in today's manufacturing markets around the world.

CUVINTE CHEIE: sinterizare, laser, 3D, metal, turnare.

1. Definiție. Informații generale despre o structură de tip sandwich

Selective laser sintering (SLS) sau printarea 3D prin sinterizare selective cu laser este o metoda de producție prin adaos de material ce folosește un laser de mare putere pentru a sinteriza materialul de baza de tip puldra atomizata.

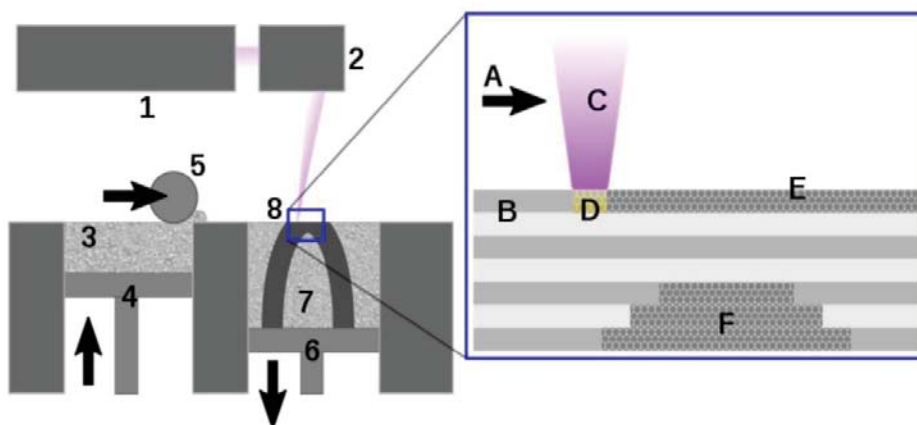


Fig. 1. Procedetul de printare 3D prin sinterizare selectivă

Este evidențiat modul de funcționare al unei mașini de printat 3D prin sinterizare selectiva:

- 1) Sursa laser folosita pentru sinterizare
- 2) Scanner laser ce redirectionează raza laser către zonele ce urmează a fi topite
- 3) Pulbere in cadrul rezervorului cu material ce urmează a fi folosit
- 4) Sistem de angrenare a pulberii ce ridica nivelul acesteia asigurând dozarea corecta pentru fiecare strat
- 5) Rola sau lama folosita pentru aplicarea unui nou strat de pulbere de o grosime constanta pe zona de prelucrare

- 6) Sistem de angrenare a zonei de lucru ce coboară treptat piesa realizată cu fiecare strat
- 7) Zona de construcție în care se realizează piesa conținând atât pulbere nesinterizată cât și pulbere sinterizată de către raza laser
- 8) Zona de sinterizare unde raza laser topește activ pulberea

- A) Direcția de aplicare a straturilor de pulbere
- B) Stratul de pulbere cu grosime constantă
- C) Raza laser
- D) Punctul focal al razei laser și zona în care pulberea este topită
- E) Strat solidificat la suprafață
- F) Restul straturilor solide în adâncimea zonei de lucru

2. Stadiul actual

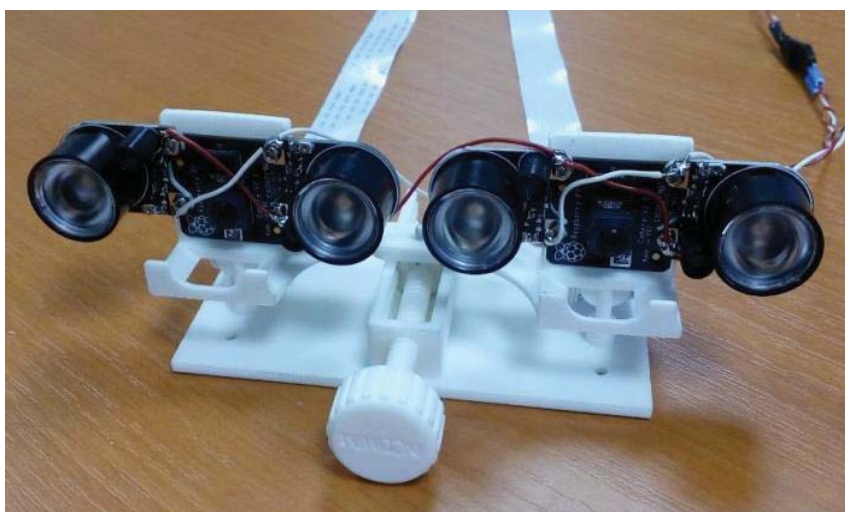


Fig. 2. Exemplu de prototip de suport ajustabil printat prin topire selectivă cu laser folosind material plastic de tip poliamida

Piese din material plastic astfel obținute au caracteristici de material foarte bune depășind cu mult caracteristicile pieselor realizate prin alte metode puțin mai comune în ziua de astăzi precum printarea cu filament.

Tehnologia SLS este folosită în multe industrii în special pentru prototipare rapidă în cadrul proceselor de design în domeniile aerospațiale, automotive, medical sau chiar și domeniul militar.

Avantajele principale ale metodei de producție prin SLS sunt:

- Posibilitatea realizării pieselor cu geometrie deosebit de complexă
- Flexibilitate maximă în cadrul procesului de producție
- Selecție mare de materiale pentru sinterizare

Prelucrarea aditivă a metalelor presupune depunerea selectivă a materialului de construcție doar acolo unde acesta este necesar. Acest procedeu implică secționarea modelului virtual al piesei ce urmează să fie realizată în felii orizontale, cunoscute drept „slices” (straturi), fiecare având aceeași înălțime. Straturile sunt realizate individual de către mașina de prelucrare aditivă în ordine până când piesa este finalizată.

În funcție de precizia depunerii prelucrarea aditivă a metalelor poate fi împărțită în două categorii:

- Prelucrarea aditivă prin suflare: asigură depuneri consistente într-un interval scurt de timp; are avantajul că nu este un proces limitat de geometria pe care se depune metalul și nu necesită o încălțare controlată însă precizia relativ redusă a prelucrării face obligatorie efectuarea unor prelucrări suplimentare pentru aducerea piesei la cotele dorite.

- Prelucrarea aditivă folosind pat de pulbere: procedeu de topire selectivă a unui pat de pulbere cu grosime constantă ce se efectuează în cadrul unei încălțări special concepute pentru controlul tuturor

parametrilor de topire a materialului. Geometriile realizate trebuie să încapă în spațiul de lucru din cadrul incintei închise iar depunerea materialului durează o perioadă mai lungă de timp însă precizia dimensională și omogenitatea materialului sunt mult mai mari adesea nefiind necesare prelucrări suplimentare.

Domeniile în care prelucrarea aditivă a metalelor este folosită intens în ziua de azi se împart de asemenea în două categorii: domeniile în care se realizează piese de tip unicat din material metalic precum industria medicinei dentare unde prelucrarea matrițelor dentare se face folosind prelucrarea aditivă după modelul dintelui scanat 3D în prealabil precum și domeniile în care este necesară realizarea unor elemente structurale puternice cu o greutate cât mai mică precum industria aeronautică unde în general în timpul prelucrării tradiționale se pierde adesea chiar și 80% din materialul blocului de tip semifabricat. Prelucrarea aditivă cu metal oferă o flexibilitate deosebită a modelelor ce pot fi realizate alături de pierderi minime de material în procesul de realizare.



Fig. 3. Exemple de modele și piese realizate 3D prin sinterizare laser pe pulbere metalică

3. Materiale utilizate în cadrul studiului

Pentru prelucrarea aditivă a metalelor se folosește pulbere metalică atomizată având dimensiunea maximă a particulelor dictată de precizia dorită în cadrul procesului și de înălțimea stratului folosită. În ziua de azi selecția de materiale include și nu se limitează la aliaje de cobalt (CoCrMo), nichel (Ni-SA, Inconel, NiCrFeMo) și fier (FeNiCoMo, FeCrMoSiVCMn). În cazul pudrelor metalice topite folosind sisteme laser se evită aliajele cu un factor mare de reflexie precum aliajele cu un conținut foarte mare de cupru pentru a se evita redirectionarea razei laser.

| CoCrMo (F 75) | | | Chemical Composition (wt %) | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------|------|------|------------|-----|-------|
| Process | | | Chemical Composition (wt %) | | | | | |
| Selective Laser Melting | Electron Beam Melting | Laser Metal Deposition | Element | Min | Max | Element | Min | Max |
| ✓ | ✓ | ✓ | Cr | 27.0 | 30.0 | Ti | | 0.10 |
| | | | Mo | 5.0 | 7.0 | C | | 0.02 |
| | | | Si | | 1.00 | P | | 0.02 |
| | | | Mn | | 1.00 | B | | 0.010 |
| | | | Fe | | 0.75 | S | | 0.01 |
| | | | W | | 0.20 | O | | 0.05 |
| | | | Ni | | 0.10 | N | | 0.25 |
| | | | Al | | 0.10 | Co Balance | | |

Fig. 4. Tabel reprezentând compoziția chimică a pulberii metalice utilizate

4. Tipuri de defecte care pot să apară (și motivele apariției acestora)

Rebuturile în cazul prelucrării aditive cu metale pot apărea în cazul unor geometrii speciale datorită setării incorecte a mașinii sau datorită pudrei și metodelor în care a fost manipulată.

Un prim element important în cadrul prelucrării aditive cu metale îl reprezintă poziționarea geometriei ce urmează să fie realizată.

Astfel sunt de evitate pozițiile în care lama ce adaugă noul strat de pulbere poate agăta marginea piesei și eșua în depunerea unui strat omogen, trebuie luată în considerare adăugarea materialului de tip suport pentru elementele geometrice realizate fără o bază prealabilă întrucât materialul de construcție nu

poate fi topit deasupra stratului de pudra și nu în ultimul rând trebuie luat în considerare faptul că pe măsura ce piesa este realizată se acumulează tensiuni puternice cauzate de diferența termică în cadrul materialului ce pot duce la deformarea sau chiar desprinderea acesteia de materialul suport.

Adesea rebuturile sunt irecuperabile.



Fig. 5. Defect de desprindere a piesei în urma cedării suportilor

Un alt factor important îl reprezintă calitatea pudrei folosite. Aceasta trebuie să nu conțină particule străine și nu trebuie expusă la surse de umiditate întrucât acești doi factori pot influența negativ omogenitatea stratului după în vederea topirii cauzând defecte majore de material.

Un ultim element de luat în considerare îl reprezintă poziționarea modelelor în cadrul zonei de depunere astfel încât particulele arse în urma procesului să nu se așeze peste zona topită a altor piese ducând astfel la apariția incluziunilor de foarte mici dimensiuni.

Din punct de vedere al proiectării pieselor se favorizează evitarea construcțiilor de tip surplomba de dimensiuni mari (peste 1mm) acestea fiind înlocuite atunci când este posibil cu construcții de tip arcada iar în cazul în care deschiderile sunt de mari dimensiuni se poate folosi material de tip suport pentru susținerea acestora. În general se evita folosirea golurilor interioare închise întrucât acestea rămân permanent umplute cu pulbere metalică ce poate cauza probleme la prelucrări ulterioare.

Pentru realizarea pieselor corecte din punct de vedere dimensional se folosește factorul de scalare inclus în softul de operare al mașinii de prelucrat. Astfel factorul de scalare se reglează folosind măsurătorile efectuate pe o piesă de tip test cu dimensiuni cunoscute realizată fără factor de scalare. Astfel se compensează separat atât pe verticală cât și pe orizontală diametrul punctului de focalizare a razei laser precum și dimensiunea zonei de topire cauzată de setările de putere a laserului folosite.

Un alt element important îl reprezintă modul în care laserul parcurge traseul desemnat pe fiecare strat astfel se poate modifica ușor distribuția de temperatură în cadrul stratului asigurând o topire corectă.

Amplasarea modelului în vederea printării trebuie să țină cont de geometria acesteia astfel încât să se găsească un echilibru între evitarea geometriei ce poate cauza agățarea lamei ce depune noul strat de pulbere și evitarea folosirii de material de tip suport în cantități mari.

Din punctul de vedere al omogenității materialului rezultat acesta s-a dovedit a fi în mare parte izotrop eliminând astfel multe dintre problemele cauzate de către alte procedee de prelucrare aditivă în straturi unde caracteristicile anizotrope ale materialului piesei realizate condiționau puternic amplasarea acesteia în zona de lucru.

Eliminarea tensiunilor remanente din piesă se face prin încălzirea piesei aproape de temperatura la care aceasta permite eliberarea tensiunilor fără a suferi deformări plastice și răcirea treptată a acesteia într-o perioadă relativ lungă de timp. Astfel se asigură eliminarea tensiunilor interne acumulate în material în timpul prelucrării aditive datorate răcirii rapide ale straturilor inferioare ale piesei în timp ce straturi noi sunt topite în zona superioară.

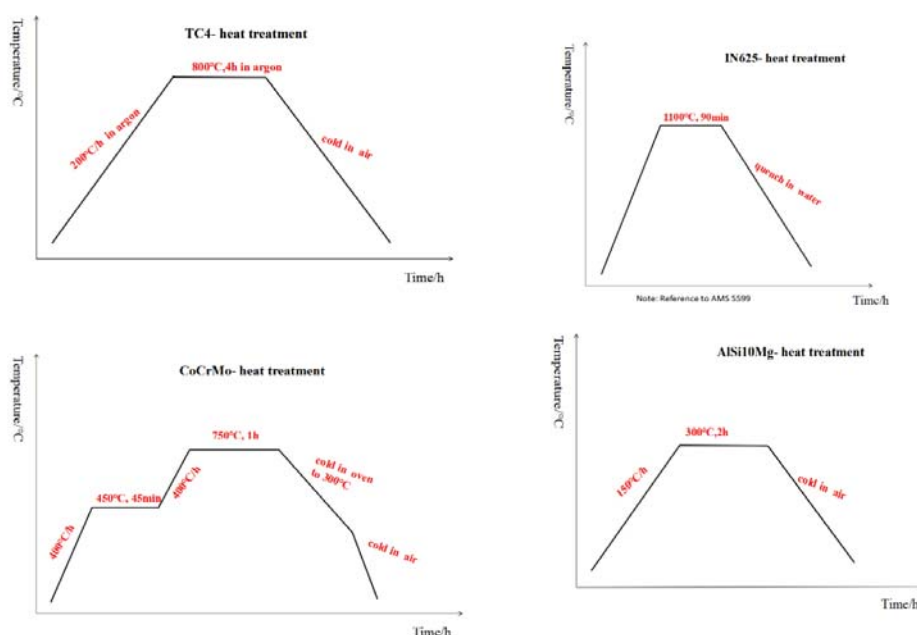


Fig. 6. Diagrame de detensionare pentru diverse materiale

Elementele geometrice de tip suport sunt în general concepute pentru a facilita desprinderea acestora de pe suprafața piesei având zone slăbite ce pot fi rupte uneori manual sau folosind unelte precum clești. În cazul în care piesa este deosebit de delicată, cantitatea de material suport este foarte mare sau piesa este sudată pe placa de printare se recomandă folosirea unui aparat de electroeroziune cu fir pentru desprinderea acesteia fără a afecta materialul sau geometria piesei.

În vederea finisării piesei rezultante din cadrul procesului de prelucrare aditivă cu metal adesea se folosește sablarea pentru eliminarea eventualelor neregularități mici și scăderea rugozității acesteia.

În cazul în care piesa este proiectată cu intenția de a suferi prelucrări ulterioare acestea pot fi efectuate la fel ca și atunci când aceasta ar fi fost debitată dintr-un calup de tip semifabricat. Singurul aspect ce trebuie luat în considerare este posibilă existența a incluziunilor de pudră metalică în cadrul corpului piesei dacă acestea sunt prevăzute în faza de proiectare întrucât acestea pot provoca dificultăți mașinilor de prelucrat dacă sunt deschise în timpul lucrului (de exemplu la prelucrarea prin electroeroziune deschiderea unei cavități interioare cu pudră metalică în timpul prelucrării va duce aproape sigur la oprirea prelucrării).

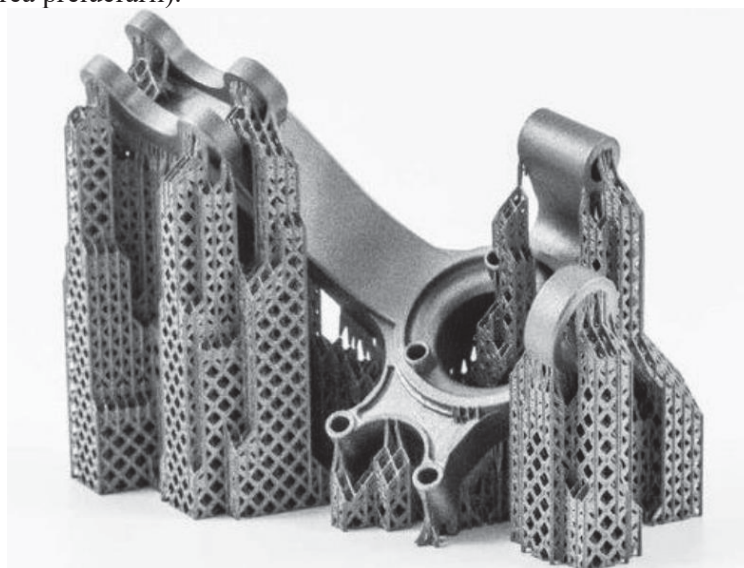


Fig. 7. Suporturi în jurul unei piese mecanice printate 3D

5. Realizarea epruvetelor

Pentru realizarea unui set de epruvete s-a folosit următoarea procedura:

- 1) Realizarea modelului 3D folosind un soft de tip CAD (In acest caz Solidworks)
- 2) Pregătirea modelului 3D pentru printare folosind suita de programe Magics si EPHatch
- 3) Pregătirea pudrei metalice pentru sinterizare

Pudra metalică pentru sinterizare se pregătește prin încălzirea la o temperatura de 80 de grade timp de minim 12 ore in atmosfera redusa pentru a evita oxidarea si elimina orice urme de umezeala.



Fig. 8. Pregătirea pudrei metalice in vederea sinterizării

4) Pregătirile pentru printarea efectiva:

- Instalarea plăcii de printare si asigurarea planității suprafeței pe care urmează sa se facă printarea
- Instalarea unei noi lame pentru nivelarea stratului de pulbere
- Introducerea pulberii in zona de tip rezervor a mașinii de printat
- Presurizarea si încălzirea incintei de printare
- Eliminarea oxigenului din camera de printare
- Transferul fișierelor pentru printare către mașina

5) Printarea consta in topirea selectiva a stratului superficial de pulbere in mod repetat pana la obținerea înălțimii dorite. Pentru primul set de epruvete s-au folosit epruvete cu secțiune circulara si suportți slabi pentru a facilita desprinderea acestora de pe placa de printare folosind unelte simple.

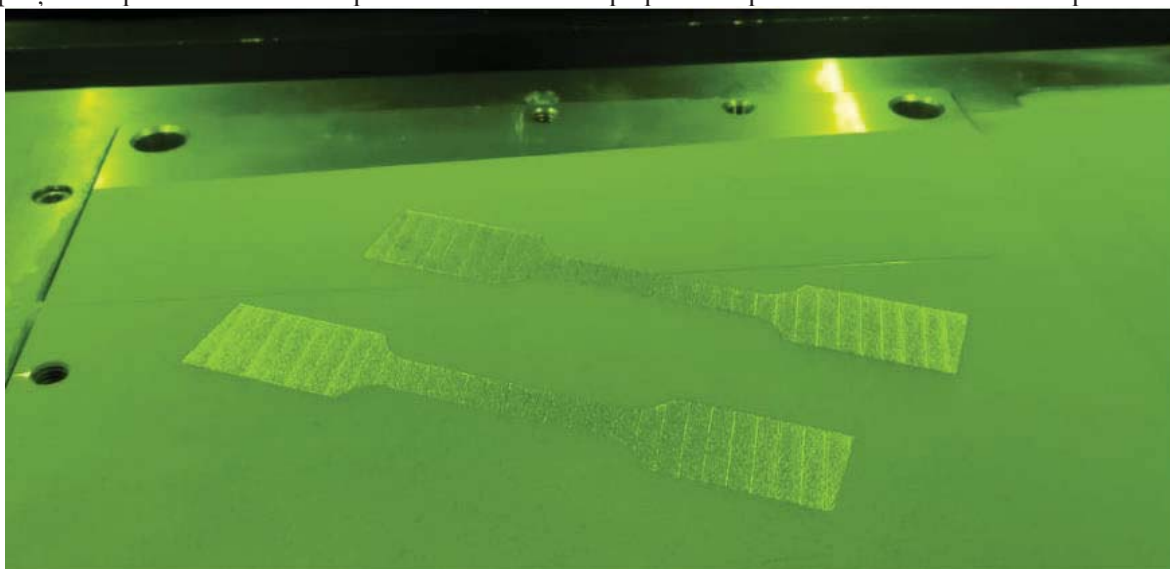


Fig. 9. Epruvetele in timpul printarii

Pentru realizarea epruvetelor cu o înălțime de 15mm procesul are o durată estimată de 16 ore.

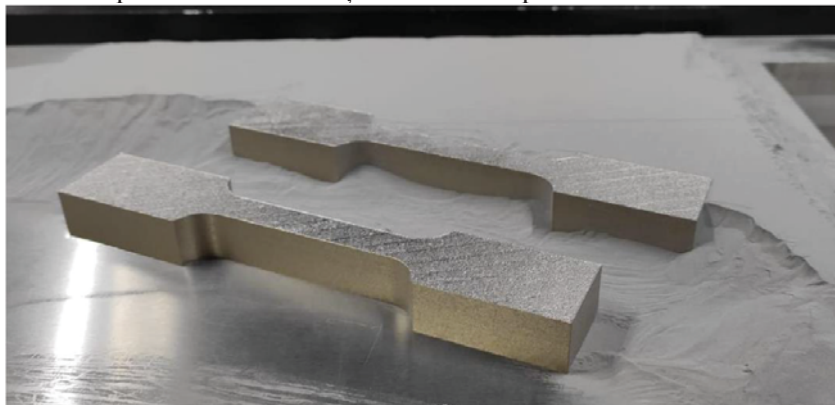


Fig. 10. Epruvetele după îndepărtarea excesului de pulbere

6. Incercarea la tracțiune a epruvetelor realizate și rezultatele acestora



Fig. 11. Mașina de încercat la tracțiune, suprafața prinsă în bacuri a epruvetei încercate și suprafața ruptă

Rezultatele testelor se compară cu standardul american ASTM F75 precum și cu rezultatele obținute de compania Arcam pe același tip de material sinterizat prin metode tradiționale și tratat termic în autoclavă la temperaturi de 1200 grade și presiune ridicată.

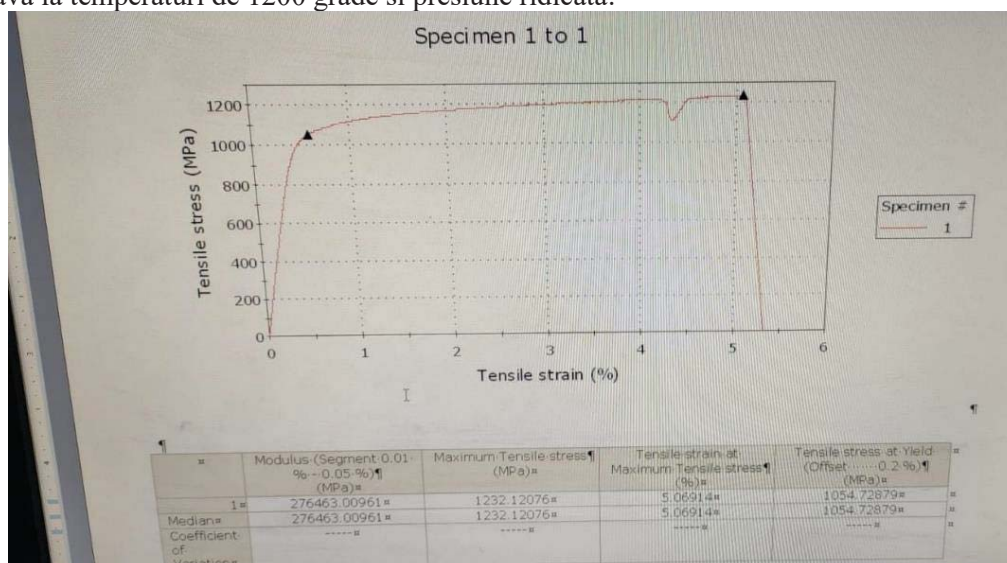


Fig. 12. Reprezentarea grafică a tensiunii din material în timpul încercărilor

MECHANICAL PROPERTIES

| | Arcam, as-built* | Arcam, after heat treatment* | ASTM F75-07, required |
|---|---------------------|---|--------------------------|
| Rockwell Hardness | 47 HRC | 34 HRC | 25–35 HRC |
| Tensile Strength, Ultimate | | 960 MPa 140,000 psi | 655 MPa 95,000 psi |
| Tensile Strength, Yield | | 560 MPa 80,000 psi | 450 MPa 65,000 psi |
| Elongation at Break | Not applicable | 20% | >8% |
| Reduction of Area | Not applicable | 20% | >8% |
| Fatigue limit, Rotating Beam Fatigue | | >10 million cycles at 610 MPa (90 ksi) | |

* Typical

Fig. 13. Proprietățile de material conform standardului și cele determinate de compania Arcam

7. Concluzii

- Rezultatele preliminare arată proprietăți de material superioare atât celor prezentate în standardul american ASTM F75 cât și produsului comercializat de către firma Arcam. Acestea necesită însă validare prin repetarea testelor pe mai multe epruvete.
- Se observă proprietăți de material ridicate chiar depășind materialele care au suferit diverse tratamente de durificare iar proprietățile menționate în standardul american sunt chiar și de două ori mai mici decât rezultatele experimentale.
- Ipoteza inițială este aceea că aceste proprietăți se datorează gradului ridicat de omogenitate oferit de meticulozitatea pregătirii procedurii de printare și calitatea pudrei folosite.
- Procedura de printare 3D prin sinterizare laser oferă un potențial enorm atât prin eliminarea multor constrângeri de pe urma cărora suferă procedeele tradiționale de fabricare.
- Dezavantajele majore ale acestui tip de producție le reprezintă în primul rând costul ridicat și în al doilea rând timpul necesar realizării pieselor.

8. Bibliografie

Pentru realizarea acestei lucrări s-au folosit ca elemente externe de informare și referință:

- 1) Datele publice ale companiei americane Arcam referitoare la proprietățile de material găsite pe site-ul public: <https://www.ge.com/additive/who-we-are/about-arcam>
- 2) Datele publice ale companiei Hoganas referitoare la pulberea metalică atomizată: <https://www.hoganas.com/en/powder-technologies/products/ampersprint/ampersprint0037-cocromo15-45/>
- 3) Manualele tehnice de operare și mentenanță ale mașinilor industriale de tip MP-250 oferite de compania Shining 3D – China: <https://www.shining3d.com/>
- 4) Manualele tehnice de operare și mentenanță ale mașinilor industriale de tip U6 HEAT oferite de compania Makino – Singapore <https://www.makino.com/machine-technology/machines/wire-edm/u6-h-e-a-t>
- 5) Manualele tehnice de operare și mentenanță ale mașinilor industriale de tip EDAF2 oferite de compania Makino – Japonia <https://www.makino.com/machine-technology/machines/sinker-edm/edaf2>
- 6) Manualele tehnice de operare și mentenanță ale mașinilor industriale de tip EOS oferite de compania EOS Germania: <https://www.eos.info/en>