

**ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ**

**Facultatea de Ştiinţa şi ingineria Materialelor**

**Edit Roxana MOLDOVAN**

# **Contribuţii la texturarea cu laser a suprafeţei oţelului inoxidabil AISI 430**

## **Contribution to the laser surface texturing of AISI 430 stainless steel**

**REZUMAT**

**Conducător ştiinţific**

**Prof. Dr. Ing. Mircea Horia ȚIEREAN**

**BRAŞOV, 2022**

## CUPRINS

|                                                                                                   | Teză      | Rezumat   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
| <b>INTRODUCERE</b> .....                                                                          | <b>0</b>  | <b>0</b>  |
| <b>1. Stadiul actual privind texturarea suprafeţelor cu laser (LST)</b> .....                     | <b>1</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1. Ce înseamnă texturarea suprafeţelor cu laser?.....                                           | 2         | 1         |
| 1.2. Tipuri de texturi create cu laserul.....                                                     | 4         | 3         |
| 1.3. Parametrii de procesare pentru LST.....                                                      | 8         | 3         |
| 1.4. Aplicaţii ale LST.....                                                                       | 11        | 4         |
| 1.5. Concluzii.....                                                                               | 22        | 4         |
| <b>2. Obiectivele tezei</b> .....                                                                 | <b>23</b> | <b>5</b>  |
| <b>3. Materiale şi metode</b> .....                                                               | <b>24</b> | <b>6</b>  |
| 3.1. Materiale.....                                                                               | 24        | 6         |
| 3.2. Procedee.....                                                                                | 27        | 7         |
| 3.2.1. Tehnologia şi echipamentele utilizate în microtexturarea suprafeţei.....                   | 27        | 7         |
| 3.2.2. Marcarea probelor prin texturarea suprafeţei cu laser.....                                 | 36        | -         |
| 3.2.3. Pregătirea probelor.....                                                                   | 40        | 12        |
| 3.3. Tehnici şi echipamente de caracterizare.....                                                 | 43        | 12        |
| 3.3.1. Analiza morfologică.....                                                                   | 43        | 12        |
| 3.3.2. Analiza SEM+EDX.....                                                                       | 45        | 13        |
| 3.3.3. Analiza rugozităţii.....                                                                   | 46        | 13        |
| 3.3.4. Analiza umectabilităţii.....                                                               | 48        | 13        |
| <b>4. Analiza morfologică a texturării suprafeţei oţelului inoxidabil AISI 430 cu laser</b> ..... | <b>49</b> | <b>14</b> |
| 4.1. Microscopie optică.....                                                                      | 49        | 14        |
| 4.1.1. Model tip A, formă de octogoane concentrice.....                                           | 49        | 14        |
| 4.1.2. Model tip B, formă de elipse la 90°.....                                                   | 57        | 18        |
| 4.1.3. Model tip C, formă de crater.....                                                          | 69        | 22        |
| 4.2. Microscopie electronica de baleiaj.....                                                      | 81        | 27        |
| 4.2.1. Micro texturare model A, formă de octogoane concentrice.....                               | 81        | 27        |



|                                                                                                                   |            |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|
| 4.2.2. Micro texturare model B, formă de elipse la 90° .....                                                      | 82         | 28        |
| 4.2.3. Micro texturare model C, formă de crater .....                                                             | 83         | 29        |
| 4.3. Analiza EDX .....                                                                                            | 84         | 30        |
| 4.3.1. Micro texturare model A, formă de octogoane concentrice .....                                              | 84         | 30        |
| 4.3.2. Micro texturare model B, formă de elipse la 90° .....                                                      | 86         | 31        |
| 4.3.3. Micro texturare model C, formă de crater .....                                                             | 87         | 33        |
| 4.4. Concluzii .....                                                                                              | 89         | 34        |
| <b>5. Analiza rugozităţii texturării cu laser a suprafeţei oţelului inoxidabil AISI 430 .....</b>                 | <b>91</b>  | <b>36</b> |
| 5.1. Rezultate şi discuţii .....                                                                                  | 91         | 36        |
| 5.1.1. Model A, formă de octogoane concentrice .....                                                              | 91         | 36        |
| 5.1.2. Model B, formă de elipse la 90° .....                                                                      | 95         | 38        |
| 5.1.3. Model C, formă de crater .....                                                                             | 100        | 38        |
| 5.2. Concluzii .....                                                                                              | 103        | 39        |
| <b>6. Analiza umectabilităţii texturării cu laser a suprafeţei oţelului inoxidabil AISI 430 .....</b>             | <b>105</b> | <b>41</b> |
| 6.1. Rezultate şi discuţii .....                                                                                  | 105        | 41        |
| 6.1.1. Model A, formă de octogoane concentrice .....                                                              | 105        | 41        |
| 6.1.2. Model B, formă de elipse la 90° .....                                                                      | 107        | 42        |
| 6.1.3. Model C, formă de crater .....                                                                             | 110        | 45        |
| 6.2. Concluzii .....                                                                                              | 111        | 47        |
| <b>7. Concluzii finale. Contribuţii originale. Diseminarea rezultatelor. Direcţii viitoare de cercetare .....</b> | <b>113</b> | <b>48</b> |
| <b>Bibliografie .....</b>                                                                                         | <b>116</b> | <b>50</b> |
| <b>Rezumat .....</b>                                                                                              |            | <b>55</b> |
| <b>Curriculum vitae .....</b>                                                                                     |            | <b>56</b> |

## Introducere

A face un program de doctorat pleacă de la îmbinarea ușurinței de a contura personalitatea mele, cu dorința de a ajunge la cel mai înalt grad posibil, de a fi cel mai bun. Decizia a fost una firească, ca o continuare a programului de studii de masterat, dar și mulțumită profesorului meu îndrumător, care a influențat pasiunea pentru cercetare și inovare. Stagiul de doctorat confirmă modul de gândire, a aptitudinilor dobândite de-a lungul anilor, eliberarea de prejudecăți și limitări. Pe parcursul anilor de doctorat, am dobândit multe aptitudini, iar printre principalele beneficii se pot enumera abilități de prezentare și vorbire în public, predare, managementul timpului și crearea de legături sociale. Motivația personală a fost împlinirea cercetării unui subiect pe care îl iubești, alături de oamenii cărora îți place să lucrezi.

## Mulțumiri

Odată cu finalizarea prezentei teze începe o nouă etapă cu noi oportunități pentru mine. Acest lucru nu ar fi posibil fără persoanele care m-au ajutat și susținut, cărora le dedic următoarele mulțumiri și recunoștințe

Prima mulțumire este pentru îndrumătorul științific Prof.Dr.Ing. Mircea-Horia Țierean, pentru că m-a îndrumat pe parcursul studiilor doctorale și care mi-a oferit o oportunitate uimitoare, oferindu-mi libertatea deplină de a explora și cerceta teza de față.

O recunoștință deosebită se îndreaptă spre membrii comisiei de îndrumare, Prof.Dr.Ing. Liana Sanda Baltes, Prof.Dr.Ing. Alexandru Pascu și Prof.Dr.Chim. Cătălin Croitoru pentru timpul prețios acordat pe parcursul studiilor doctorale.

Exprim mulțumiri speciale Prof. José Luis Ocaña pentru legătura între oameni, cunoștințe dobândite și tehnologie creată cu sprijinul său, pentru tot sprijinul și cordialitatea oferită.

Pentru tot ajutorul oferit în realizarea caracterului aplicativ al micro texturării cu fascicul laser țin să mulțumesc Dr. Carlos Concheso Doria și companiei BSH Home Appliances Group din Zaragoza.

Mulțumirile mele se adresează Conf. Univ. Bogdan Istrate, Prof. Univ. Habil. Dr. Ing. Nicanor Cimpoeșu, pentru răbdarea de care au dat dovadă în caracterizarea probelor prin microscopie SEM și spectrometrie EDX.

Nu în ultimul rând, aș dori să mulțumesc Institutul de Cercetare al Universității Transilvania, pentru facilitățile și echipamentelor puse la dispoziție.

## Notificare

Această teză de doctorat conține informații publicate anterior în lucrările [74-77]. Lucrarea [77] a fost prezentată în mai 2022 la conferința ICIR Euroinvent, primind premiul pentru cea mai bună lucrare și premiul pentru cea mai bună prezentare orală.

Numerotarea figurilor, tabelelor și referințelor bibliografice din rezumat sunt cele din teză.

## 1. Stadiul actual privind texturarea suprafețelor cu laser (LST)

### 1.1. Ce înseamnă texturarea suprafețelor cu laser?

În Ingineria Materialelor există mai multe moduri în care se pot adăuga noi funcționalități unei anumite piese. Cazul cel mai simplu este schimbarea (înainte de proiectare) materialului cu unul mai bun, dar de obicei, implică o creștere în ceea ce privește complexitatea procesului de producție, crescând astfel și prețul produsului. Dacă utilizarea piesei necesită proprietăți speciale privind suprafața acesteia, o modalitate privind modificarea acesteia este prin aplicarea unui strat de material (pentru a îmbunătăți proprietățile suprafeței, împotriva coroziunii și la uzură). În acest caz se păstrează același material de bază și doar în stratul exterior se aplică un alt material pentru a asigura proprietățile dorite. În această situație este necesară introducerea unei etape speciale în producție, care încă necesită investiții costisitoare privind implementarea. O altă modalitate de a modifica proprietățile suprafeței este texturarea, păstrând materialul de bază neschimbat, dar modificând microstructura suprafeței sale. **Texturarea este un proces de funcționalizare a suprafeței, prin care se modifică geometria microscopică și rugozitatea, pentru a-i conferi proprietăți neposedate anterior.**

Texturarea nu este doar o tehnologie de funcționalizare artificială, existând câteva exemple de microstructuri din mediul înconjurător [140]:

- șopârla gecko (*Lucasium Steindachneri*) oferă hidrofobitate, aderență scăzută a nisipului pe corpul șopârlei, suprafață antibacteriană și auto-curățantă [125],
- aripile cu suprafață hidrofobă ale albinelor melifere, care permit zborul prin ceață și rouă [64],
- frunze de lotus, cu proprietăți hidrofobe, care le permit să rămână pe suprafața apei dacă sunt udate de ploaie sau rouă [15],
- pielea rechinului, cu proprietăți reduse de rezistență la înaintare, hidrofobie, permițându-le înotul rapid [16,135].

Se pot aplica și utiliza diferite procedee pentru funcționalizarea artificială privind tehnologia de texturare:

- șlefuire prin ultrasunete [13,16,40,131],
- tratare cu plasmă [57,68,71],
- tăiere [127],
- gravare chimică [96,106],
- șlefuire [105],
- roluire [70],
- litografie de interferență [97],
- topire/sinterizare selectivă cu laser [49,79],
- texturarea suprafeței cu laser [2,5,8-10,16-26,30,32,35-39,41-48,50,55,57,59-61,63,65,67,74-77,80-85,87-95,100-104,107-110,116,118,120,122,126,129-133,137].

Toți acești factori justifică studiul subiectului de texturarea suprafeței cu laser (LST-Laser Surface Texturing), cu 2926 de publicații selectate din Web of Science Core Collection în perioada 2017-2022 [141]. Structura publicațiilor LSP în ultimii 5 ani este prezentată în Figurile 1.1-1.3, unde 36,8% dintre ele au fost publicate în categoria Materials Science Multidisciplinary, dintre care 88,17% fiind articole.



Figura 1.1. Structura publicațiilor cu subiect LST selectat din Web of Science Core Collection în perioada 2017-2022, pe categorii [141].

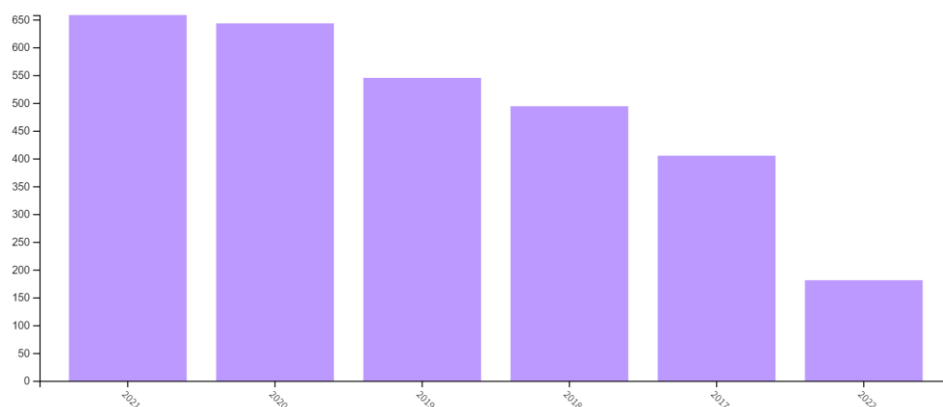


Figura 1.2. Structura publicațiilor cu subiect LST selectat din Web of Science Core Collection pentru perioada 2017-2022, pe ani [141].

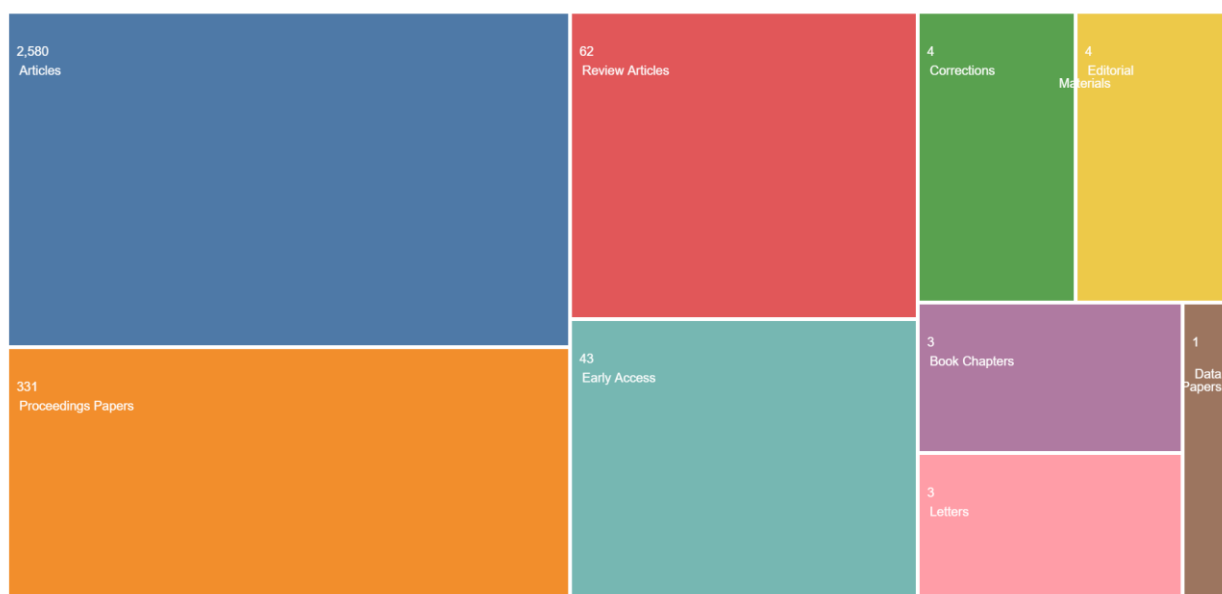


Figura 1.3. Structura publicațiilor cu subiect LST selectat din Web of Science Core Collection în perioada 2017-2022, pe tip de document [141].

## 1.2. Tipuri de texturi realizate cu laserul

Texturarea suprafeței cu laser (LST) este o metodă utilă de generare a diferitelor tipuri de modele pe suprafețele materialelor pentru realizarea de microstructuri. Prin procedeul LST se poate îndepărta materialul de pe suprafață (prin dizolvare, evaporare, expulzare și/sau topire) pentru a modifica rugozitatea suprafeței, măbind zona de contact, benefică pentru îmbinare.

LST se poate implementa pe diverse categorii de materiale, precum metal (cupru, titan, magneziu, aluminiu și aliajele acestora, aliaje cobalt-crom, oțel inoxidabil etc.), polimeri (PP, PE, PLLA, PMMA, PEEK etc.), ceramică ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ , etc.) și compozite (PP/aluminiu armat cu fibră de sticlă, aliaj de magneziu/PET, AISI 304/PA6, SiC/SiC, C/SiC etc.). De obicei, modelul poate fi regulat sau neregulat, sub formă de șanțuri, gropițe, denivelări sau alte modele [75].

Cele mai des întâlnite și utilizate modele [76] sunt cele sub formă de groapă/gaură/crater [26,41,48,55,67,87,120,122,134], linii paralele [2,34,35,39,47,61,65,81,97,104,115,129,137], ochiuri sau model încrucișat [5,39,87,104,108,137]. Printre modelele remarcabile s-au evidențiat modelele dreptunghi [120], triunghi [120], sub formă de coral-rocă și stea [49], elipsă [18], cercuri concentrice [78], micropiloni [81], plante siberiene [32], etc.

## 1.3. Parametrii de procesare pentru LST

Pentru aplicații cu destinații specifice, texturarea suprafeței cu laser (LST) este o metodă care permite, din punct de vedere al performanței, îmbunătățirea suprafeței unui material proiectat. [75].

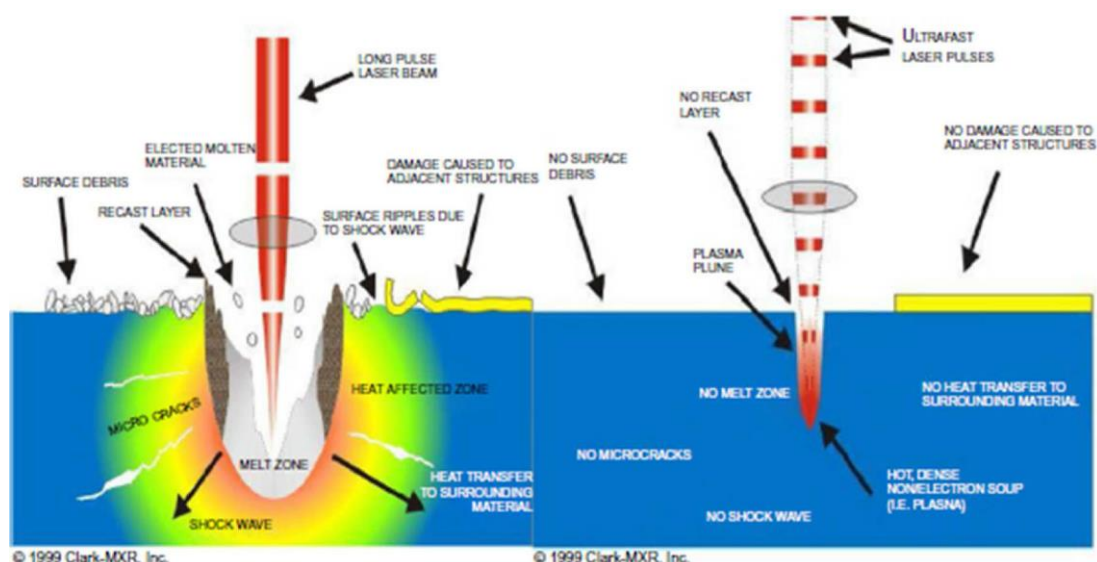


Figura 1.11. Diferența dintre interacțiunea laser-material cu fascicul laser în modul pulsant în nanosecunde (stânga) și interacțiunea laser-material cu fascicul laser pulsant în femtosecunde (dreapta) [23].

Pentru a obține, în același timp, o textură corespunzătoare pe suprafața materialului și pentru a reduce din eventualele defecte, este de o importanță majoră să se țină cont de următorii parametri: intensitatea laserului, energia pe impuls, lungimea de undă al laserului, frecvența impulsurilor laser,

polarizarea, numărul și rata de repetiție, distanța focală, unghiul de incidență, viteza de scanare, numărul de cicluri, suprapunerea spotului laser [23]. De Zanet A. et al. prezintă în [23] diferențele dintre interacțiunile laser-material în modul pulsant nanosecunde și femtosecunde pentru materialul ceramic (Figura 1.11). Autorii au concluzionat că echipamentele laser în modul cu impulsuri pulsate în femtosecunde sunt mai promițătoare pentru obținerea de texturi de înaltă precizie pe ceramică, fiindcă lipsesc efectele termice adverse în zona ablației, [23].

#### *1.4. Aplicații ale LST*

Texturarea suprafeței cu laser (LST) este o metodă utilizată, pe scară largă, la nivel mondial [74-77] pentru funcționalizarea suprafețelor [43,80,85,88], fiind utilizată în diverse domenii precum: implanturi medicale [10,19,22,24,42,83,107], reglarea din punct de vedere al umectabilității suprafeței [35,39,47,76,100,114], proprietăți optice [95,97], îmbunătățiri tribologice [25,79,91], creșterea aderenței [16,57,96], schimbătoare de căldură [1], industria fotovoltaică [9,44], vopsire [38], scule de tăiere [31,112,113,136] și în îmbinările hibride [4,6,7,11,74,79,84,90,92, 94,97, 102,118,123].

Îmbinările hibride între diferite tipuri de materiale distincte, cum ar fi nemetale (ceramică și polimeri) și metalele, prezintă o abordare larg personalizabilă, utilizată în industria aerospațială [84], industria auto [6,118], producții industriale [4,11], ambalare [97], industria producătoare de echipamente electro-casnice [92], precum și în domeniul biomedical [123], vizând structuri ușoare, care sunt optimizate din punct de vedere al costurilor de producție și al rezistenței [84,90,102].

#### *1.5. Concluzii*

Printre procedeele utilizate în funcționalizarea suprafețelor materialelor se regăsește și texturarea cu laser, fiind o metodă care poate fi implementată cu ușurință. Texturarea suprafeței cu laser poate fi aplicată pe diverse tipuri de materiale, cu ajutorul diferitelor tipuri de echipamente laser, folosind de la echipamente de tip pulsant în picosecunde, femtosecunde sau nanosecunde sau combinațiile ale acestora, urmărindu-se aceleași rezultate în ceea ce privește îmbunătățirea rugozității, umectabilității și proprietăților suprafeței materialului. În funcție de tipul de laser și de reglarea parametrilor de procesare, pot fi obținute diferite forme și dimensiuni ale microstructurilor.

Cele mai utilizate echipamente laser sunt cele pulsate în nanosecunde, condiționate din punct de vedere economic și al cerințelor industriale, chiar dacă echipamentele laser pulsant în femtosecunde sau picosecunde sunt promițătoare în ceea ce privește atingerea unei precizii mai mari, datorită efectelor termice adverse aproape absente din zona micro structurată. Tipul de laser pulsant în nanosecunde favorizează procesele de topire, structurile rezultate fiind dominate de materialul topit și resolidificat, fiind de obicei mai mari față de cele micro structurate cu laser pulsant în femtosecunde.

Aplicațiile texturării suprafețelor sunt vaste, dar cu un echipament laser pulsant în nanosecunde poate fi utilizat în aplicații tribologice, îmbunătățirea rezistenței la coroziune, îmbinări hibride (metal-polimer), pentru a dezvălui comportamentul hidrofob/superhidrofob, biomateriale și aplicații biomedicale (ex. îmbunătățirea legăturii osteoblastice a celulelor stem umane, implant de celule stem în biopolimeri), stomatologie și ortodonție.

## 2. Obiectivele tezei

Analizând concluziile capitolului anterior și cerințele industriale, obiectivele cercetării de față sunt:

- Realizarea de texturi pe suprafața materialelor folosind un laser industrial ieftin, cu modul pulsant în nanosecunde, pentru a se putea aplica rezultatele direct în industrie. Acest obiectiv a fost propus de partenerul industrial, pentru a satisface cerințele din proiectele viitoare, legate de îmbunătățirea produselor și ieftinirea procesului tehnologic.
- Micro texturarea canelurilor în buclă închisă, rezultată în urma studiului literaturii științifice și din stagiul practic efectuat la partenerul industrial. Problema contururilor închise este coincidența dintre punctul final și punctul de inițial al modelului, mai ales în cazul trecerilor repetate.
- Determinarea influenței parametrilor de proiectare și procesare pentru texturarea suprafețelor cu laser, asupra formei arhitecturii suprafeței, rugozității și comportamentului la umectare. Deoarece unele dintre modelele texturate, în special matricea de tip groapă/gaură/crater, prezintă dificultăți în ceea ce privește analiza morfologică, sunt definite caracteristicile din punct de vedere al analizei morfologice pentru a asigura rezultate fiabile.
- Furnizarea de recomandări pentru companiile industriale care intenționează să implementeze acest proces în producție și pentru proiectanții de implanturi medicale, aparate de uz casnic și scule pentru tăiere. Prin alegerea modelului potrivit și a parametrilor de prelucrare se poate obține adaptarea rugozității suprafeței, reglarea umectabilității, îmbinarea hibridă, modificarea proprietăților optice și îmbunătățirea aderenței.

Cerința majoră, în ceea ce privește funcționalizarea suprafețelor prin procesul de texturare cu fascicul laser, este acumularea tuturor beneficiilor posibile într-un singur proces, cu un cost redus și viteză mare de procesare.

### 3. Materiale și metode

#### 3.1. Materiale

Materialul selectat pentru texturarea suprafeței cu laser (LST) este un oțel inoxidabil tip feritic (AISI 430, EN 1.4016, echivalent cu X6Cr17, ISO/TS 15510:2003), furnizat de către compania Acerinox din Madrid, Spania, sub denumirea ACX 500. Acest grad al oțelului inoxidabil feritic 430, este un aliaj de bază al grupului feritic, disponibil sub formă de sârmă și tablă (până la 1.2 mm grosime), având finisaje de tip 2B (reflexie moderată) și/sau BA (recopt cu suprafață strălucitoare).

Tabel 3.1. Compoziția chimică, proprietățile mecanice și fizice ale oțelului inoxidabil AISI 430, conform ASTM A-240 și EN 10088-2:2005.

| Clasificarea proprietăților | Elementul chimic               | Concentrația (%)          |
|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Compoziția chimică          | Carbon                         | ≤ 0.80                    |
|                             | Mangan                         | ≤ 1.00                    |
|                             | Silicon                        | ≤ 1.00                    |
|                             | Sulf                           | ≤ 0.015                   |
|                             | Fosfor                         | ≤ 0.040                   |
|                             | Crom                           | 16.00-18.00               |
|                             | Azot                           | ≤ 0.045                   |
| Proprietăți mecanice        | <b>Proprietatea</b>            | <b>Unitatea de măsură</b> |
|                             | Rezistența la tracțiune        | 450-600 MPa               |
|                             | Rezistență la curgere 0.2%     | min. 260 MPa              |
|                             | Alungire                       | min. 22%                  |
|                             | Duritate max.                  | 89 HRB                    |
| Proprietăți fizice          | Modulul de tracțiune           | 200 GPa                   |
|                             | elasticitate torsiune          | 65 GPa                    |
|                             | Densitatea                     | 7800 kg/m <sup>3</sup>    |
|                             | Intervalul punctului de topire | 1425-1510 °C              |
|                             | Expansiunea termică            | 10.4x10 <sup>-6</sup> /K  |
|                             | Capacitatea termică specifică  | 460 J/kgK                 |
|                             | Conductivitate la 100 °C       | 26.1 W/mK                 |
|                             | a termică la 500 °C            | 26.3 W/mK                 |
|                             | Rezistența electrică           | 600 nȳm                   |
|                             | Coeficientul 0 - 100 °C        | 10.4 ȳm/mK                |
|                             | mediu de 0 - 315 °C            | 11.0 ȳm/mK                |
|                             | dilatare 0 - 540 °C            | 11.4 ȳm/mK                |
|                             | termică 0 - 700 °C             | 12.1 ȳm/mK                |
|                             | Permeabilitatea relativă       | feromagnetică             |

Din cauza finisajului foarte reflectiv al suprafeței materialului ales (calitate BA), probele din oțelul AISI 430 reflectă puternic și, înainte de a aplica orice prelucrare pe suprafața oțelului inoxidabil feritic, s-a efectuat analiza reflectivității spectrale. Un spectrofotometru GTF (Photonic Technologies Group,

Woking, Marea Britanie) a fost utilizat pentru analiza reflectivității spectrale a probei de material, înainte de aplicarea LST.

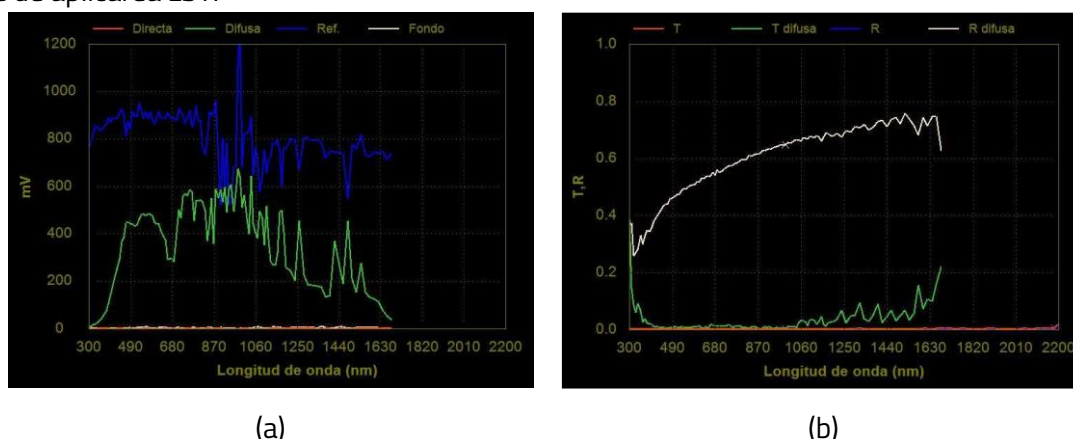


Figura 3.3. (a) Spectrul de calibrare a spectrofotometrului; (b) spectrofotometru pentru oțelul inoxidabil feritic AISI 430.

Reflectivitatea spectrală (Figura 3.4.) indică cantitatea de radiație laser incidentă, adică procentul reflectat și cel absorbit de către suprafața materialului analizat. Analiza spectrofotometrică oferă posibilitatea centralizării rezultatelor măsurărilor (rezultând astfel Figura 3.3.b-captura afișajului de pe ecranul echipamentului utilizat), arătând aceeași tendință ca și în cazul rezultatelor obținute în analiza grafică a oțelului inoxidabil (Figura 3.4.).

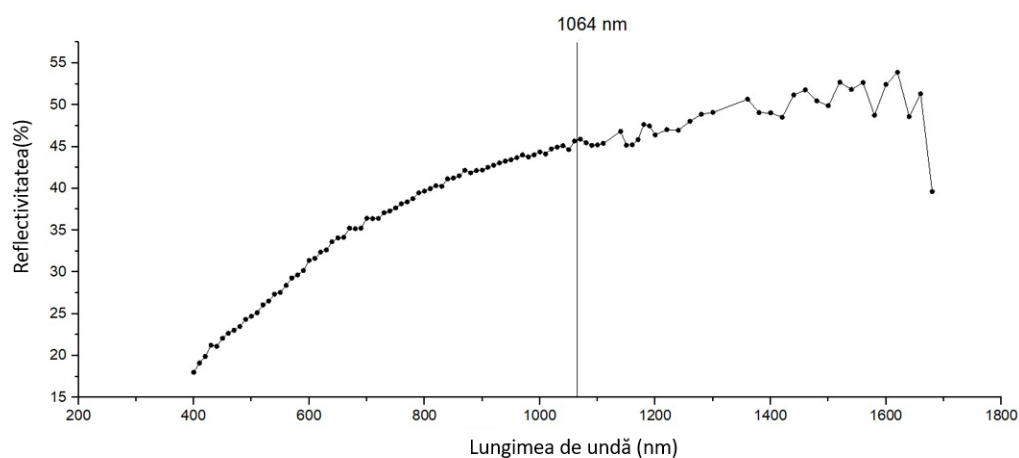


Figura 3.4. Reflectivitatea spectrală a probei de oțel inoxidabil feritic AISI 430 și lungimea de undă a sursei laser TruMark 5020.

### 3.2. Procedee

#### 3.2. Tehnologia și echipamentele utilizate în microtexturarea suprafeței

Datorită software-ului de proiectare asistată integrat (AutoCAD) în echipamentul laser, poate fi realizată o mare varietate de modele. Acest studiu se adresează noilor modele pentru proiectare, de exemplu, 3x octogoane concentrice (tipul de model A), două elipse la un unghi de 90° care se suprapun (tipul de model B) și modelul crater (tipul de model C). Epruvetele cu dimensiunile de 80 x 25 x 0.5 [mm], au fost prelevate dintr-o foaie de tablă mare. Înainte de prelucrarea cu laser, probele

au fost curățate cu Isopropanol (soluție 2-Propanol, cu 60 g/mol, greutate moleculară) pentru curățarea și degresarea epruvetelor.

Tabel 3.2. Reprezentarea schematică a tipurilor de modele selectate pentru micro texturare.

|              | Design model | Detaliu schiță |
|--------------|--------------|----------------|
| Design tip A |              |                |
| Design tip B |              |                |
| Design tip C |              |                |

S-a luat în considerare o distanțare față de marginile epruvetei pentru texturare, pentru a putea permite utilizarea echipamentelor de prindere, utilizate în realizarea îmbinărilor de tip hibrid, și pentru că nu este recomandată realizarea cordonului de sudură pe marginea epruvetei de oțel inoxidabil feritic, din cauza predispoziției de fragilitate din zona influențată termic.

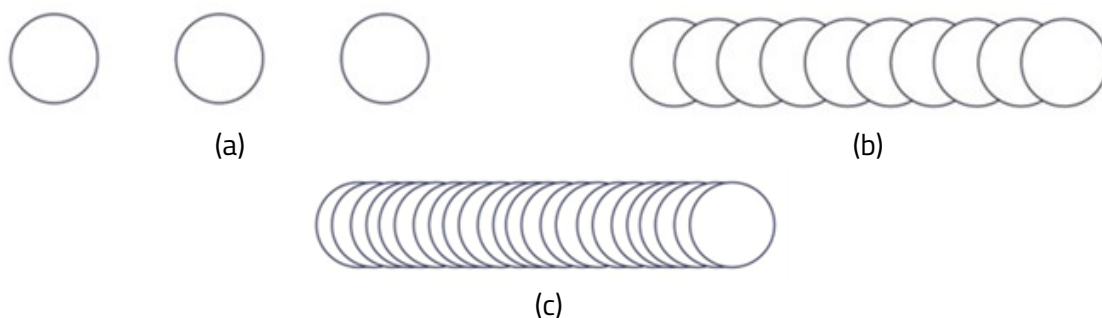


Figura 3.5. Reprezentarea suprapunerii fasciculului laser 0 % (a), 50% (b) și 90% (c).

Suprapunerea fasciculului laser este un alt aspect important în texturarea cu laser a suprafețelor (Figura 3.5). S-a observat că suprapunerea  $> 90\%$  se va comporta și va forma o adâncitură continuă, similară cordonului de sudură. Din acest motiv, se va impune o distanță dintre centrele spotului laser de  $10\ \mu\text{m}$  (doar în cazul modelelor de tip A și B), rezultată din raportul vitezei și frecvenței. Pentru tipul texturare model C (fără suprapunerea fasciculului laser) distanța dintre centrele spotului laser este de  $500\ \mu\text{m}$ . Căldura generată prin fasciculul laser trebuie să difuzeze eficient, în timp ce căldura captată în zona influențată trebuie să conducă la o adâncime mai mare în timp ce zona influențată termic trebuie diminuată. Micro texturarea a fost realizată cu ajutorul echipamentului laser cu modul pulsant, nanosecunde, TruMark 5020 (Trumpf Laser und Systemtechnik GmbH, Ditzingen, Germania), utilizat în mod regulat pentru marcare în industrie. Pe parcursul experimentelor, parametrii constanți au fost: impulsul per punct, puterea laserului, diametrul spotului fasciculului laser, distanța focală, densitatea puterii laserului, parametrii variabili fiind: viteza, rata de repetiție (frecvența), numărul de repetări, lățimea pulsului, reprezentați în Tabelul 3.4. Repetabilitatea a fost configurată astfel: 1 repetare, până la maximum 20 de repetări, pentru modelele octogonale și elipsă și maxim 15 repetări pentru modelul crater. Numărul maxim de repetări a fost ales după observarea creșterii intensității stropilor și materialului expulzat. Creșterea cantității de material expulzat crește zona influențată termic și materialul refulat.

Tabel 3.3. Proprietățile echipamentului de texturare laser TruMark 5020, de la Trumpf [144].

| Proprietate                        |         | Unitate de măsură și valori                |
|------------------------------------|---------|--------------------------------------------|
| Mediul activ                       |         | Nd: Fiber Diode-pompat                     |
| Diametrul mesei rotative           |         | 600 mm                                     |
| Lungimea de parcurgere             | Z - axa | 265 mm                                     |
|                                    | Z - axa | 1 m/min                                    |
|                                    | A - axa | 22.5 rpm                                   |
| Lungimea de undă                   |         | 1064 nm                                    |
| Puterea medie                      |         | $\leq 20\ \text{W}$                        |
| Consumul de energie                |         | $< 0.6\ \text{kW}$                         |
| Calitatea fasciculului             |         | $M^2 \sim 2$                               |
| Diametrul min. al distanței focale |         | $\sim 110\ \mu\text{m}$                    |
| Zona de marcare                    |         | 180 x 180 mm                               |
| Distanța focală                    |         | 254 mm                                     |
| Frecvența pulsului                 |         | 5 – 1000 kHz                               |
| Durata pulsului                    |         | 9-200 ns                                   |
| Diametrul spotului                 |         | 100 $\mu\text{m}$ (distanța focală=254 mm) |

Profilul densității fasciculului laser a fost investigat înainte de prelucrare pentru a se asigura că se va obține o absorbție adecvată a fasciculului laserului în material. Profilul distribuției al intensității (Figura 3.7.) radiației laser pe planul de suprafață poate fi descris ca fiind de formă Gaussian, oferind astfel o imagine asupra viitoarei forme create. În timpul interacțiunii fascicul laser cu suprafața, se formează o plasmă de intensitate mare, înconjurată de un câmp încărcat cu electroni care duc la fenomene de topire a materialului – reformare, chiar și la delaminarea stratului de suprafață. Figura

3.8. arată un rezultat aproape perfect privind fasciculul laser, fasciculul perfect și fasciculul fiind aproape identice.

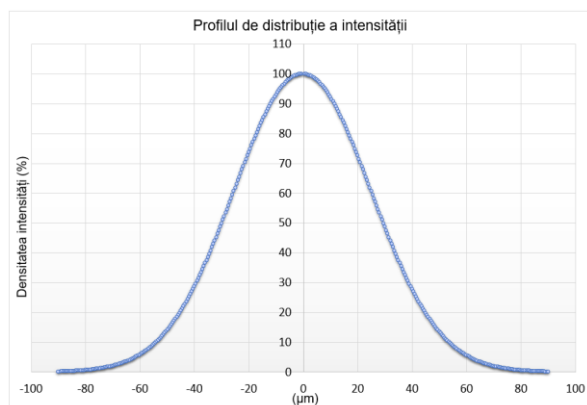


Figura 3.7. Profilul distribuției intensității fasciculului laser și domeniul spotului pentru echipamentul TruMark 5020.

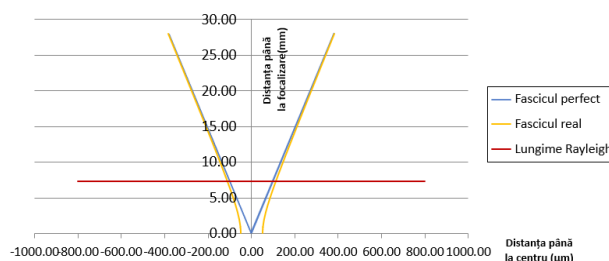


Figura 3.8. Simularea fasciculului laser al echipamentului TruMark 5020.

Alegerea și utilizarea unui laser pulsant în nanosecunde, în detrimentul laserului pulsant în picosecunde sau femtosecunde, a avut la bază exigențele economice din aplicațiile industriale, echipamentele pentru texturarea suprafețelor cu laser având cerințe pentru o automatizare ușoară și debit mare. Pentru a obține o suprapunere a fasciculului laser de 99%, este esențial să se mențină relația de corelație dintre frecvență-viteză (relația 3.1 [99]), unde viteza este direct proporțională cu frecvența:

$$S = \frac{\left(1 - \frac{Os}{100}\right) d \cdot f}{1 - \left(1 - \frac{Os}{100}\right) w \cdot f} \quad (3.1)$$

unde:  $S$  = viteza [mm/min],  $Os$  = suprapunerea fasciculului laser,  $d$  = diametrul spotului [mm],  $f$  = frecvența [Hz],  $w$  = lățimea impulsului [ms].

Tabel 3.4. Parametrii constanți și variabili utilizați în micro texturarea cu laser a suprafeței inoxului inoxidabil AISI 430.

| Parametrii constanți                        | Unitatea de măsură   | Valoarea                                                      |
|---------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------|
| Puterea                                     | [W]                  | 20                                                            |
| Diametrul spotului                          | [μm]                 | 100                                                           |
| Densitatea de putere                        | [W/cm <sup>2</sup> ] | 2.55x10 <sup>5</sup>                                          |
| Impulsuri pe punct                          | [număr]              | 1                                                             |
| Lățimea traseului spotului                  | [mm]                 | 0.5                                                           |
| Suprapunerea fasciculului laser             | [%]                  | 99                                                            |
| Defocalizare                                | [mm]                 | 0                                                             |
| Distanța între centrele modelelor texturate | [mm]                 | 2.25 (design tip A)<br>2 (design tip B)<br>0.5 (design tip C) |
| Distanța focală                             | [mm]                 | 254                                                           |
| <b>Parametrii variabili</b>                 |                      |                                                               |
| Frecvența                                   | [kHz]                | 30-100                                                        |

|                    |         |              |
|--------------------|---------|--------------|
| Viteza             | [mm/s]  | 300-1000     |
| Lăţimea impulsului | [ns]    | 170-50       |
| Nr. de repetări    | [număr] | 1/5/10/15/20 |

Numărul de spoturi implementate trebuie să asigure reuşita calităţii micro texturării. Un segment important a fost dobândirea unei mari repetabilităţi, datorită traiectoriei identice în ceea ce priveşte viteza şi frecvenţa folosită. Repetabilitate este selectată aleatoriu, începând cu o singură trecere, apoi adăugându-se câte 5 repetări până se va ajunge la un maximum de 20 de repetări (design tip A şi B) şi 15 repetări (design tip C). Numărul maxim de repetări a fost ales din cauza creşterii stropilor în intensitate şi materialului expulzat redepus pe marginea crevaselor. Creşterea cantităţii de material expulzat va creşte odată cu zona influenţată termic şi a materialului expulzat redepus pe marginea crevaselor. Au fost efectuate diferite variaţii ale parametrilor (numărul de repetări, viteza, frecvenţa), dar menţinându-se corelate. Printre rezultatele analizate se poate distinge evoluţia fluenţei (raportul dintre energia impulsului laser şi aria suprafeţei), lăţimea impulsului (timpul măsurat la jumătatea maximă a întregii lăţimi ale impulsului) şi energia impulsului (Figura 3.9.a). O energie a impulsului mai mare de 400  $\mu\text{J}$  (frecvenţă de la 30 la 50 kHz) apare la o putere medie constantă de 20 W, cu o putere maximă în impulsuri de 3,8 kW. Pentru o varietate al intervalului de frecvenţă utilizat (30–100 kHz), fluenţa scade în domeniul de la 8,49 până la 2,55  $\text{J}/\text{cm}^2$ . Acest lucru arată o tendinţă de scădere în ceea ce priveşte rate de ablaţie odată cu creşterea frecvenţei, ceea ce înseamnă că mai puţin material este îndepărtat de pe suprafaţa materialului micro texturat în timp ce frecvenţa creşte.

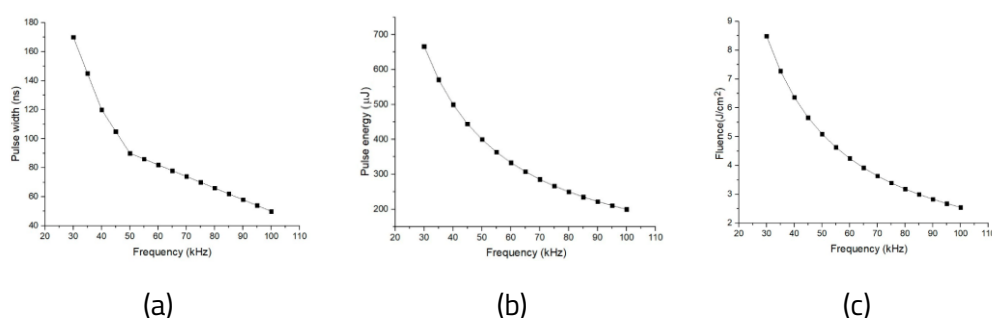


Figura 3.9. Lăţimea pulsului (a), energia pulsului (b) şi fluenţa (c) în funcţie de frecvenţă.

Ciclul de timp se referă la o singură secvenţă de repetare, care descreşte odată cu creşterea frecvenţei (Figura 3.10.). Ciclul de timp este un parametru important, fiindcă indică timpul necesar pentru efectuarea micro texturării. Importanţa vine din influenţa asupra capacităţii şi volumului de producţie care poate fi realizat, putând astfel influenţa automatizarea procesului de texturare a suprafeţei cu laser.

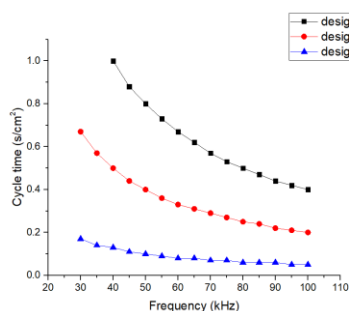


Figura 3.10. Durata ciclului în funcţie de frecvenţă.

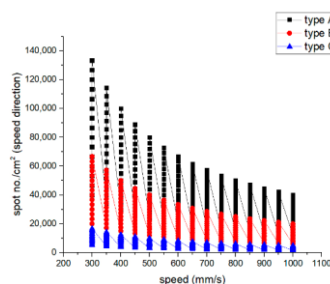


Figura 3.11. Densitatea spoturilor pe direcţia vitezei.

Figura 3.11. reprezintă numărul de spoturi pe  $\text{cm}^2$ , pe direcția vitezei. Direcția vitezei este direcția procesului de texturare cu laser, iar direcția pe axa y este spațiul dintre centrele modelelor de micro textură aplicată. Numărul de spoturi poate reprezenta un factor decisiv pentru definirea rezoluției necesare și scopul dorit în micro texturare. Variația de spoturi de pe direcția axei y este constantă, dar diferită în funcție de modelul micro texturării. În cazul numărului de spoturi de pe direcției vitezei este în descreștere, în timp ce viteza crește.

### *3.2.3. Pregătirea epruvetelor*

Tăierea oțelului inoxidabil AISI 430 feritic a fost realizată cu ajutorul echipamentului Struers Accutom 505, utilizând un disc abraziv Disc Corindum Cut-off (cu dimensiunea arborelui de 12.7 mm). După tăierea probelor micro texturate, s-a pregătit încapsularea în rășină epoxidică, de tip poliesterică (de la Gilca, Zaragoza, Spania) și un întăritor (MEK peroxide-Ketanol, de la Gilca, Zaragoza, Spania). În urma procedurii de pregătire a probelor metalografice, pentru dezvoltarea microstructurii și a grăunților a fost utilizat atacul chimic cu soluția Vilella (reactiv specific pentru dezvoltarea structurii în analiza metalografică pentru produse din oțel inoxidabil feritic și oțeluri inoxidabile). Compoziția soluției chimice pentru dezvoltare este de 45 ml glicerol, 30 ml acid clorhidric și 15 ml acid azotic. Timpul pentru dezvoltarea structurii recomandat este de 10 secunde. Întreruperea dezvoltării se face prin introducerea probei sub jet de apă și tamponarea cu un material de bumbac curat până la uscare.

## *3.3. Tehnici și echipamente de caracterizare*

### *3.3.1. Analiza morfologică*

Analiza microscopică pentru obținerea imaginilor suprafeței 2D și imaginile topografice 3D a fost efectuată cu ajutorul echipamentului microscop optic, vertical, Olympus BX35 (Olympus Europa Holding GMBH, Germania), iar imaginile au fost capturate cu ajutorul camerei de achiziție Olympus DP73 și a unei surse de alimentare, lampă cu halogen Olympus TH4 pentru controlul luminozității. Imaginile au fost achiziționate cu ajutorul unui adaptor de montare multiport și transmise printr-un cablu HDMI către PC. Programul software utilizat este Olympus Stream Motion. Analiza microscopică pentru imaginile în secțiune și măsurători a fost realizată cu un microscop optic Leica, cu contrast de fază de înaltă calitate (Leica Microsystems, Elveția, Ltd, model DMIL M LED). Imaginile capturate cu ajutorul camerei de achiziții integrată în echipament (Leica Microsystems CH-9435 Heerbrugg, Singapore), cu o unitate compactă de iluminare precentrată cu diodă emițătoare de lumină (LH 113 LED, 12V, Germania) și softwarul Leica Application Suite versiunea 4.10 .0.

Microtexturarea suprafeței materialului se realizează datorită ablației locale cu fascicul laser, care generează șanțuri cu o anumită adâncime și lățime, în funcție de parametrii operaționali. De asemenea, în apropierea crevaselor, o parte din materialul expulzat poate fi depus sub formă de material redepus la marginea gravurilor (Figura 3.19). Pentru fiecare probă s-a măsurat înălțimea materialului expulzat (depus la marginile scobiturii), lățimea crevasei, adâncimea și aria crevasei.

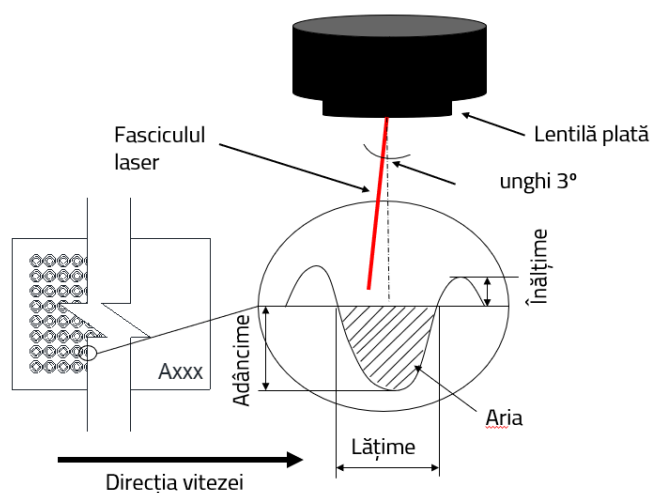


Figura 3.19. Caracterizarea geometriei (înălțime, lățime, adâncime și arie) micro texturilor de pe suprafața oțelului inoxidabil feritic AISI 430.

### 3.3.2. Echipamentele de analiză SEM+EDX

Analiza morfologică a suprafeței epruvetelor a fost realizată prin microscopie electronică de baleiaj (SEM FEI Quanta 200 3D Dual beam, echipat cu unitate de analiză prin spectroscopie cu raze X cu dispersie de energie-X flash Bruker, SUA). Distanța de lucru este setată la 15 mm în modul vid redus, cu o dimensiune spot 5, tensiune înaltă (20kV) și detector LFD (Large Field Detector-Detector de câmp mare).

### 3.3.3. Echipamentul pentru analiza rugozității

Echipamentul ales pentru măsurarea rugozității suprafeței texturate are o precizie ridicată fiind testerul de rugozitate tip ISR-C100 (Insize Co, Suzhou New District, China). Parametrii de rugozitate măsurați au fost:  $R_a$ ,  $R_z$ , și  $R_t$  [138,139]. Măsurarea și colectarea datelor au fost realizate cu ajutorul programului software PreSurf 1.0 (Presurf Enterprise).

### 3.3.4. Echipamentul pentru analiza umectabilității

Echipamentul folosit pentru testarea umectabilității este goniometrul CA Ossila. Picăturile de apă distilată utilizate în analiza și determinarea unghiului de contact, au fost plasate pe suprafețele micro texturate cu ajutorul unei micropipete cu un volum de 10  $\mu$ L. Pentru o mai bună acuratețe, procedura de măsurare a unghiului de contact a fost repetată de trei ori, iar pentru fiecare epruvetă micro texturată rezultatul final este media măsurătorilor. La măsurarea unghiului de contact al suprafeței oțelului inoxidabil feritic microtexturate cu laser, durata lungimii video a fost setată pentru 15 s. Cadrul a fost configurat pentru fiecare secundă, astfel rezultatele sunt valoarea medie a unghiului de contact, măsurat pentru fiecare cadru în parte.

## 4. Analiza morfologică a texturării suprafeței oțelului inoxidabil AISI 430 cu laser

### 4.1. Microscopie optică

Imaginile optice au fost utilizate pentru verificarea calității texturării, iar imaginile microscopice în secțiune transversală au fost utilizate pentru a măsura înălțimea materialului refulat depus pe/lângă marginile crevasei (unde este cazul), lățimea, adâncimea și aria craterului. Rezultatele sunt media a cinci măsurători (minimum) ale diferitelor goluri de pe aceeași epruvetă. Toate măsurătorile sunt conform figurii 3.19.

#### 4.1.1. Model tip A, formă de octogoane concentrice

În figura 4.1. sunt prezentate imagini de detaliu ale microtexturii, imagini microscopice, harta topografică 3D și micrografie optică în secțiune transversală a probei A (viteză 300 mm/s, frecvență 30 kHz, nr. de repetări 1, durata pulsului 170 ns). Măsurătorile realizate cu ajutorul microscopului optic pentru imaginile de sus și în secțiune transversală realizate oferă rezultatele: aria medie de  $227,17 \mu\text{m}^2$ , cu  $7,02 \mu\text{m}$  adâncime și  $47,73 \mu\text{m}$  lățime. Materialul refulat din partea stângă are aria de  $79,13 \mu\text{m}^2$  cu o înălțime de  $5,23 \mu\text{m}$ . De pe partea dreaptă are o arie de  $74,09 \mu\text{m}^2$  și  $5,99 \mu\text{m}$  înălțime.

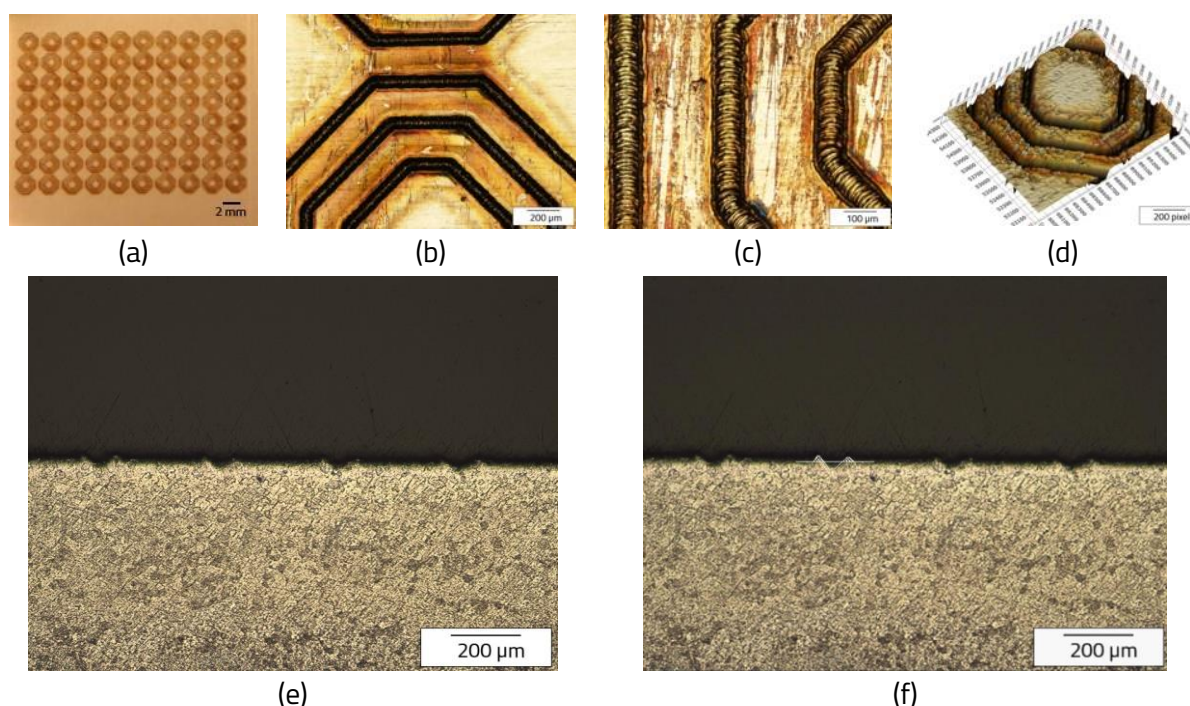


Figura 4.1. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c), imagine topografică 3D (d) și vedere în secțiune transversală (e) a texturării de tip A, (f) măsurători, frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s, nr. de repetări 1.

În figura 4.2. este prezentată detaliul imaginii microtexturii aplicate, imagini microscopice și micrografie optică în secțiune transversală a probei A (viteză 300 mm/s, frecvență 30 kHz, nr. de repetări 5, durata pulsului 170 ns). Măsurătorile realizate cu microscopul optic a imaginilor în secțiune transversală oferă o aria medie de  $334,58 \mu\text{m}^2$ , cu  $9,98 \mu\text{m}$  adâncime și  $48,70 \mu\text{m}$  lățime. Materialul

reformat de pe marginea crevasei din partea stângă are o arie de  $71,01 \mu\text{m}^2$  cu o înălțime de  $5,59 \mu\text{m}$ . Partea dreaptă are o arie de  $39,13 \mu\text{m}^2$  și o înălțime de  $3,28 \mu\text{m}$ .

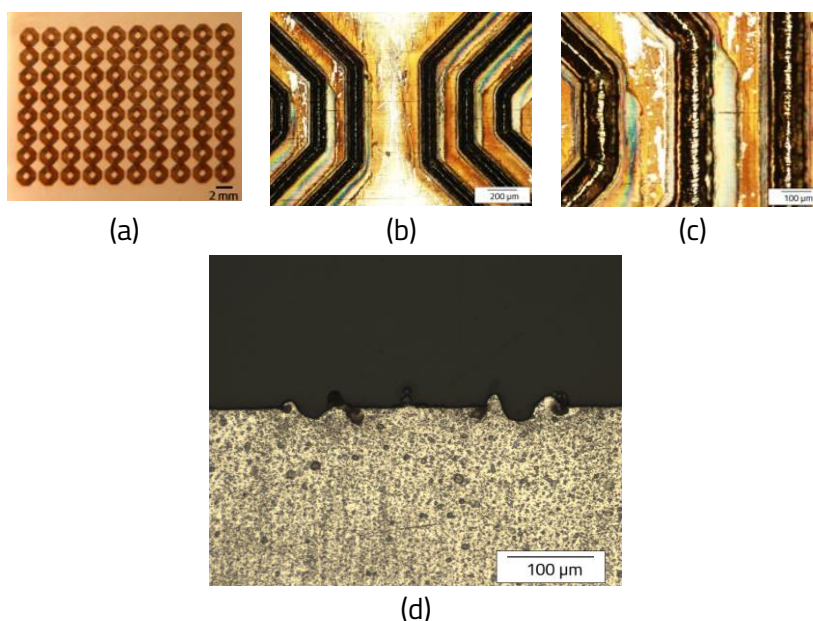


Figura 4.2. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c) și vedere în secțiune transversală (d) cu design tip A, frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s, nr. de repetări 5.

Când numărul de repetări crește până la 10, se poate evidenția modul în care zona influențată termic crește până la jumătate din distanța dintre centrele a două micro texturii. În figura 4.3.c. apare o zonă verde, care pare a fi oxid de crom. În Figura 4.3.d., vederea în secțiune transversală microscopică, se distinge direcția unghiului de înclinare ( $3^\circ$ ) al fasciculului laser. Una dintre laturile are mai mult material refulat (materialul expulzat din interiorul crevasei și redepus pe marginea crevasei) față de cealaltă margine.

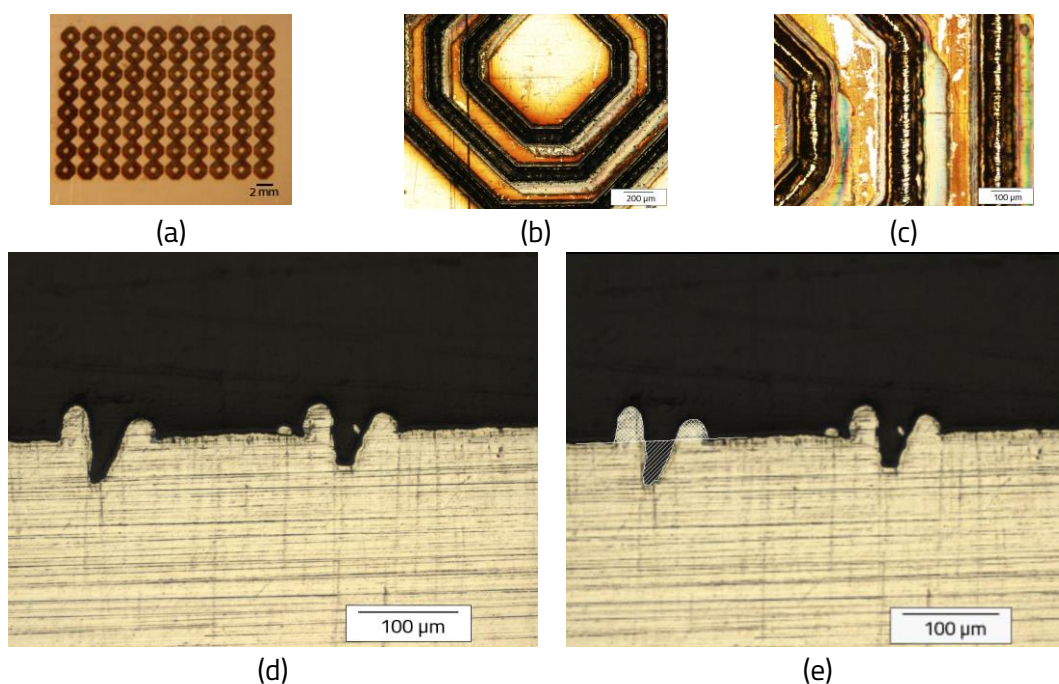


Figura 4.3. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c) și vedere în secțiune transversală (d) cu design tip A, (e) măsurători, frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s, nr. de repetări 10.

În figura 4.4. se prezintă proba A (viteza 300 mm/s, frecvență 30 kHz, nr. de repetări 15, durata impulsului 170 ns). Măsurătorile realizate cu microscopul optic a imaginilor din secțiunea transversală oferă o arie medie de  $499,06 \mu\text{m}^2$ , cu  $19,53 \mu\text{m}$  adâncime și  $40,29 \mu\text{m}$  lățime. Materialul refulat din partea stângă are o arie de  $75,57 \mu\text{m}^2$  cu o înălțime de  $5,526 \mu\text{m}$ . Partea dreaptă are o arie de  $187,73 \mu\text{m}^2$  și  $9,12 \mu\text{m}$  înălțime.

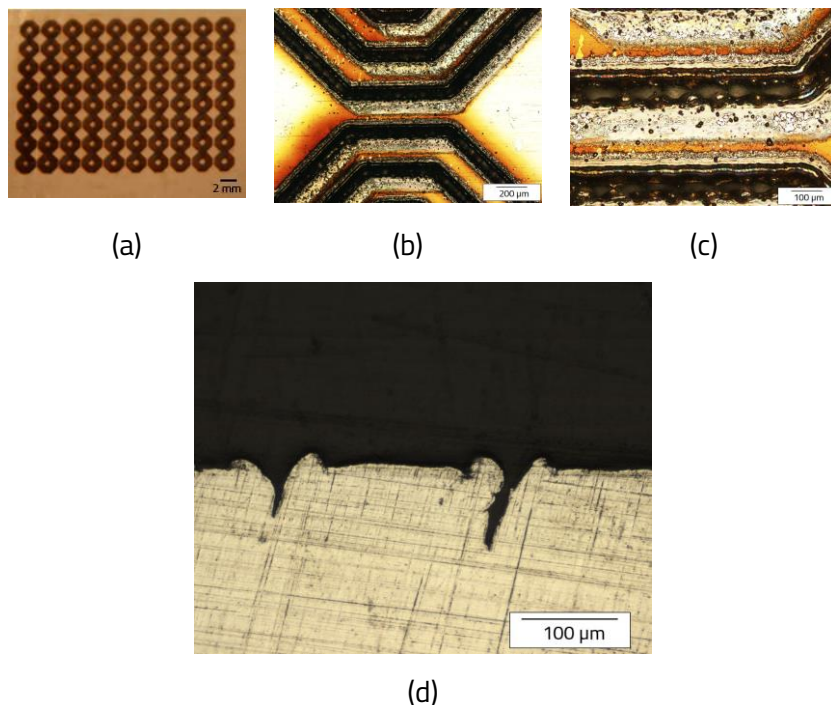


Figura 4.4. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c) și vedere în secțiune transversală (d) cu design tip A, frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s, nr. de repetări 15.

În figura 4.5. se prezintă epruveta A (viteza 300 mm/s, frecvență 30 kHz, nr. de repetări 20, durata impulsului 170 ns). Măsurătorile cu microscopul optic în secțiune transversală oferă o arie medie de  $379,43 \mu\text{m}^2$ , cu  $13,46 \mu\text{m}$  adâncime și  $43,65 \mu\text{m}$  lățime. Materialul refulat din partea stângă are o arie de  $158,18 \mu\text{m}^2$  cu o înălțime de  $11,63 \mu\text{m}$ . Partea dreaptă are aria de  $138,28 \mu\text{m}^2$  și  $8,20 \mu\text{m}$  înălțime.

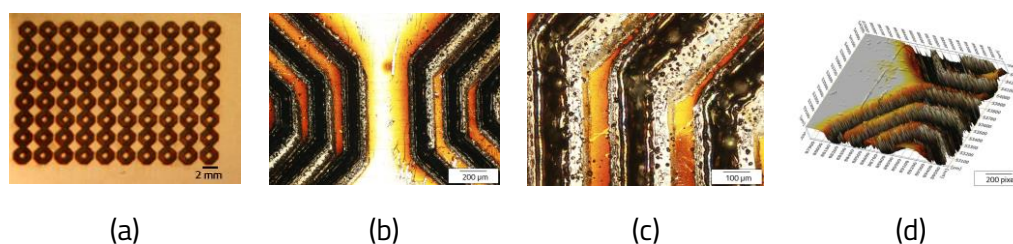


Figura 4.5. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c) și imagine topografică 3D cu design tip A, frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s, nr. de repetări 20.

În timp ce viteza și frecvența cresc, abia se poate deosebi micro-textura din detaliile imaginii probei. Imaginile microscopice oferă informații despre zona influențată termic, care lipsește aproape complet, stropii, care lipsesc și despre o ușoară neregularitate a microtexturii în ceea ce privește liniaritatea.

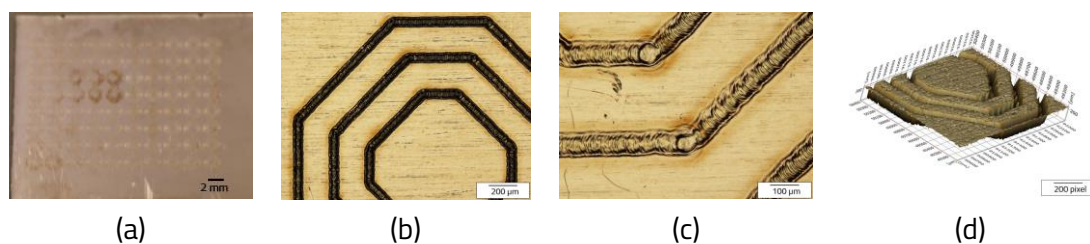


Figura 4.13. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c) și imagine topografică 3D cu design tip A, frecvență 50 kHz, viteză 500 mm/s, nr. de repetări 1.

Când numărul de repetări crește la 20, în comparație cu o repetare, o imagine de ansamblu total diferită poate fi distinsă cu evidențierea unei zone influențată termic bine definită.

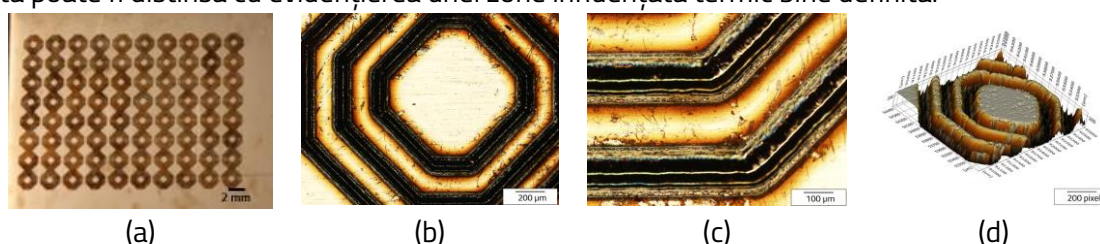


Figura 4.14. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c) și imagine topografică 3D cu design tip A, frecvență 50 kHz, viteză 500 mm/s, nr. de repetări 20.

Conform figurii 4.23 aria și adâncimea microstructurii cresc până la nr. de 15 repetări ale microstructurării. Odată cu creșterea repetabilității, dimensiunea materialului refulat crește, de asemenea. De asemenea, lățimea crevasei este invers proporțională cu numărul de repetări, care tinde să scadă. Această tendință apare deoarece în cazul repetării în creștere, materialul expulzat nu mai poate să ajungă la suprafața piesei prelucrate ca material refulat, ci în schimb se va depune pe pereții golului, îngustând lățimea crevasei. Materialul refulat depus este influențat de alinierea unghiului fasciculului laser, rezultând că o parte a materialului refulat este mai mare decât cealaltă parte, în funcție de direcția fasciculului laser.

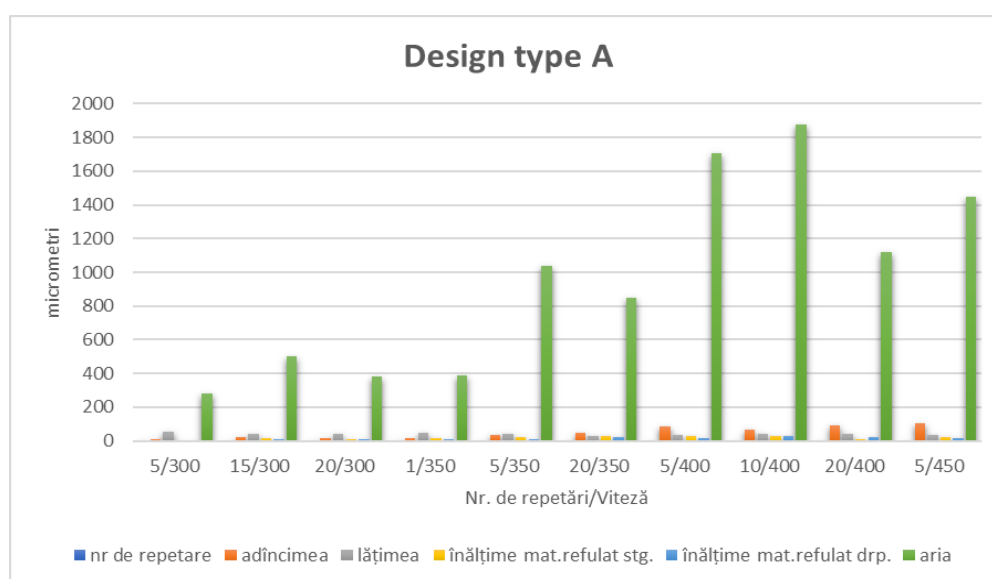


Figura 4.23. Caracterizarea geometriei crevasei și al materialului refulat după texturare, modelul cu octogoane concentrice (tip design A).

#### 4.1.2. Model tip B, formă de elipse la 90°

În cazul modelului de tip B, canelurile sunt mai largi și mai puțin adânci față de celelalte două modele. Aceasta este o consecință a materialului expulzat care a fost depus în interiorul crevasei într-o poziție mai joasă decât în tipul de design A. Rezultatele indică o creștere a lății odată cu creșterea vitezei de scanare, în timp ce cota materialului refulat și zona de adâncime afișează o tendință constantă.

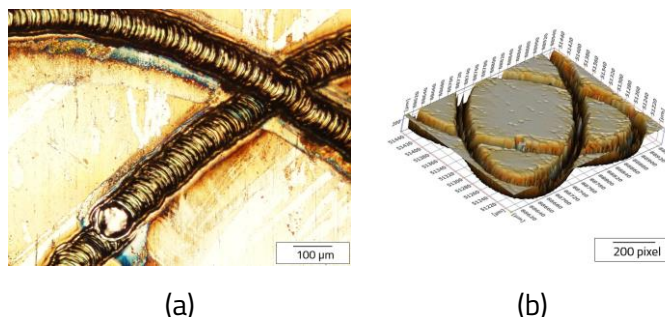


Figura 4.24. Imagine microscopică (a) și imagine topografică 3D (b) cu design tip B, frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s, nr. de repetări 1.

În Figura 4.25 sunt prezentate imagini microscopice și micrografie cu hartă optică 3D a probei B (viteză 300 mm/s, frecvență 30 kHz, nr. de repetări 10, durata pulsului 170 ns).

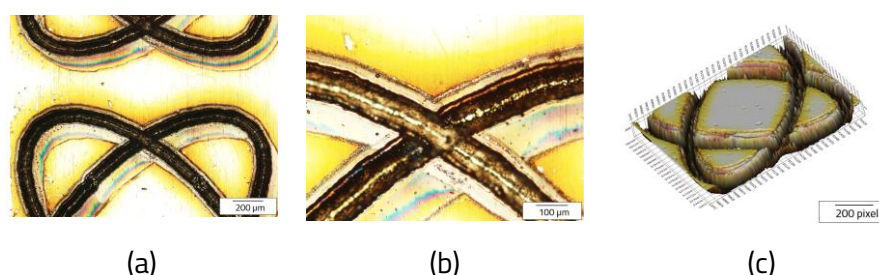


Figura 4.25. Imagine microscopică (a, b) și imagine topografică 3D (c) cu design tip B, frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s, nr. de repetări 10.

În figura 4.26. sunt prezentate imagini microscopice și micrografie cu hartă topografică 3D a probei B (viteză 300 mm/s, frecvență 30 kHz, nr. de repetări 15, durata pulsului 170 ns). Măsurătorile realizate cu microscopul optic asupra imaginilor în secțiune transversală oferă o arie medie de 1556,35  $\mu\text{m}^2$ , cu 54,94  $\mu\text{m}$  adâncime și 28,31  $\mu\text{m}$  lățime. Materialul refulat de pe partea stângă are o înălțime de 8,03  $\mu\text{m}$ , iar partea dreaptă are o înălțime de 20,62  $\mu\text{m}$ . Stropii apar asimetric din cauza înclinării fasciculului laser.

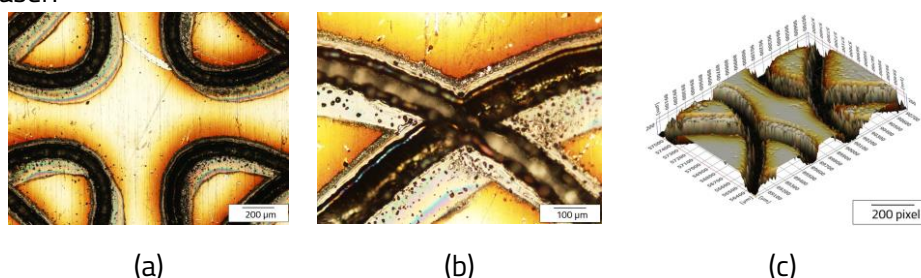


Figura 4.26. Imagine microscopică (a, b) și imagine topografică 3D (c) cu design tip B, frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s, nr. de repetări 15.

În figura 4.27. este prezentată imaginea microscopică și micrografia cu hartă topografică 3D a probei B (viteză 300 mm/s, frecvență 30 kHz, nr. repetiții 20, durata pulsului 170 ns). Măsurătorile cu microscopul optic a imaginilor în secțiunea transversală oferă o arie medie de  $2539,36 \mu\text{m}^2$ , cu  $43,82 \mu\text{m}$  adâncime și  $57,95 \mu\text{m}$  lățime. Materialul refulat pe partea stângă are o înălțime de  $18,07 \mu\text{m}$ , iar partea dreaptă are o înălțime de  $22,24 \mu\text{m}$ .

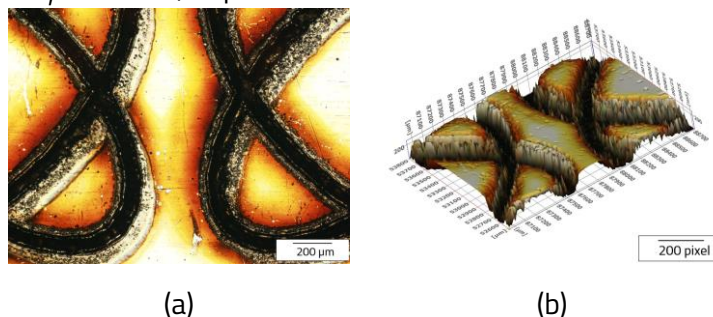


Figura 4.27. Imagine microscopică (a) și imagine topografică 3D (b) cu design tip B, frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s, nr. de repetări 20.

În figura 4.28.c. se evidențiază fenomenul traiectoriei imperfecte a modelului geometric, fiind descentrat la începutul și sfârșitul procesului de texturare, apărând defectul de închidere a buclei.

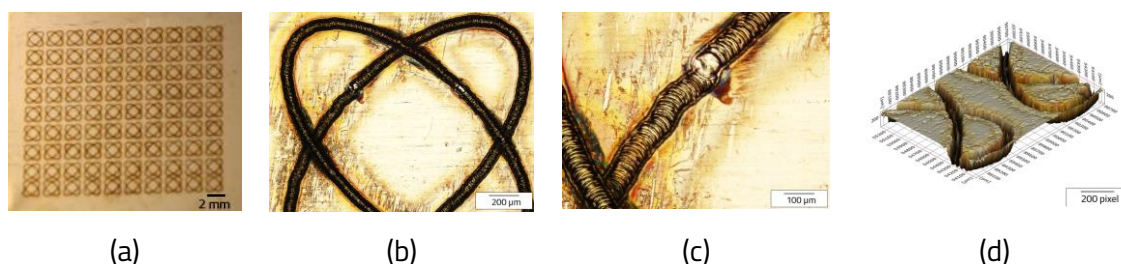


Figura 4.28. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c) și imagine topografică 3D (d) cu design tip B, frecvență 35 kHz, viteză 350 mm/s, nr. de repetări 1.

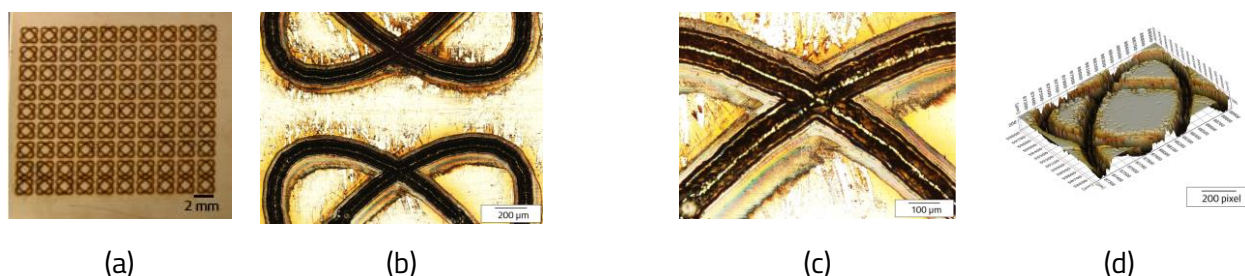


Figura 4.29. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c) și imagine topografică 3D (d) cu design LST tip B, frecvență 35 kHz, viteză 350 mm/s, nr. de repetări 5.

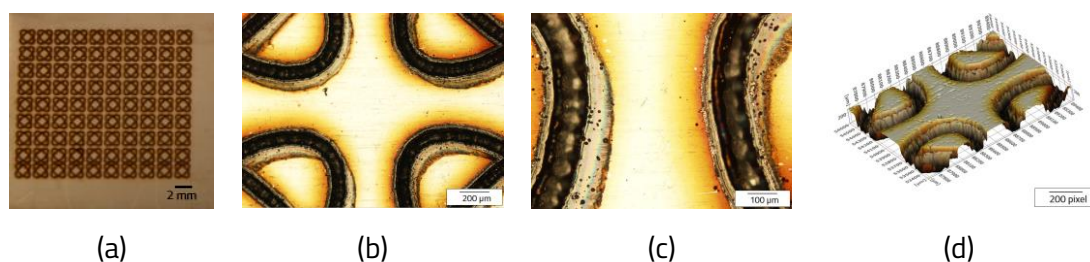


Figura 4.30. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c) și imagine topografică 3D (d) cu design tip B, frecvență 35 kHz, viteză 350 mm/s, nr. de repetări 10.

Din Figura 4.31 poate fi vizibilă suprafața de suprapunere a celor două elipse, creând astfel o zonă influențată termică mai accentuată. Nu se pot observa stropi pentru acest model.

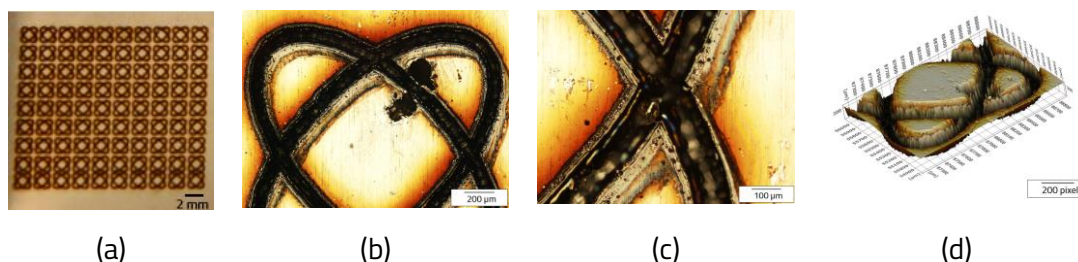


Figura 4.31. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c) și imagine topografică 3D (d) cu design tip B, frecvență 35 kHz, viteză 350 mm/s, nr. de repetări 15.

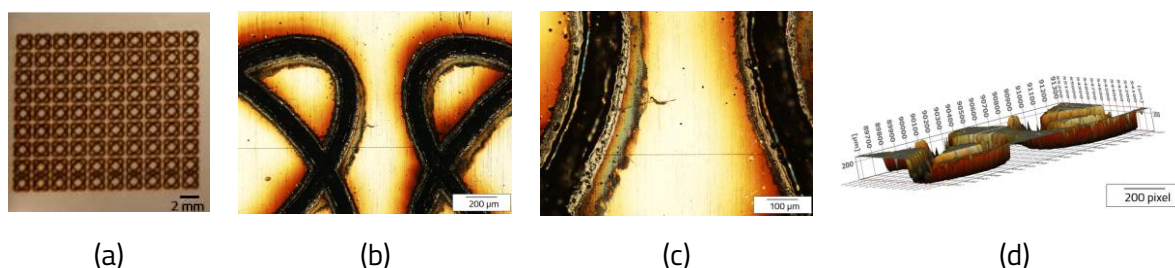


Figura 4.32. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c) și imagine topografică 3D (d) cu design tip B, frecvență 35 kHz, viteză 350 mm/s, nr. de repetări 20.

Devine mai clar și evident că odată cu creșterea vitezei și a frecvenței acest tip de model oferă o traiectorie imperfectă (Figura 4.33.b.).

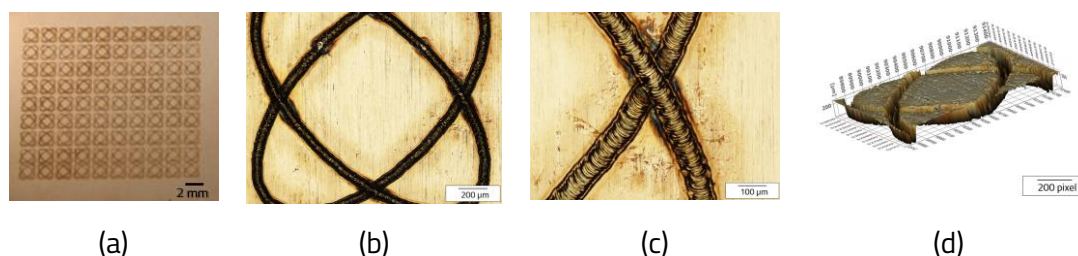


Figura 4.33. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c) și imagine topografică 3D (d) cu design tip B, frecvență 40 kHz, viteză 400 mm/s, nr. de repetări 1.

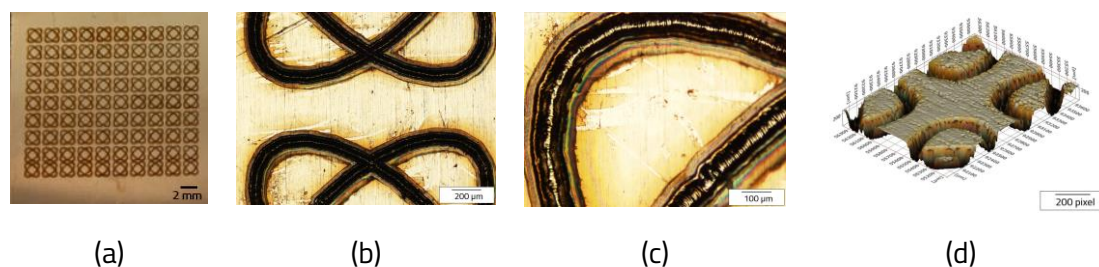


Figura 4.34. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c) și imagine topografică 3D (d) cu design tip B, frecvență 40 kHz, viteză 400 mm/s, nr. de repetări 5.

În Figura 4.37 este prezentată imaginea detaliată a modelului de micro-texturare, imagini microscopice și micrografie cu hartă topografică 3D a probei B (viteză 400 mm/s, frecvență 40 kHz,

nr. de repetări 20, durata pulsului 120 ns). Măsurătorile cu microscopul optic a imaginilor în secțiune transversală arată 39,86  $\mu\text{m}$  adâncime și 63,97  $\mu\text{m}$  lățime. Materialul refulat de pe partea stângă are o înălțime de 17,61  $\mu\text{m}$ , iar partea dreaptă are o înălțime de 20,66  $\mu\text{m}$ .

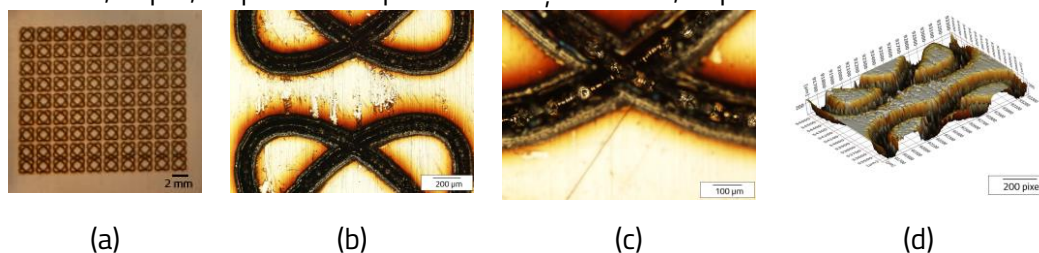


Figura 4.37. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c) și imagine topografică 3D (d) cu design tip B, frecvență 40 kHz, viteză 400 mm/s, nr. de repetări 20.

În Figura 4.45 este prezentată imaginea detaliată a modelului de micro-texturare cu imagini microscopice ale probei B (viteză 500 mm/s, frecvență 50 kHz, nr. de repetări 10, durata pulsului 90 ns). Măsurătorile cu microscopul optic asupra imaginilor în secțiunea transversală oferă 38,01  $\mu\text{m}$  adâncime și 64,42  $\mu\text{m}$  lățime. Materialul expulzat de pe partea stângă are o înălțime de 16,75  $\mu\text{m}$ , iar partea dreaptă are o înălțime de 20,62  $\mu\text{m}$ .

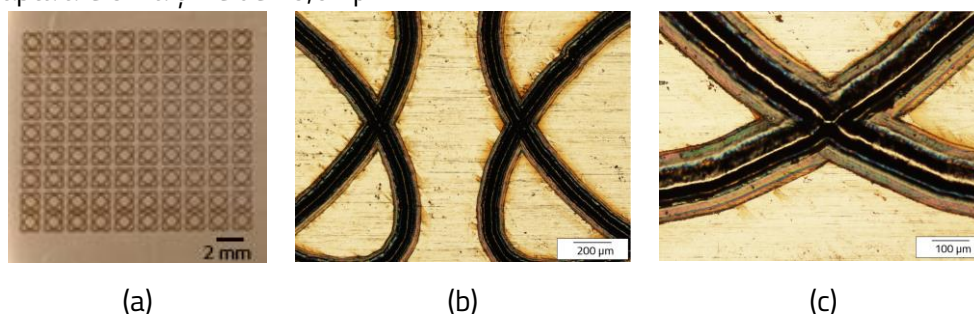


Figura 4.45. Detaliu imagine (a) și imagini microscopice (b, c) cu design tip B, frecvență 50 kHz, viteză 500 mm/s, nr. de repetări 10.

Cu viteza și frecvența crescute, pentru o singură trecere, devine dificil evidențierea modelul micro-texturat (Figura 4.54.) și pe măsură ce crește numărul de repetări, lățimea microtexturii scade (Figura 4.55.).

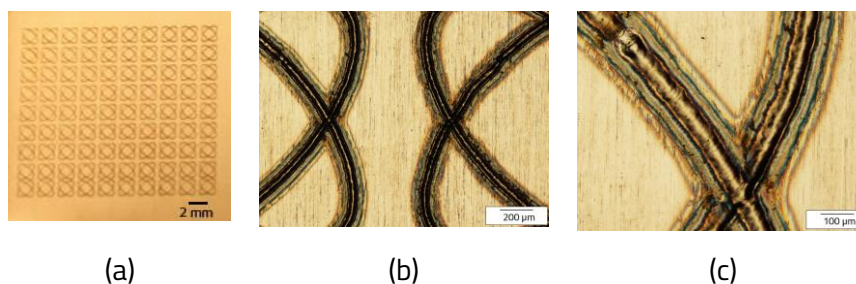


Figura 4.54. Detaliu imagine (a) și imagini microscopice (b, c) cu design tip B, frecvență 65 kHz, viteză 650 mm/s, nr. de repetări 5.

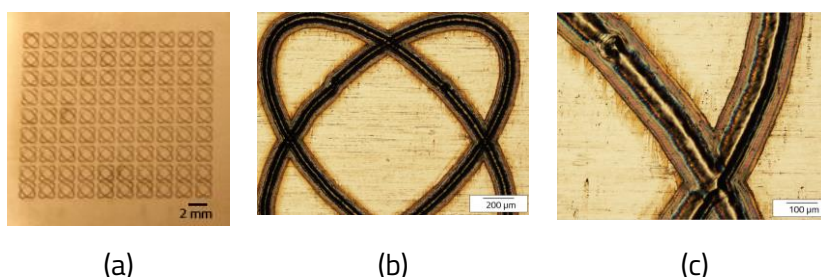


Figura 4.55. Detaliu imagine (a) și imagini microscopice (b, c) cu design tip B, frecvență 65 kHz, viteză 650 mm/s, nr. de repetări 10.

În Figura 4.68 rezultatele indică o creștere a lății crevasei odată cu creșterea vitezei de scanare, în timp ce dimensiunea materialului refulat și adâncimea crevasei prezintă o tendință relativ constantă. Parametrul lății se oprește la viteza de 400 mm/s, frecvența de 40 kHz și 20 nr. de repetiții din tendința ascendentă. După acest parametru, tendința devine de scădere. Nu aceeași tendință se poate spune despre înălțimea materialului expulzat din crevasă pe marginea acesteia. Materialul refulat este influențată în dimensiune de către adâncimea scobiturii create de texturarea cu fasciculul laser, într-o tendință de fluctuație (scade/crește).

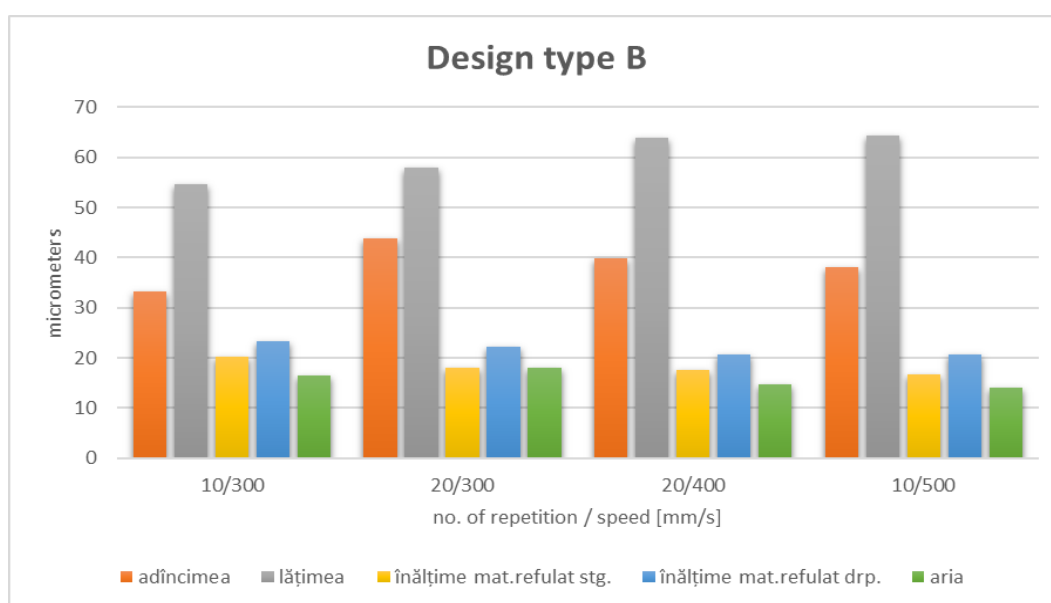


Figura 4.68. Caracterizarea geometriei crevasei și al materialului refulat după texturare, modelul cu elipse la 90° (tip design B).

#### 4.1.3. Model tip C, formă de crater

În cazul tipului C de texturare se remarcă lipsa materialului refulat (materialul expulzat din craterul creat de procedeul de texturare a suprafeței cu fasciculul laser și redepus pe marginea acestuia). Datorită acestui fapt, înălțimea refulării lipsește. Odată cu creșterea vitezei, adâncimea, lățimea și aria crevasei, arată o tendință de scădere în ceea ce privește valoarea măsurată. Se poate observa numărul mare de stropi din apropierea conturului craterului (Figura 4.69).

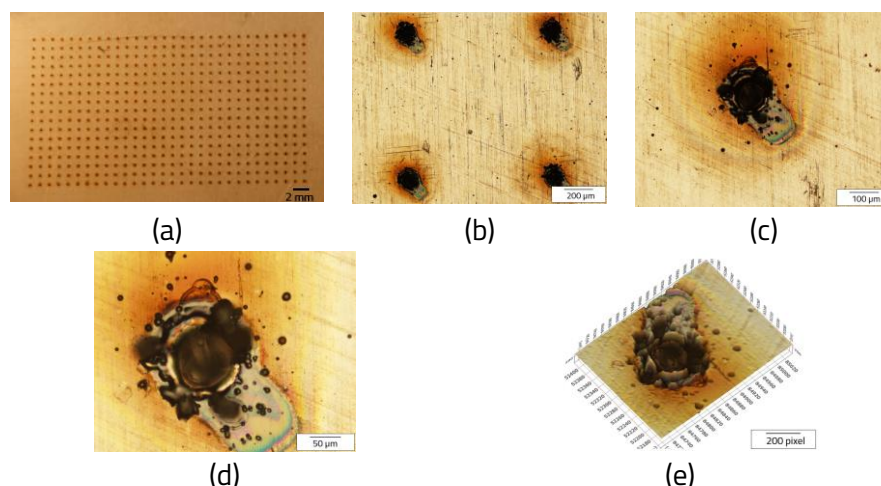


Figura 4.69. Detaliu imagine (a) și imagini microscopice (b, c, d) și imagine topografică 3D (e) cu design tip C, frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s, nr. de repetări 1

În figura 4.70. sunt prezentate detaliile imaginii microtexturii aplicate și imagini microscopice ale probei C (viteza 300 mm/s, frecvența 30 kHz, nr. repetiții 5, durata impulsului 170 ns). Măsurătorile cu microscopul optic a imaginilor din secțiune transversală oferă o arie medie de  $18.237,98 \mu\text{m}^2$ , cu  $126,82 \mu\text{m}$  adâncime și  $143,81 \mu\text{m}$  lățime. Nu există material refulat pe marginile crevasei.

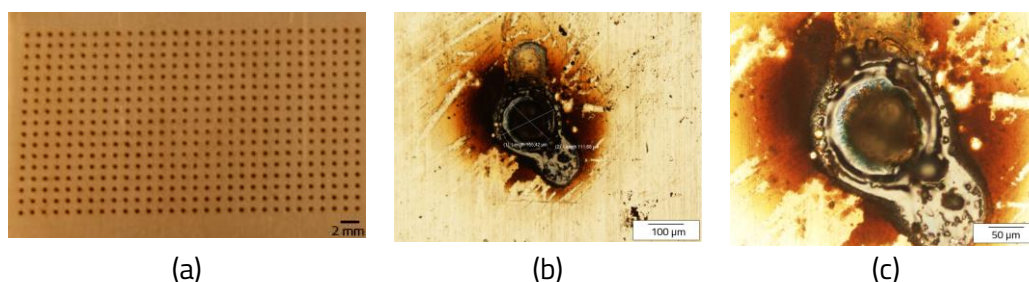
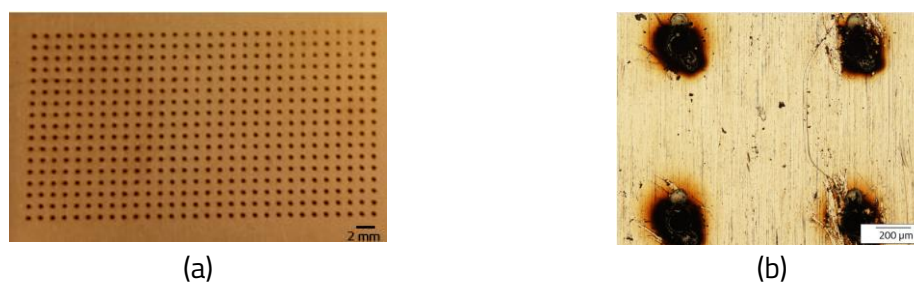


Figura 4.70. Detaliu imagine (a) și imagini microscopice (b, c) cu design tip C, frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s, nr. de repetări 5.

În Figura 4.71 sunt prezentate detaliul imaginii microtexturii aplicate, imagini microscopice și în secțiunea transversală a probei C (viteză 300 mm/s, frecvență 30 kHz, nr. de repetări 10, durata pulsului 170 ns). Măsurătorile cu microscopul optic a imaginilor în secțiune transversală realizate oferă o arie medie de  $3807,80 \mu\text{m}^2$ , cu  $127,64 \mu\text{m}$  adâncime și  $156,65 \mu\text{m}$  lățime. Nu există material refulat pe marginile crevasei. Din imaginea microscopului în secțiune transversală se poate observa lipsa materialului refulat (Figura 4.71.e).



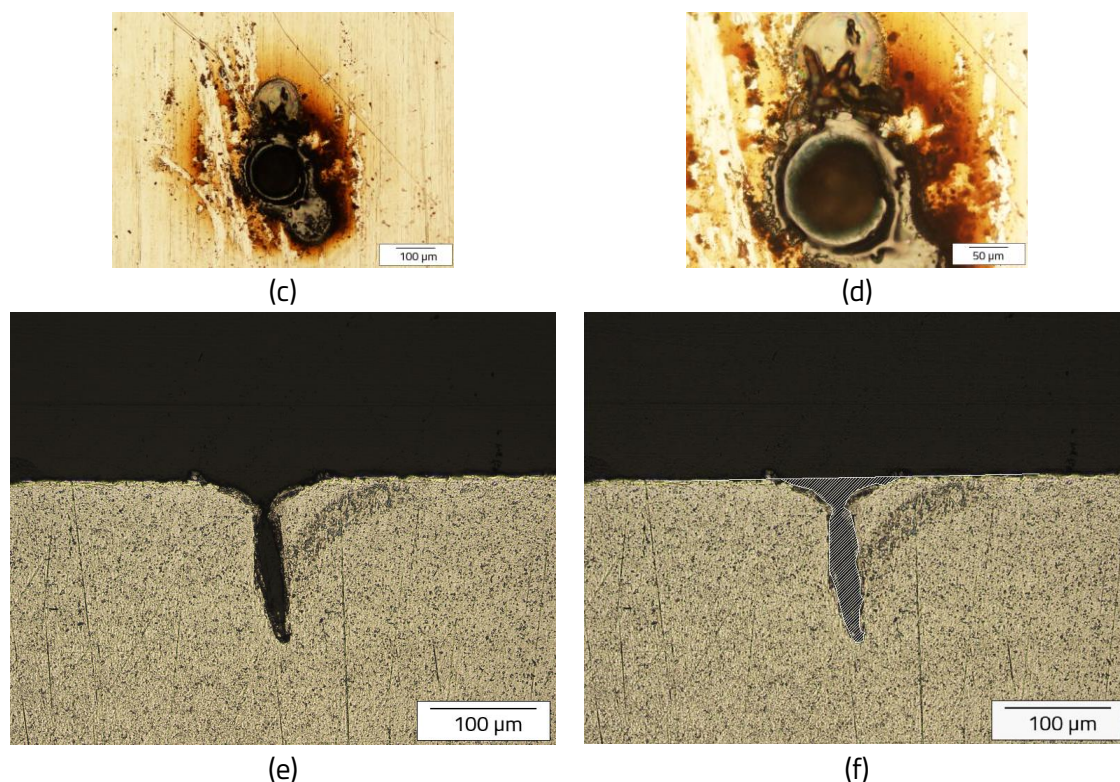
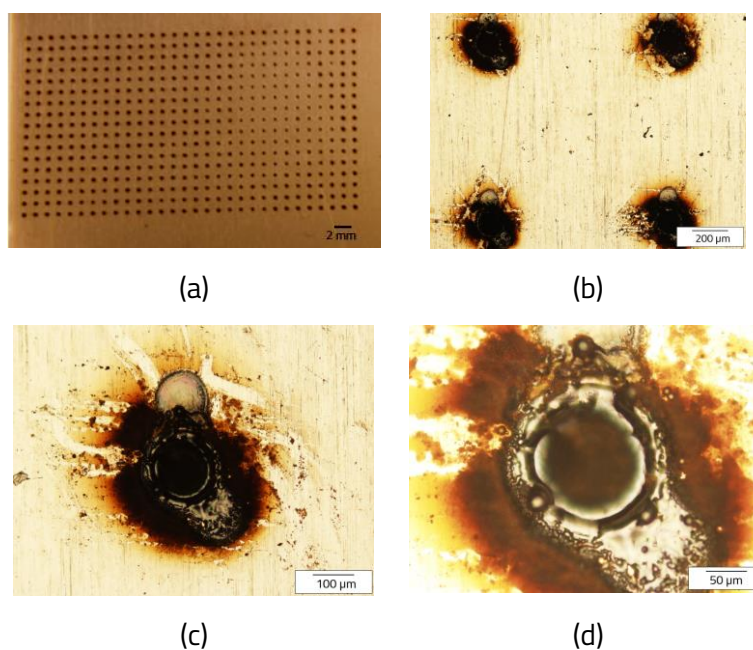
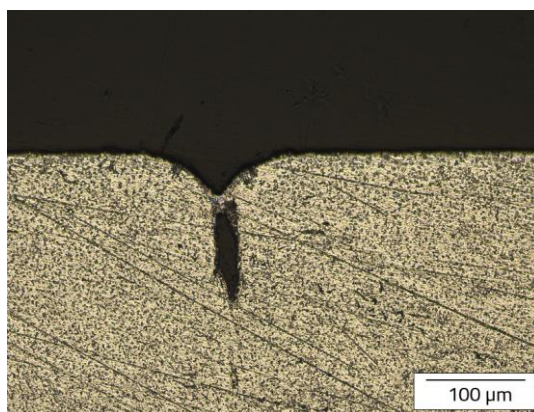


Figura 4.71. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c, d) și imagini secțiune transversală (e) design tip C, (f) măsurători, frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s, nr. de repetări 10

În Figura 4.72 sunt prezentate detaliile imaginii microtexturii aplicate, imagini microscopice și micrografie optică în secțiune transversală a probei C (viteză 300 mm/s, frecvență 30 kHz, nr. de repetări 15, durata pulsului 170 ns). Măsurătorile cu microscopul optic a imaginilor în secțiune transversală realizate oferă o arie medie de  $3428,54 \mu\text{m}^2$ , cu  $157,34 \mu\text{m}$  adâncime și  $124,95 \mu\text{m}$  lățime. Nu există material refulat pe marginile crevasei (Figura 4.72.e).

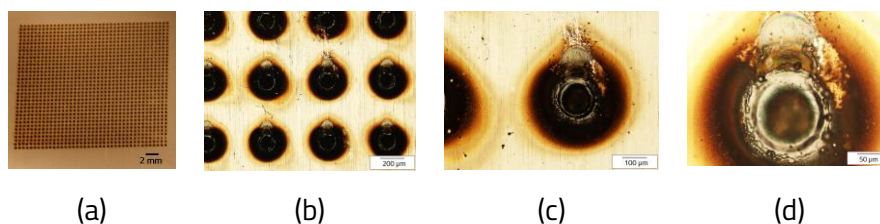




(e)

Figura 4.72. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c, d) cu design tip C, frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s, nr. de repetări 15.

Odată cu creșterea vitezei, a frecvenței și al numărului de repetări, zona influențată termic devine mai mare și mai pronunțată. Stropii nu mai sunt atât de evidenți, față de o frecvență mai mică și un număr mai mic de repetări, ceea ce poate însemna că nu mai sunt aproape de marginile scobiturii, în zona afectată termic. Există posibilitatea ca stropii dintr-un punct microtexturat să se deplaseze în alt punct, sau mai rău, să se deplaseze în golurile vecine, creând astfel valori eronate ale adâncimii crevaselor.



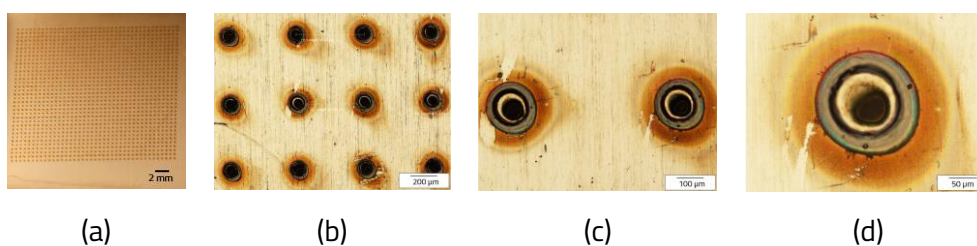
(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 4.84. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c, d) cu design tip C, frecvență 45 kHz, viteză 450 mm/s, nr. de repetări 15.



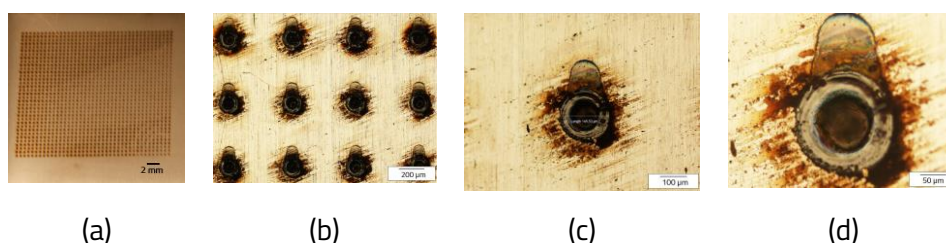
(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 4.85. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c, d) cu design tip C, frecvență 50 kHz, viteză 500 mm/s, nr. de repetări 1.



(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 4.86. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c, d) cu design tip C, frecvență 50 kHz, viteză 500 mm/s, nr. de repetări 5.

În Figura 4.87 sunt prezentate detalii ale imaginii microtexturii aplicate și imagini microscopice ale probei C (viteză 500 mm/s, frecvență 50 kHz, nr. de repetări 15, durata pulsului 90 ns). Măsurătorile cu microscopul optic a imaginilor în secțiune transversală oferă o arie medie de  $2608,70 \mu\text{m}^2$ , cu  $48,39 \mu\text{m}$  adâncime și  $110,75 \mu\text{m}$  lățime. Nu există material refulat pe marginile crevasei.

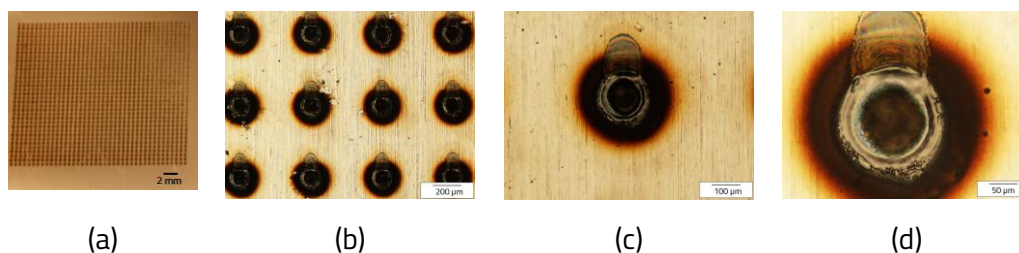


Figura 4.87. Detaliu imagine (a), imagini microscopice (b, c, d) cu design tip C, frecvență 50 kHz, viteză 500 mm/s, nr. de repetări 10.

În Figura 4.89 sunt prezentate detalii ale imaginii microtexturii aplicate, imagini microscopice și micrografie în secțiune transversală a probei C (viteză 600 mm/s, frecvență 60 kHz, nr. repetiție 1, durata pulsului 80 ns). Măsurătorile cu microscopul optic a imaginilor în secțiune transversală realizate oferă o arie medie de  $2608,70 \mu\text{m}^2$ , cu  $48,39 \mu\text{m}$  adâncime și  $110,75 \mu\text{m}$  lățime. Nu există material refulat pe marginile crevasei.

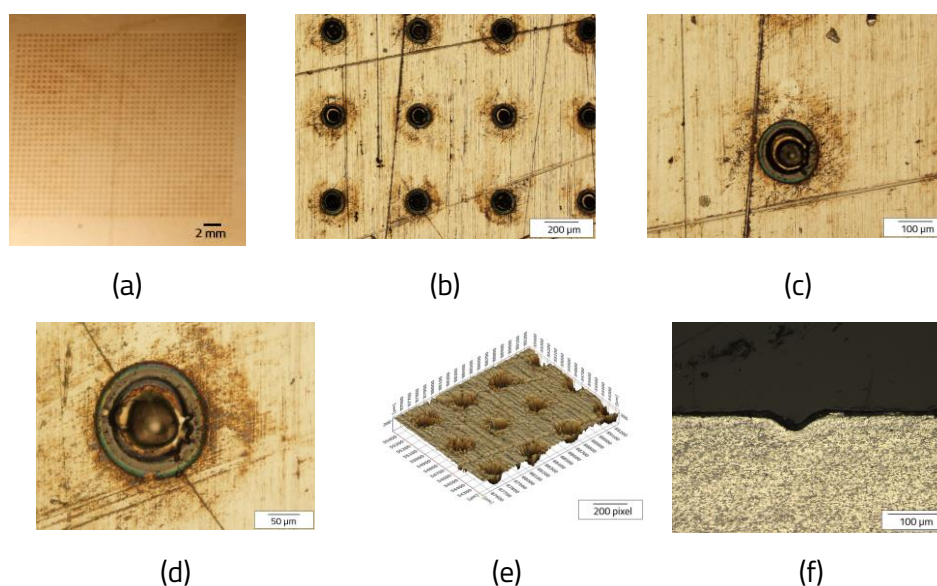


Figura 4.89. Detaliu imagine (a) și imagini microscopice (b, c, d), imagine topografică 3D (e) și vedere în secțiune transversală (f) cu design tip C, frecvență 60 kHz, viteză 600 mm/s, nr. de repetări 1.

În cazul tipului de design C se poate observa lipsa materialului refulat, materialul expulzat din crevasă datorită aplicării procedurii de texturare cu fasciculul laser. Datorită acestui fapt, înălțimea cotei materialului refulat lipsește din Figura 4.104. Odată cu creșterea vitezei se poate remarca cum valorile măsurate ale adâncimii, lățimii și ariei scad. Cel mai bun rezultat este pentru un număr de 10 repetări, dar odată cu creșterea frecvenței și vitezei, se creează o tendință de scădere printre rezultatele măsurătorilor microtexturilor.

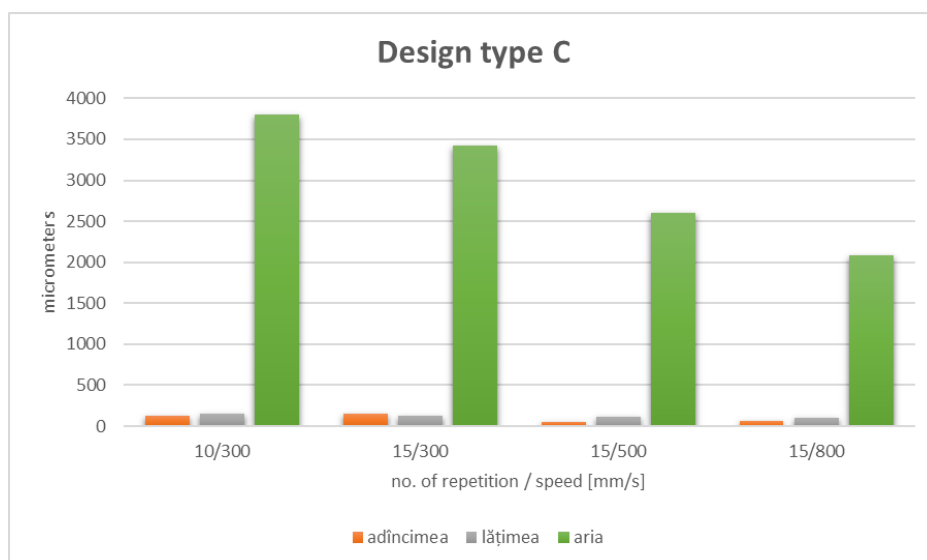


Figura 4.104. Caracterizarea geometriei crevasei și al materialului refulat după texturare, modelul de crater (tip design C).

## 4.2. Microscopie electronica de baleiaj

### 4.2.1. Micro texturare model A, formă de octogoane concentrice

Din imaginile de sus (Figura 4.105), obținute cu ajutorul echipamentului de microscopie electronică de baleiaj, se poate observa o diferență de dimensiune a zonei influențate termic și a materialului refulat (partea dreaptă este mai mare), cauzată de unghiul de înclinare al fasciculului laser ( $3^\circ$  înspre stânga). În vederea din dreapta a figurii 4.105 se remarcă șanțul continuu (contururile succesive), asemănător cordonului de sudură datorită suprapunerii de 99% a fasciculului laser.

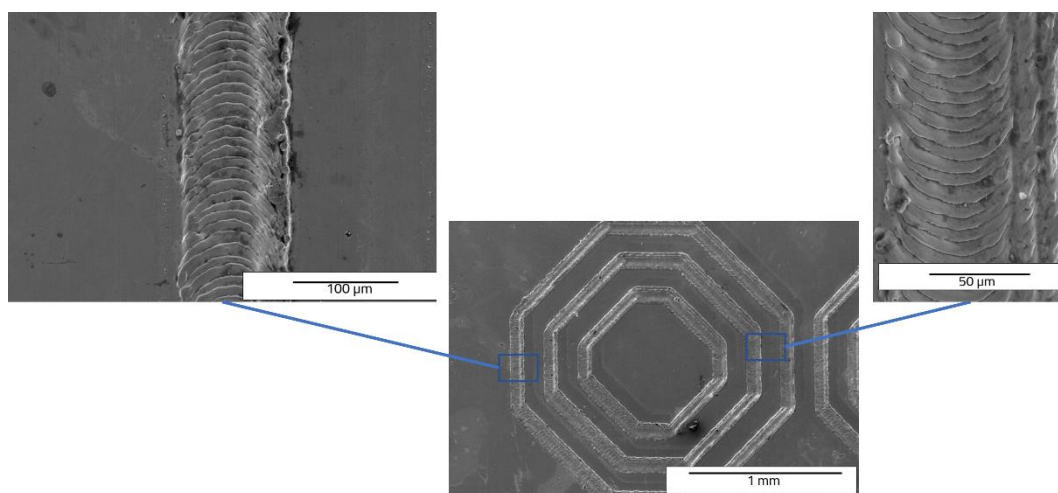


Figura 4.105. Imagini SEM, vedere de sus pentru texturarea de tip octogonal (design A), frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s și nr. de repetări 10.

O altă observație se poate face în legătură cu stropii (Figurile 4.105-4.107). Când frecvența și viteza cresc, materialul expulzat depășește marginile canelurii sub formă de stropi și nu sub formă de material refulat.

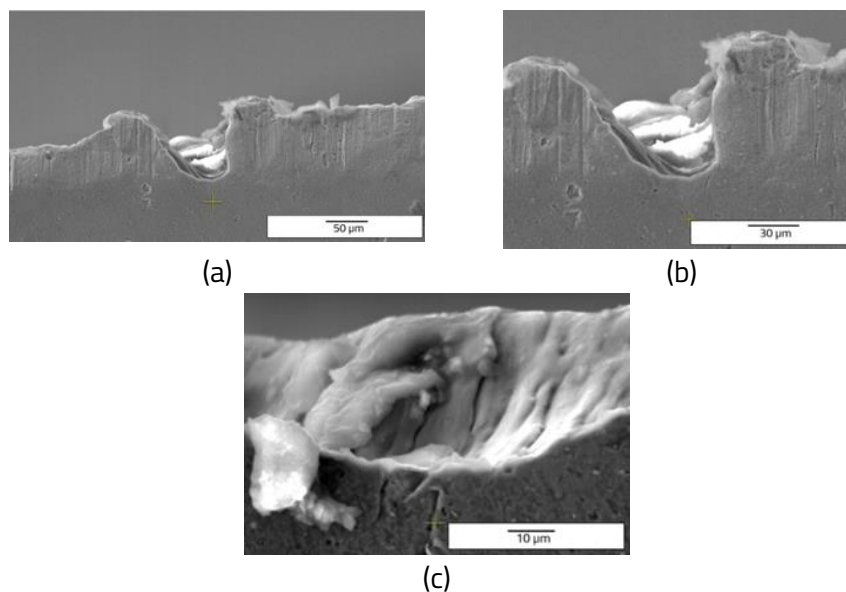


Figura 4.106. Imagini SEM în secțiune transversală pentru texturarea de tip octogonal (tip design A), frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s și nr. de repetări 10.

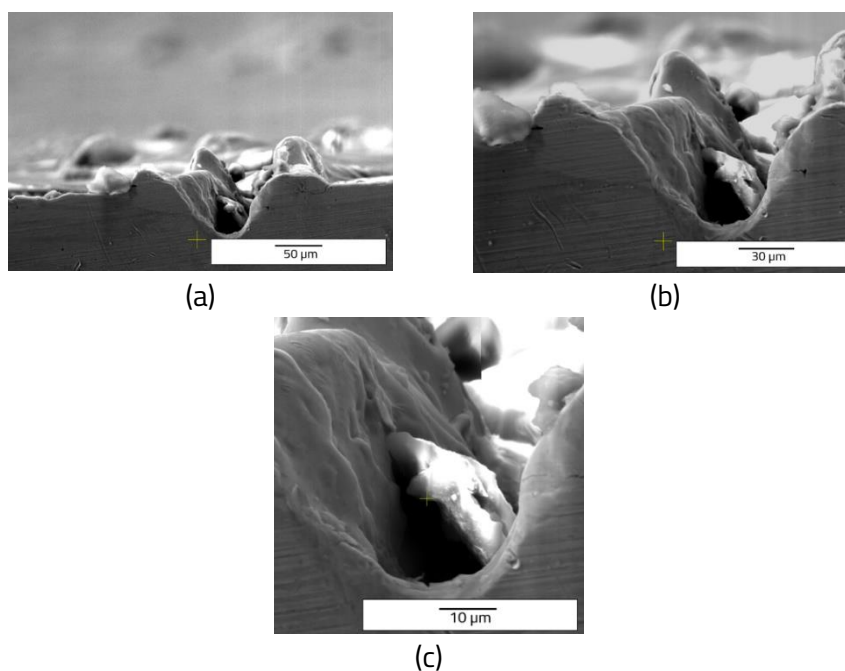


Figura 4.107. Imagini SEM în secțiune transversală pentru texturarea de tip octogonal (design A), frecvență 40 kHz, viteza 400 mm/s și nr. de repetări 10.

#### 4.2.2. Micro texturare model B, formă de elipse la 90°

În cazul modelului de texturare de forma elipsei, pot fi observate mai mulți stropi și o depunere mai mică sub formă de material refulat (Figura 4.108). Materialul refulat este mai înalt pe o parte a crevasei decât cealaltă, același motiv care stă și la bază modelului texturat prezentat anterior (unghiul de înclinare al axei fasciculului laser).

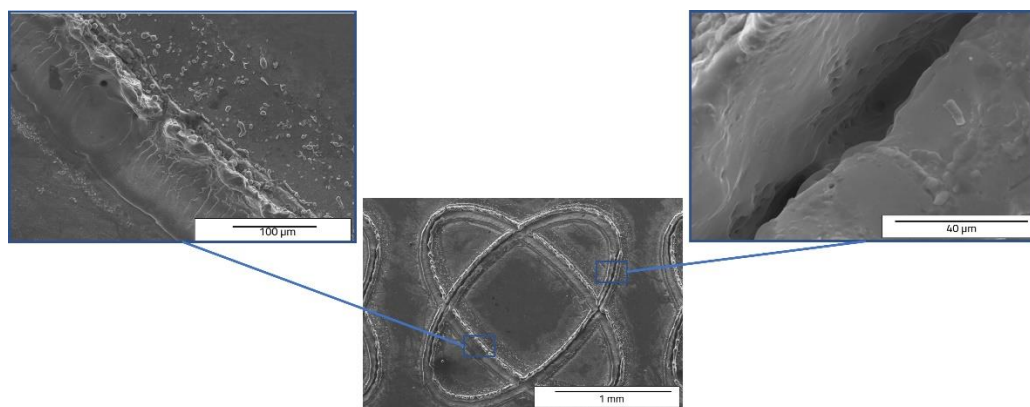


Figura 4.108. Imagini SEM , vedere de sus pentru texturarea de tip elipse la 90° (design tip B), frecvența 30 kHz, viteza 300 mm/s și nr. de repetări 10.

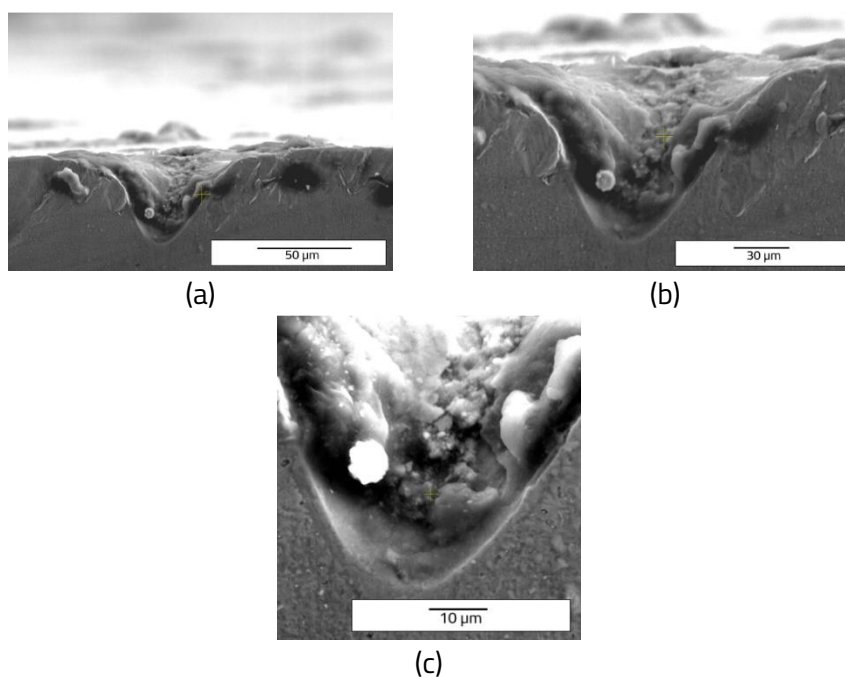


Figura 4.109. Imagini SEM în secțiune transversală pentru texturarea de tip elipse la 90° (design B), frecvența 30 kHz, viteza 300 mm/s și nr. de repetări 10.

#### 4.2.3. Micro texturare model C, formă de crater

Pentru modelul texturat de formă de crater, materialul, expulzat din crevasă sub formă de material refulat pe marginea crevasei, este foarte scăzut și, în multe cazuri, complet lipsă (Figurile 4.110-4.111).

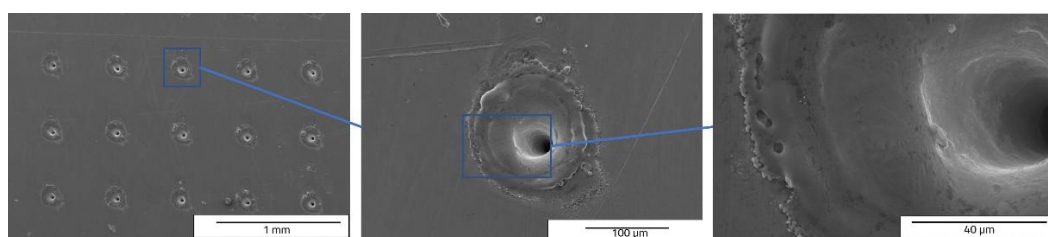


Figura 4.110. Imagini SEM , vedere de sus pentru texturarea de tip crater (design tip C), frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s și nr. de repetări 10.

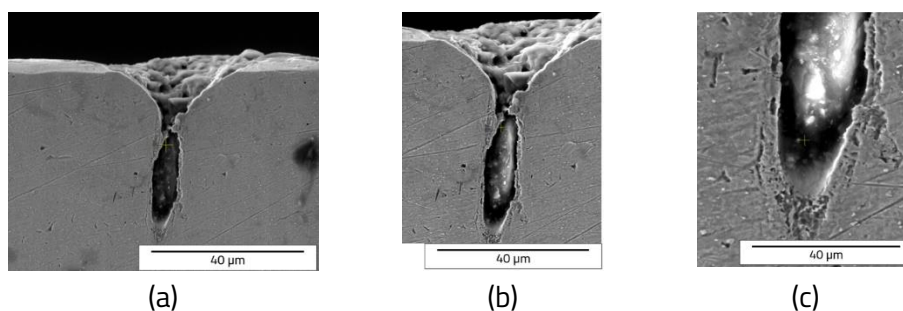


Figura 4.111. Imagini SEM în secțiune transversală pentru texturarea de crater (design B), frecvența 30 kHz, viteza 300 mm/s și nr. de repetări 10.

Se poate observa forma gropii/găurii/craterului sub formă de „keyhole” (Figurile 4.111 și 4.116), fiind diferită față de forma rezultată, caneluri în V, în cazul texturilor de tip A și tip B. Această formă de „keyhole” este specifică sudării cu laser, așa cum este descris în [27,111].

### 4.3. Analiza EDX

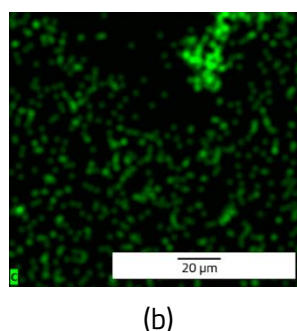
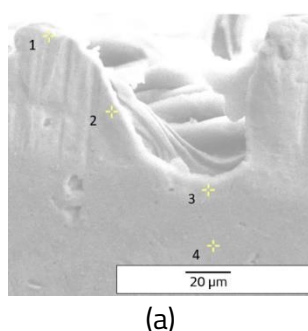
#### 4.3.1. Micro texturare model A, formă de octogoane concentrice

Analiza cantitativă a elementelor EDX (Energy Dispersive X-Ray) arată o variație redusă (de la materialul refulat la cel mai adânc punct al crevasei și la zona influențată termic) a elementelor în ceea ce privește greutatea și procentul atomic. Analiza cantitativă a elementelor arată un procent de masă zero pentru oxigen, care nu se aplică pentru modelele de texturare elipsă și crater.

Tabel 4.1. Analiza cantitativă a elementelor EDX a formei de texturare octogonală (design tip A).

| Element \ Punct | Fier   |          | Crom   |          | Carbon |          |
|-----------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|
|                 | masă % | atomic % | masă % | atomic % | masă % | atomic % |
| 1               | 70.58  | 42.78    | 11.85  | 7.72     | 17.57  | 49.5     |
| 2               | 72.24  | 47.16    | 13.47  | 9.44     | 14.29  | 43.39    |
| 3               | 65.55  | 35.72    | 11.82  | 6.92     | 22.64  | 57.36    |
| 4               | 70.54  | 44.69    | 13.90  | 9.46     | 15.56  | 45.85    |

Analiza cantitativă a elementelor a microstructurării octogonale și imaginile în secțiune transversală (Figura 4.112), arată o răspândire uniformă, în afara zonei cavității, cu excepția carbonului prezent și în zona pereților cavității. Figura 4.113 prezintă principalele elemente din spectrul EDX (Cr, Fe, C).



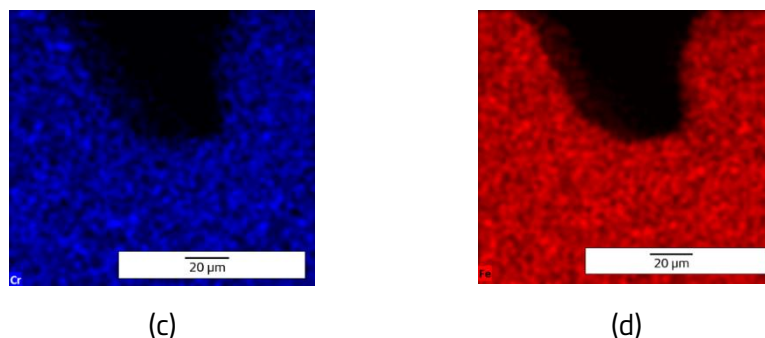


Figura 4.112. Analiza cantitativă a elementelor EDX a forme texturate octogonale (design tip A) imaginea cu detaliu privind punctele de măsurare (a) și imaginile de cartografiere cantitativă a elementelor (b-C, c-Cr, d-Fe).

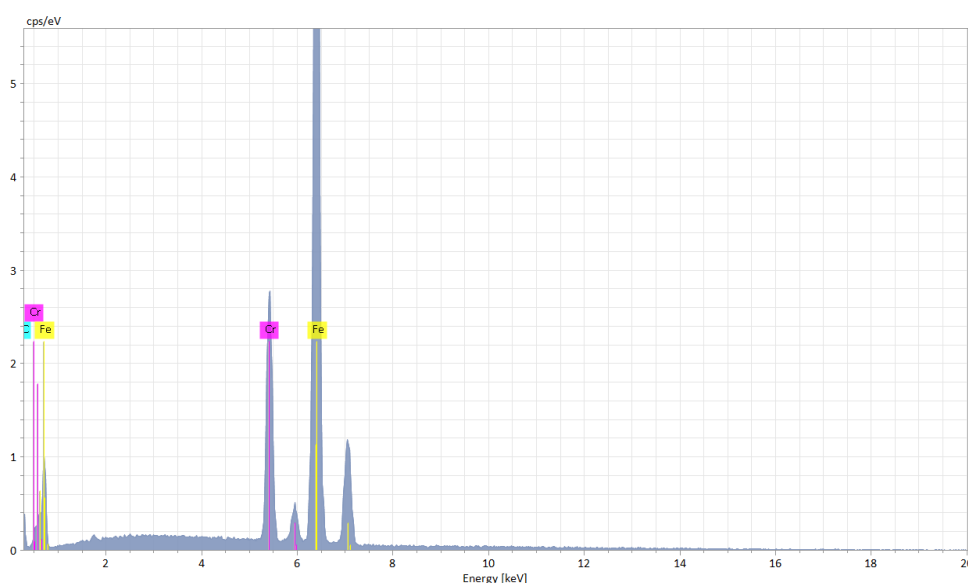


Figura 4.113. Spectrul EDX pentru texturarea de formă de octogoane (design tip A).

#### 4.3.2. Micro texturare model B, formă de elipse la 90°

Pentru modelul de texturare elipsă, o diferență este elementul oxigen, care apare în analiză la punctele de măsurare 2 și 3, adică absența elementului oxigen în materialul refulat și zona influențată termic (Tabelul 4.2). Când oxigenul face parte din punctul de măsurare se poate observa o scădere a cantității fierului și a cromului, și creșterea carbonului.

Tabel 4.2. Analiza cantitativă a elementelor EDX a forme de elipse la 90° (design tip B).

| Element<br>Punct | Fier      |             | Crom      |             | Carbon    |             | Oxigen    |             |
|------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
|                  | masă<br>% | atomic<br>% | masă<br>% | atomic<br>% | masă<br>% | atomic<br>% | masă<br>% | atomic<br>% |
| 1                | 75.22     | 54.18       | 14.43     | 11.16       | 10.35     | 34.66       | -         | -           |
| 2                | 57.79     | 28.61       | 12.12     | 6.45        | 22.56     | 51.93       | 7.53      | 13.01       |
| 3                | 58.98     | 29.16       | 10.70     | 5.68        | 22.41     | 51.51       | 7.91      | 13.65       |
| 4                | 76.52     | 57.35       | 14.62     | 11.76       | 8.86      | 30.88       | -         | -           |

Carbonul este răspândit unde este cavitatea (vezi imaginile în secțiune transversală ale analizei EDX din Figura 4.114), iar răspândirea celorlalte elemente (Cr, Fr și O) este uniform distribuită pe întreaga secțiune.

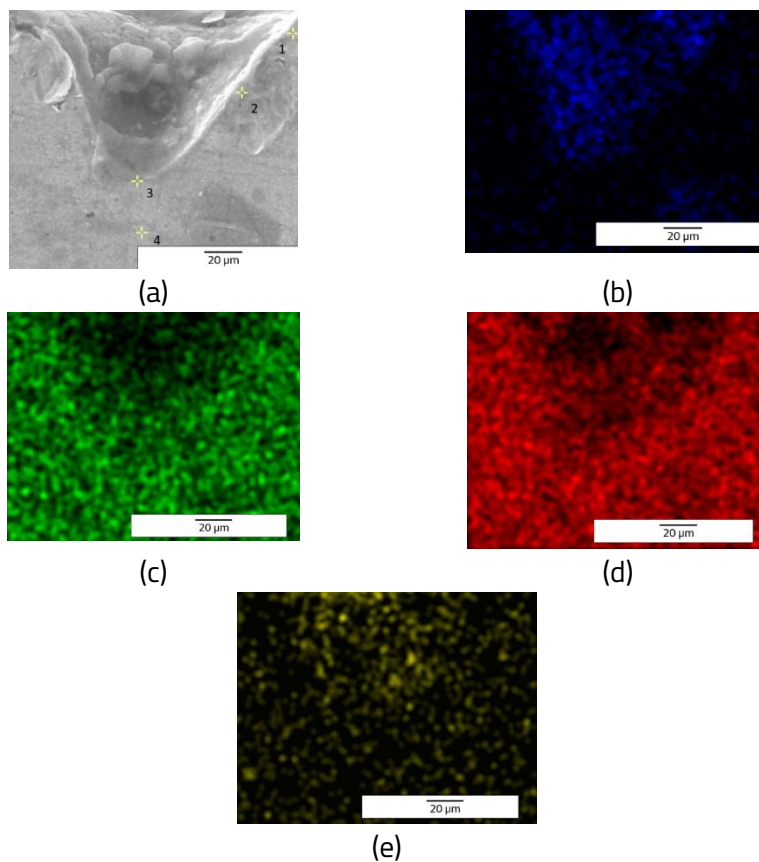


Figura 4.114. Analiza cantitativă a elementelor EDX a formei de tip elipse la 90° (design tip B) imaginea cu detaliu privind punctele de măsurare (a) și imaginile de cartografiere cantitativă a elementelor (b-C, c-Cr, d-Fe).

Figura 4.115 prezintă principalele elemente din spectrul EDX (Cr, O, Fe, C).

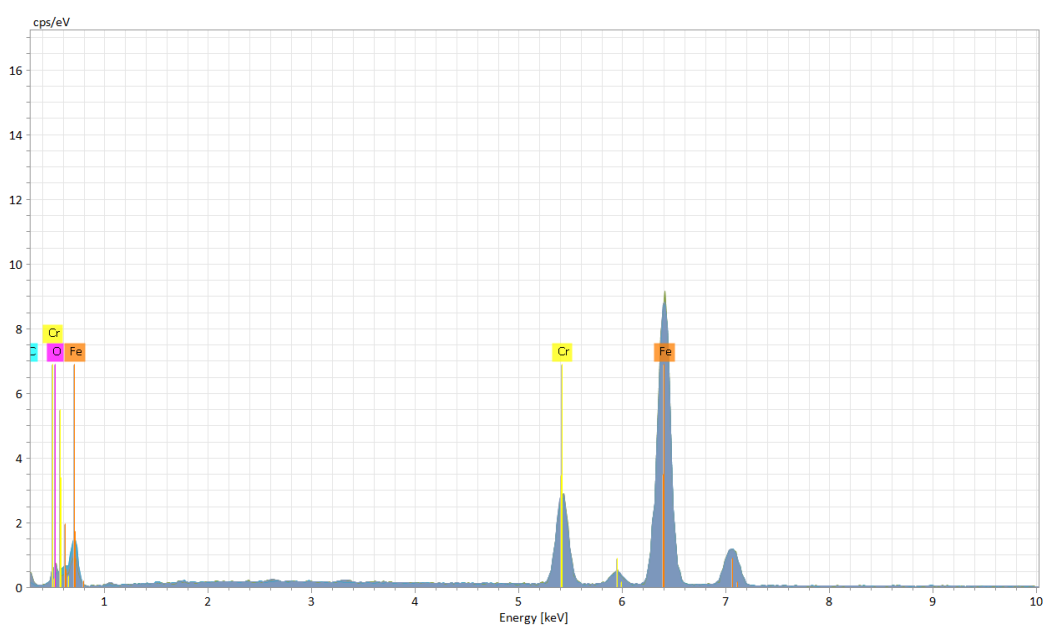


Figura 4.115. Spectrul EDX pentru texturarea de formă elipse la 90° (design tip B).

#### 4.3.3. Micro texturare model C, formă de crater

Modelul texturat de forma craterului necesită mai multe puncte de măsurare EDX datorită golului mai mare rezultat în urma texturării suprafeței cu fasciculul laser (Tabelul 4.3). Același rezultat, prezentat pentru forma de elipsă, reiese pentru elementul de carbon (doar în zona cavității). Cel mai mare procent de masă de carbon se află în partea de jos a craterului (Figura 4.116), iar cel mai mic procent de masă este în zona influențată termic. Oxigenul este mai puțin răspândit față în modelele anterioare (octogone și elipse).

Tabel 4.3. Analiza cantitativă a elementelor EDX a formei de texturare crater (design tip C).

| Punct | Element |  | Fier  |        | Crom  |        | Carbon |        | Oxigen |        |
|-------|---------|--|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
|       |         |  | masă  | atomic | masă  | atomic | masă   | atomic | masă   | atomic |
|       |         |  | %     | %      | %     | %      | %      | %      | %      | %      |
| 1     |         |  | 76.42 | 56.67  | 14.33 | 11.41  | 9.26   | 31.92  | -      | -      |
| 2     |         |  | 78.41 | 62.50  | 14.92 | 12.77  | 6.67   | 24.73  | -      | -      |
| 3     |         |  | 72.10 | 47.98  | 13.61 | 9.73   | 11.79  | 36.47  | 2.50   | 5.82   |
| 4     |         |  | 59.96 | 30.50  | 11.32 | 6.19   | 20.91  | 49.45  | 7.81   | 13.87  |
| 5     |         |  | 77.56 | 60.92  | 15.27 | 12.88  | 7.17   | 26.20  | -      | -      |

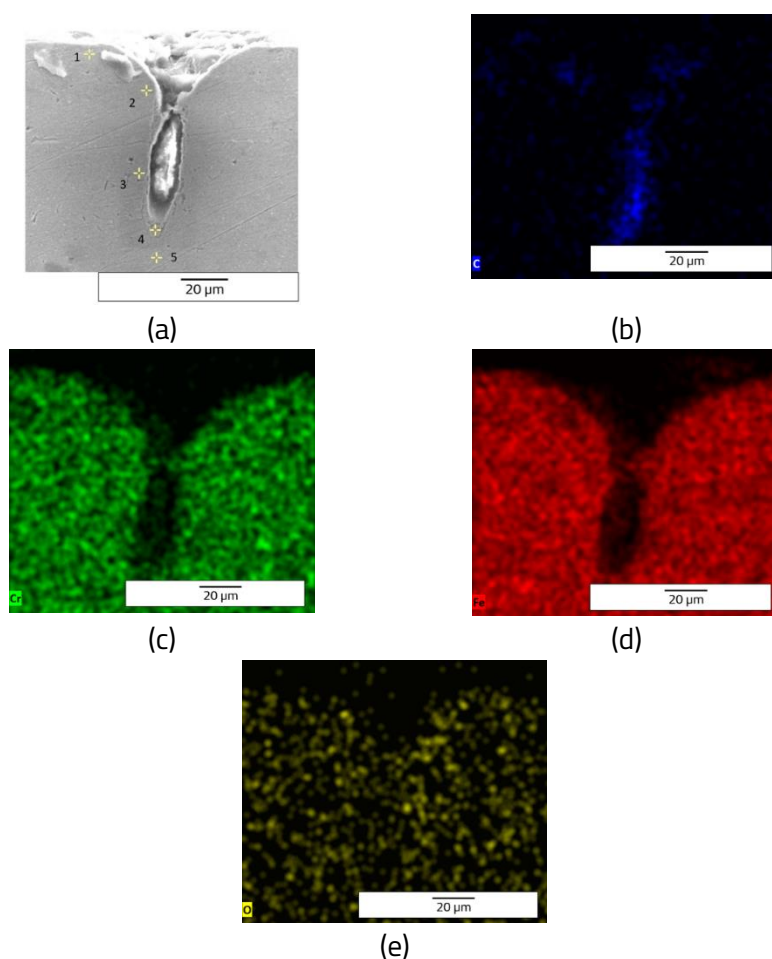


Figura 4.116. Analiza cantitativă a elementelor EDX a formei texturate tip crater (design tip C) imaginea cu detaliu privind punctele de măsurare (a) și imaginile de cartografiere cantitativă a elementelor (b-C, c-Cr, d-Fe).

Figura 4.117. prezintă principalele elemente din spectrul EDX (Cr, O, Fe, C).

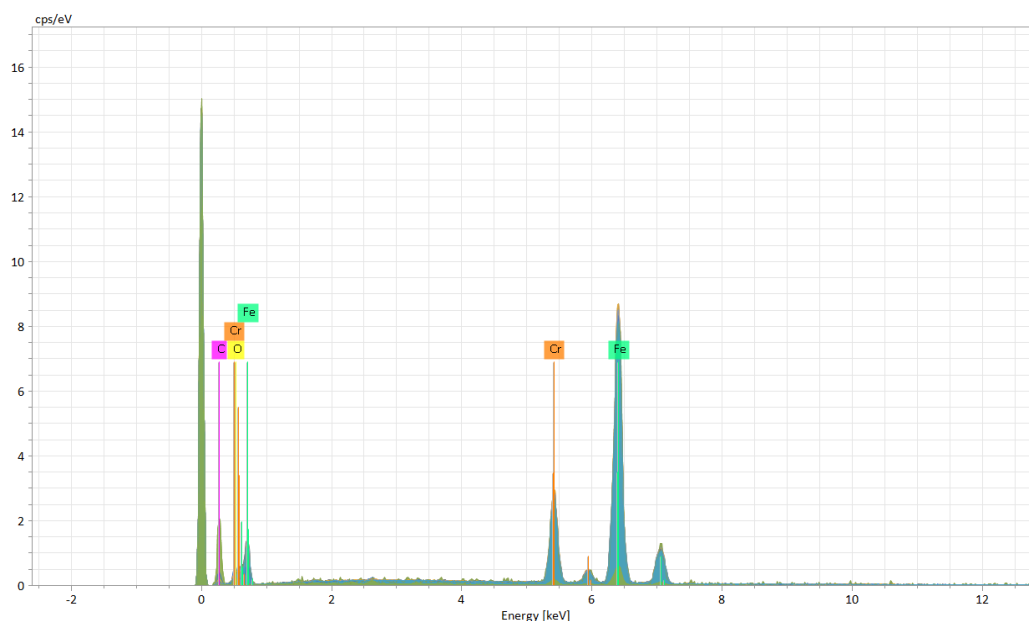


Figura 4.117. Spectrul EDX pentru texturarea de formă de crater (design tip C).

#### 4.4. Concluzii

Chiar dacă aceeași frecvență, viteză și număr de repetări au fost utilizate pentru modelele A, B și C, geometria microstructurii aplicate prin texturare cu fasciculul laser are un rol important. Din imaginile optice în secțiune transversală și histogramele de profil, se poate observa că deplasarea materialului este mai puțin evidentă pentru modelul de tip B, în comparație cu modelele de tip A și C. Aceeași observație se poate face și în cazul modelului de tip C în comparație cu modele tip B și A (după 10 repetări a texturării suprafeței cu fasciculul laser) privind materialul expulzat.

Imaginile SEM (vederea de sus și din secțiunea transversală) oferă informații despre fenomenele care apar în timpul texturării suprafeței cu fasciculul laser. Modelul crater (tipul de design C) și modelul cu octogoane (tipul de design A) prezintă o zonă redusă afectată de stropi în comparație cu modelul cu elipse la 90° (tipul de design B). Același fenomen are loc și în cazul materialului refulat și redepus pe marginea crevasei, care apare în cazul modelelor texturate de formă octogonală și elipsă, din cauza suprapunerii de 99% a fasciculului laser. În cazul modelului de texturare sub formă de cratere, unde nu există suprapunere, materialul refulat este aproape inexistent.

În două din cele trei modele aplicate ca texturare se evidențiază prezența elementului oxigen, care este considerat benefic pentru oțelul inoxidabil feritic în crearea stratului pasiv (un strat de oxid, format din crom și oxigen având o reacție inertă față de mediu înconjurător).

În zona materialului refulat, analiza EDX indică o valoare aproape dublă pentru elementul carbon (masă %) pentru forma octogonală. Rezultatele, pentru formele elipsă și de crater, sunt adecvate (fier, crom și elemente de carbon). În partea de jos a crevasei, modelul care oferă rezultate diferite pentru analiza cantitativă a elementelor este designul tip octogonal. În zona influențată, valorile măsurate prin analiza cantitativă a elementelor sunt adecvate și aplicate tuturor modelelor de texturare cu

fasciculul laser. Imaginile cu secțiunea transversală din analiza EDX oferă răspunsul că nimic nu se schimbă, în ceea ce privește zona micro texturată.

Analiza morfologică oferă informații valoroase despre microrelieful suprafețelor texturate cu fasciculul laser și indicii pentru interblocarea mecanică în cazul îmbinărilor hibride. Dintre cele trei modele analizate, cel mai bun nivel de material refulat reiese în urma aplicării modelului de formă A, fiind mai recomandată aplicarea acestuia pentru pregătirea suprafeței metalice înainte de îmbinarea hibridă.

Cel mai bun rezultat privind îmbinarea hibridă rezultă după texturarea suprafeței cu modelul de tip A, frecvența 300 kHz, viteza 300 mm/s și nr. de repetări 15. Parametrii rezultați în urma măsurărilor sunt: adâncimea de 19,53  $\mu\text{m}$ , 499,06  $\mu\text{m}^2$  pentru arie, lățimea la suprafață 40,29  $\mu\text{m}$ , lățimea mijlocie 30,11  $\mu\text{m}$  și lățimea mică 12,10  $\mu\text{m}$ . Materialul refulat din partea stângă are o arie de 75,57  $\mu\text{m}^2$  cu o înălțime de 5,526  $\mu\text{m}$ . refularea din dreapta are o arie de 187,73  $\mu\text{m}^2$  și o înălțime de 9,12  $\mu\text{m}$ . Golul este aproape simetric, cu o adâncime bună și fără ca materialul expulzat să se redepună în interiorul crevasei create, oferind astfel o opțiune bună pentru interblocarea mecanică. Materialul expulzat ca material turnat se poate comporta ca si factor de rezistență la îmbinarea materialelor hibride.

Pentru aplicațiile tribologice, cel mai bun rezultat este pentru modelul de tip C. Măsurătorile, analizate și măsurate cu ajutorul imaginilor microscopice a secțiunii transversale, sunt: 157,37  $\mu\text{m}$  pentru adâncime, 124,95  $\mu\text{m}$  pentru lățimea la suprafață, 22,83  $\mu\text{m}$  pentru lățimea mică și 3428.54  $\mu\text{m}^2$  pentru aria golului. Parametrul cu un rezultat considerabil este pentru frecvența de 30 kHz, viteza de 300 mm/s și nr. de repetări 15, oferind posibilități largi de utilizare în aplicații tribologice, din lipsa materialului refulat. În cazul modelului de texturare B, se recomandă mai multe cercetări viitoare.

## 5. Analiza rugozității texturării cu laser a suprafeței oțelului inoxidabil AISI 430

Toți parametrii mășurați sunt din profilul rugozității (profilul R, conform EN ISO 4287 și EN ISO 16610-21).

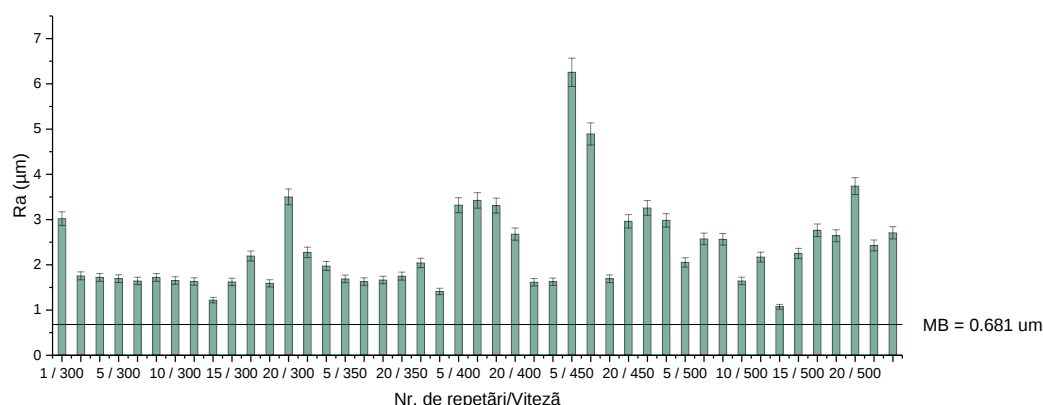
### 5.1. Rezultate și discuții

Rugozitatea probei fără microtexturarea suprafeței cu laser (LST) a fost obținută în condițiile prezentate în capitolul 3.7, menținută constantă în timpul măsurărilor:

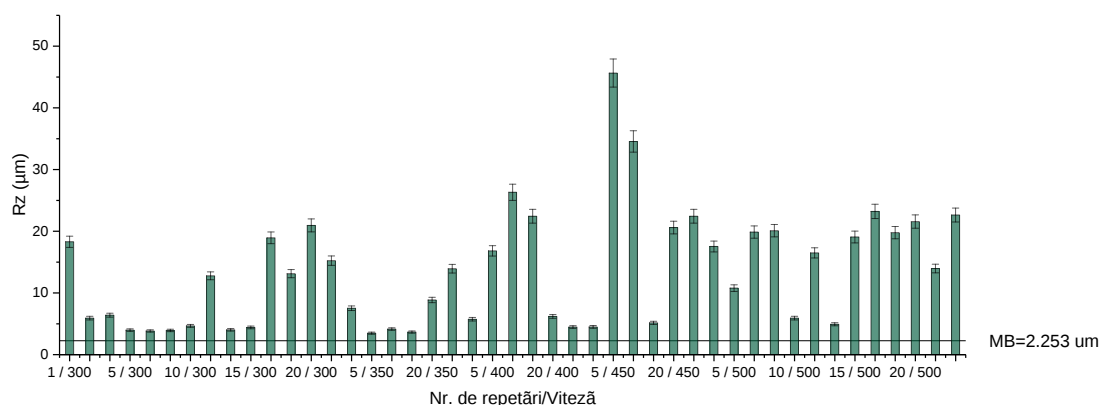
- $R_a = 0,681 \mu\text{m}$ ,
- $R_z = 2,253 \mu\text{m}$ ,
- $R_t = 8,828 \mu\text{m}$ .

#### 5.1.1. Design tip A, formă de octogoane concentrice

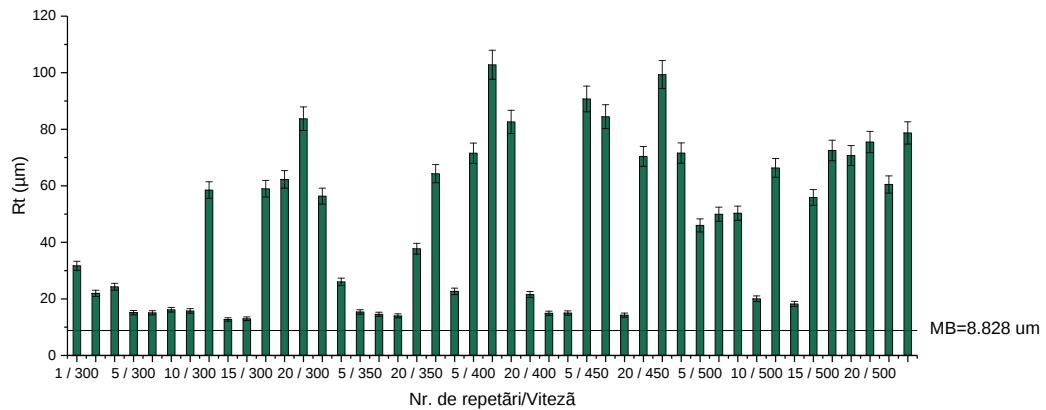
În general, rezultatele arată o creștere a rugozității suprafeței în comparație cu rugozitatea suprafeței materialului de bază, netexturat (Figura 5.1).



(a)



(b)



(c)

Figura 5.1. Reprezentare grafică a rugozității suprafeței pentru modelul tip A,  $R_a$  — abaterea medie aritmetică a profilului (a),  $R_z$  — înălțimea totală, de la cel mai înalt vârf până la cel mai adânc punct (b) și  $R_t$  — adâncimea maximă pentru 10 neregularități (c).

Figura 5.2 prezintă variația parametrilor de rugozitate cu numărul de repetări pentru modelul A, păstrând constantă viteza de 300 mm/s și frecvența de 30 kHz.

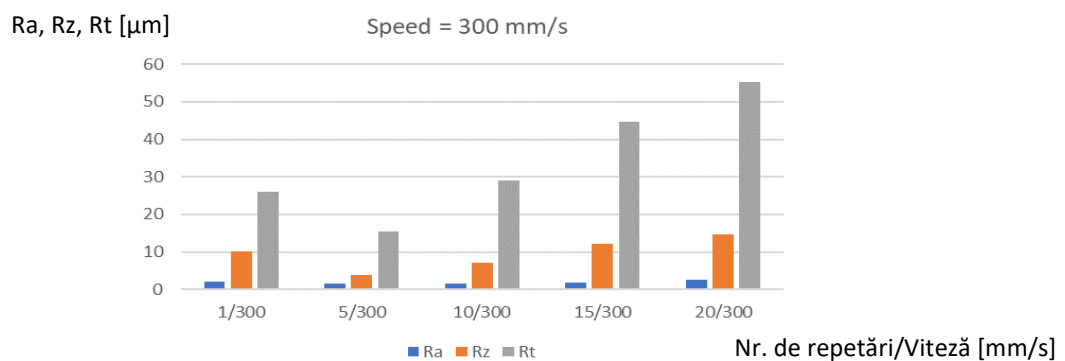


Figura 5.2. Rugozitatea suprafeței pentru tipul de model A, viteză 300 mm/s, frecvență 30 kHz.

Toți parametrii de rugozitate cresc odată cu creșterea numărului de repetări. Figura 5.3 prezintă variația parametrilor de rugozitate în funcție de viteză, modelul A, păstrând constant numărul de repetări. Parametrii de rugozitate scad odată cu creșterea vitezei.

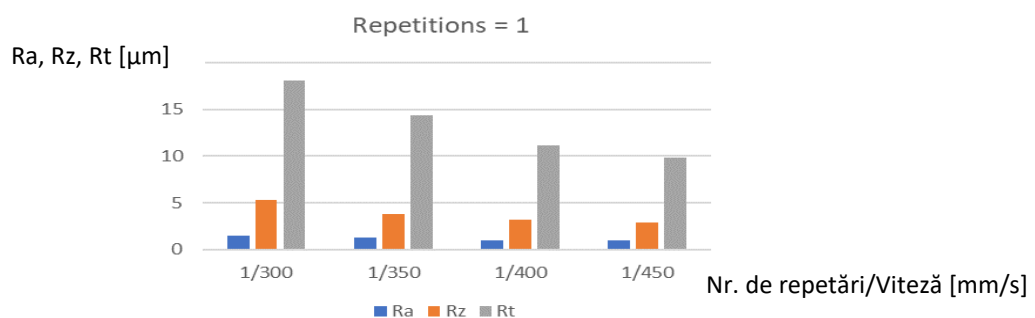
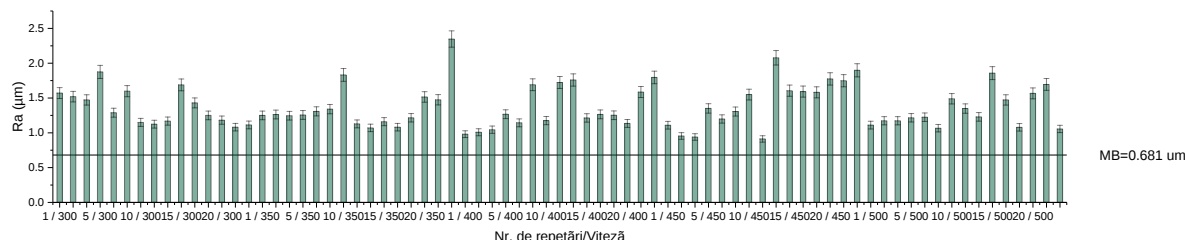


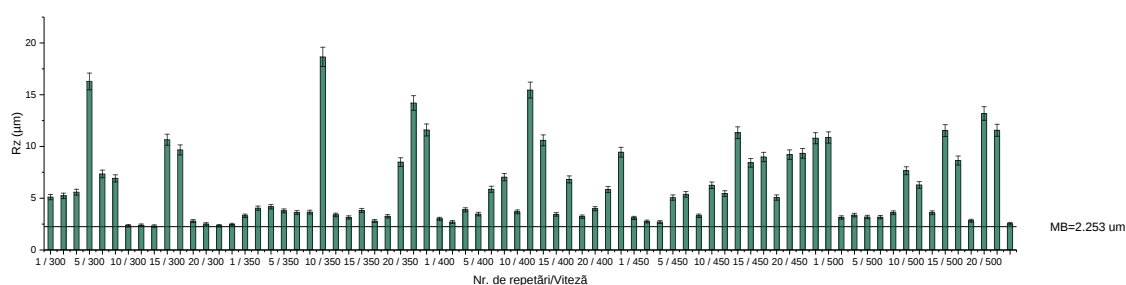
Figura 5.3. Rugozitatea suprafeței pentru tipul de design A, o repetare.

### 5.1.2. Design tip B, formă de elipsă la 90°

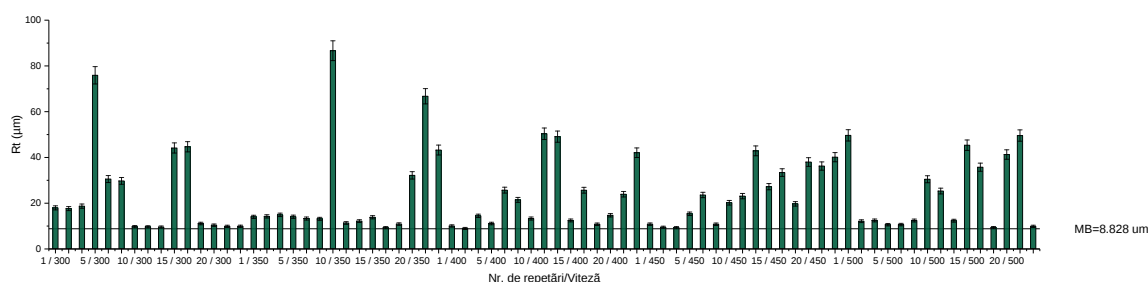
În general, rezultatele obținute pentru rugozitatea suprafeței modelului tip elipsă (Figura 5.4) sunt mai mici față de rezultatele modelului octogonal, cu o tendință neuniformă. Valorile pentru măsurătorile rugozității odată cresc, odată scad, funcție de modificarea parametrilor variabili.



(a)



(b)

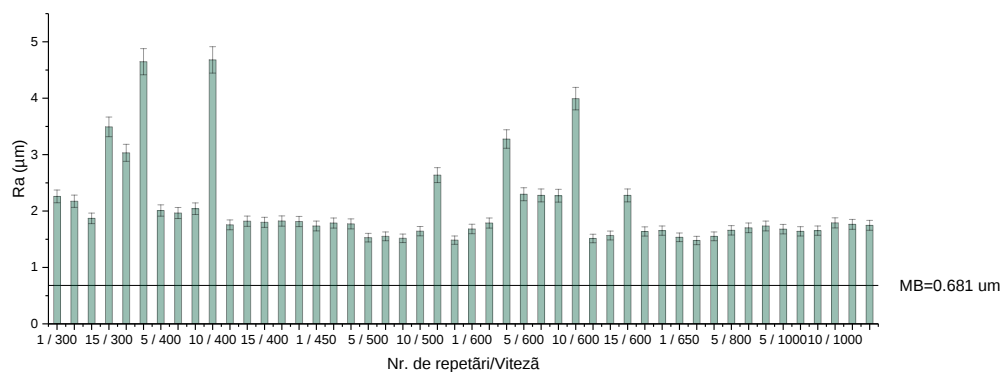


(c)

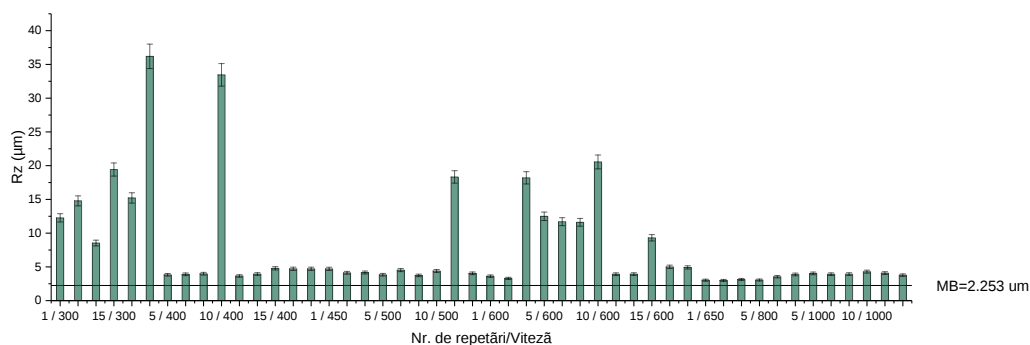
Figura 5.4. Reprezentare grafică a rugozității suprafeței pentru modelul tip B,  $R_a$  — abaterea medie aritmetică a profilului (a),  $R_z$  — înălțimea totală, de la cel mai înalt vârf până la cel mai adânc punct (b) și  $R_t$  — adâncimea maximă pentru 10 neregularități (c).

### 5.1.3. Design tip C, formă de crater

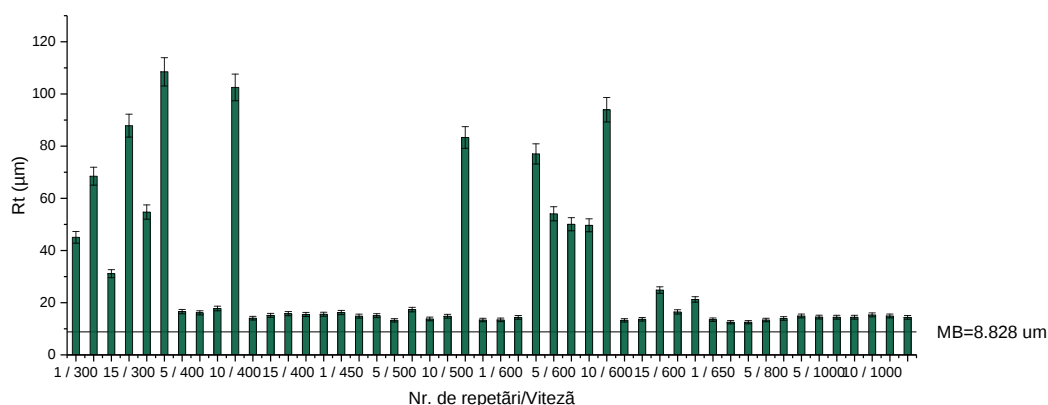
Reprezentarea grafică tuturor rezultatelor (Figura 5.5), pentru tipul de model C, arată o tendință relativ constantă a rugozității. În afara acestei tendințe se găsește rugozitatea obținută pentru probe cu 15 repetări cu viteza de 300 mm/s și 30 kHz, 10 repetări pentru viteza de 400 mm/s și 40 kHz, respectiv 10 repetări în cazul vitezei de 600 mm/s și 60 kHz.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.5. Reprezentare grafică a rugozității suprafeței pentru modelul tip C,  $R_a$  — abaterea medie aritmetică a profilului (a),  $R_z$  — înălțimea totală, de la cel mai înalt vârf până la cel mai adânc punct (b) și  $R_t$  — adâncimea maximă pentru 10 neregularități (c).

## 5.2. Concluzii

Înălțimea totală a profilului ( $R_t$ ), între cea mai mică adâncime și cel mai înalt vârf, poate indica diferența dintre o probă care are materialul expulzat redeșus pe marginea craterului și o probă în care acesta lipsește. În reprezentarea grafică, care conține rezultatele rugozității suprafeței pentru modelul de tip A, se poate observa că atunci când numărul de repetări este mic, înălțimea materialului

expulzat ca material redepus pe marginea crevasei este scăzută. Pe măsură ce numărul de repetări ale trecerii fascicului laser crește, înălțimea materialului redepus la marginea craterului crește. Diferența dintre înălțimea medie și înălțimea totală a profilului este adâncimea crevasei și poate fi ușor percepută din reprezentarea grafică cu rezultatele măsurărilor (Figura 5.1), care se aplică modelului de tip A.

Rugozitatea suprafeței are o influență importantă asupra funcționalizării, rezistenței, durabilității și costului de producție. S-a observat că rugozitatea suprafeței texturate este direct proporțională cu densitatea spotului (numărul de repetări), în timp ce rugozitatea este invers proporțională cu viteza de texturare. Deoarece densitatea spotului, pe direcția vitezei, scade odată cu creșterea vitezei de parcurgere, se poate concluziona că rugozitatea crește în valoare odată cu creșterea nr. spot/cm<sup>2</sup>.

Modelul de microtexturare aplicat are o influență asupra rugozității suprafeței. Pentru o viteză de 300 mm/s și o frecvență de 30 kHz pentru o singură trecere, tipul texturare A furnizează o valoare medie a rugozității suprafeței măsurate ( $R_a = 2,165 \mu\text{m}$ ), fiind de 1,4 ori mai mare decât valoarea medie a tipului texturare B ( $R_a = 1,521 \mu\text{m}$ ) și de 1,03 ori mai mare decât valoarea medie a modelului de tip C ( $R_a = 2,101 \mu\text{m}$ ). Figurile 5.1–5.3 arată că înălțimea totală a profilelor de rugozitate ( $R_t$ ) ajung la 28,963  $\mu\text{m}$  pentru modelul A (10 repetări/viteză 350 mm/s) (Figura 5.1.c.), 9,633  $\mu\text{m}$  pentru modelul B (10 repetări/viteză 350 mm/s) (Figura 5.2.c.) și 83,681  $\mu\text{m}$  pentru modelul C (15 repetări/viteză 300 mm/s) (Figura 5.3.c.). Măsurătorile pentru ( $R_a$ ), media aritmetică a valorilor absolute, pe întreaga suprafață ajung la 1,733  $\mu\text{m}$  pentru modelul A (20 repetări/viteză 350 mm/s) (Figura 5.1.a.), 1,779  $\mu\text{m}$  pentru modelul B (20 repetări) /viteză 350 mm/s (Figura 5.2.a.) și 3,724  $\mu\text{m}$  pentru modelul C (15 repetări/viteză 350 mm/s) (Figura 5.3.a.). Adâncimea medie a rugozității ( $R_z$ ) ajunge la 9,501  $\mu\text{m}$  pentru modelul A (20 repetări/viteză 350 mm/s) (Figura 5.1.b.), 8,393  $\mu\text{m}$  model B (10 repetări/viteza 350 mm/s) (Figura 5.2.b) ), și 23,610  $\mu\text{m}$  pentru modelul C (15 repetări/viteză 350 mm/s) (Figura 5.3.b.).

Rezultatele privind rugozitatea suprafeței obținute pentru modelul octogonal, tipul de design A, cresc odată cu creșterea numărului de repetări și scad odată cu viteza de micro texturare. Rezultatele pentru rugozitatea suprafeței modelului elipsă, tipul de design B, prezintă o tendință neuniformă. Valorile pentru măsurătorile de rugozitate sunt în creștere și în scădere, atunci când se modifică parametrii (frecvența, viteza, numărul de repetări). Pentru modelul crater, tipul de design C, tendință este de menținere în ceea ce privesc rezultatele rugozității suprafeței. Toate cele trei tipuri de forme geometrice aplicate ca modele pentru microtexturarea suprafeței cu fascicul laser arată o creștere a rugozității față de suprafața netexturată.

Funcționalizarea suprafeței prin modificarea fină a rugozității suprafeței oțelului inoxidabil își găsește aplicabilitatea în industrie. Designul microtexturat de tip A poate fi aplicat cu ușurință în domeniul îmbinărilor de tip hibrid, datorită obținerii unei suprafețe neuniforme și a unei suprafețe de contact crescute din punct de vedere al microtexturilor obținute. În aplicațiile tribologice, materialul expulzat și redepus la marginea crevasei poate fi un impediment, dar pentru îmbinarea de tip hibridă materialele necesită această creștere a suprafeței pentru zona de contact. Modelul de tip C este potrivit, în principal, pentru aplicații tribologice din cauza lipsei de redeponerii material expulzat din crevasă.

## 6. Analiza umectabilității texturării cu laser a suprafeței oțelului inoxidabil AISI430

Metoda de testare aplicată pentru măsurarea unghiului de contact este cunoscută drept măsurarea unghiului de contact „static” sau „picătură imobilă”, deoarece pe multe suprafețe picătura rămâne statică (picătura își schimbă adesea dimensiunile în timp, datorită fenomenelor de umezire) și în echilibru cu suprafața materialului și aerul, conform ISO/TS 14778:2021. Unghiul de contact static se măsoară de la linia de bază (suprafața materialului) până la tangenta pe conturul picăturii prin unul dintre punctele trifazate la timpul de contact specificat (sau rezultat dintr-o medie a măsurărilor, pentru fiecare interval de timp). SCA (Static Contact Angle-unghiul de contact static) mai mic de  $20^\circ$  indică o suprafață super hidrofilă, pentru SCA mai mic de  $90^\circ$  suprafața este considerată hidrofilă, pentru SCA mai mare de  $90^\circ$ , dar mai mic de  $150^\circ$  suprafața este hidrofobă și peste  $150^\circ$  este considerată super hidrofobă.

### 6.1. Rezultate și discuții

Materialul de bază (oțel inoxidabil de tip feritic AISI 430), livrat în condiții de suprafață reflectivă, are unghiul static mediu contact de  $42,81^\circ$ , fiind măsurat conform procedurii prezentate în capitolul 3.7.



Figura 6.1. Media măsurărilor unghiului de contact static, pentru oțelul inoxidabil de tip feritic fără suprafață texturată cu laser

#### 6.1.1. Model A, formă de octogoane concentrice

Figurile 6.2 ...6.5 prezintă rezultatele măsurărilor unghiului de contact static pentru modelul de design tip A după aplicarea texturării cu laser a suprafeței materialului AISI 430, pentru diferiți parametri de procesare. Se remarcă creșterea unghiului de contact static, cele mai multe fiind peste  $90^\circ$ , evidențiind astfel obținerea unei suprafețe hidrofobe după aplicarea procedeului de texturare cu laser.

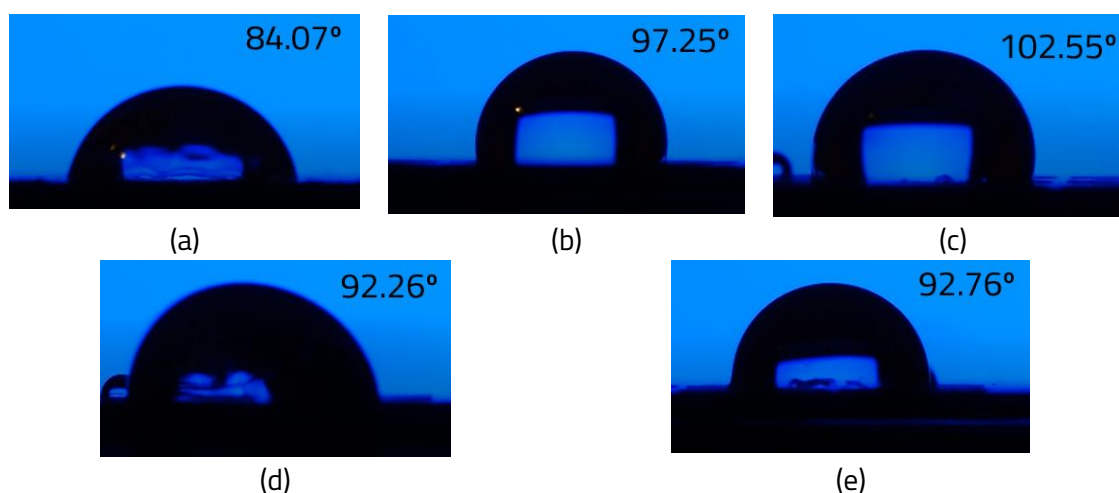


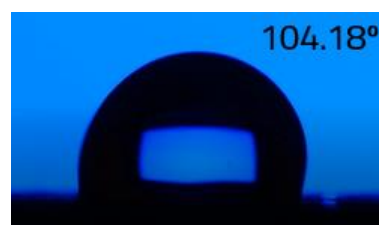
Figura 6.2. Imagini cu rezultatele obținute pentru unghiului de contact static, frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s, nr. de repetări 1(a), 5(b), 10(c), 15(d) și 20(e).



Figure 6.3. Imaginea unghiului de contact static, frecvență 35 kHz, viteză 350 mm/s, nr. de repetări 20.



(a)



(b)

Figura 6.4. Imagini cu rezultatele obținute pentru unghiului de contact static, frecvență 40 kHz, viteză 400 mm/s, nr. de repetări 10 (a) și 20 (b).



(a)



(b)

Figura 6.5. Imagini cu rezultatele obținute pentru unghiului de contact static, frecvență 45 kHz, viteză 450 mm/s, nr. de repetări 5 (a) și 20 (b).

Rezumând rezultatele măsurărilor unghiului de contact static după aplicarea procedurii de texturare a suprafeței cu fascicul laser pentru modelul tip A, se poate realiza reprezentarea grafică din Figura 6.6.

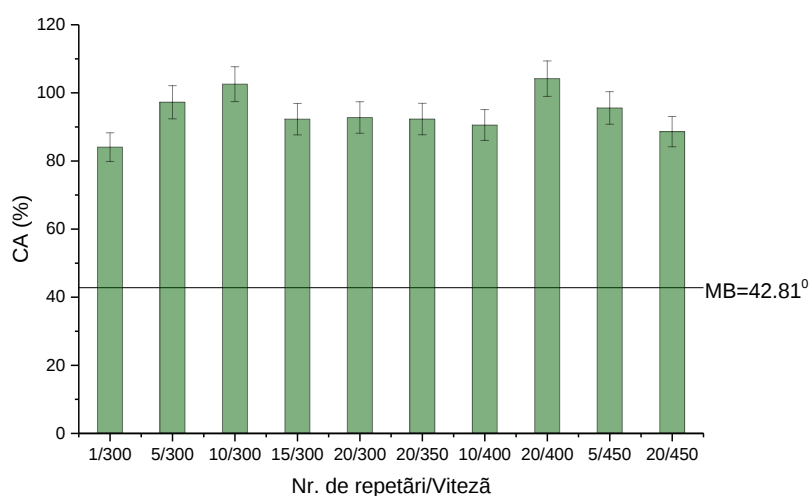


Figura 6.6. Media măsurărilor unghiului de contact static pentru modelul octogonal, tipul de design A.

### 6.1.2. Model B, formă de elipse la $90^\circ$

Figurile 6.7 ...6.11 prezintă rezultatele măsurătorilor unghiului de contact static pentru modelul de tip B, după aplicarea texturării cu laser pe suprafața materialului AISI 430, utilizând diferiți parametri de procesare. Există o tendință de creștere în ceea ce privește unghiul de contact static față de suprafața materialului de bază, netexturată.

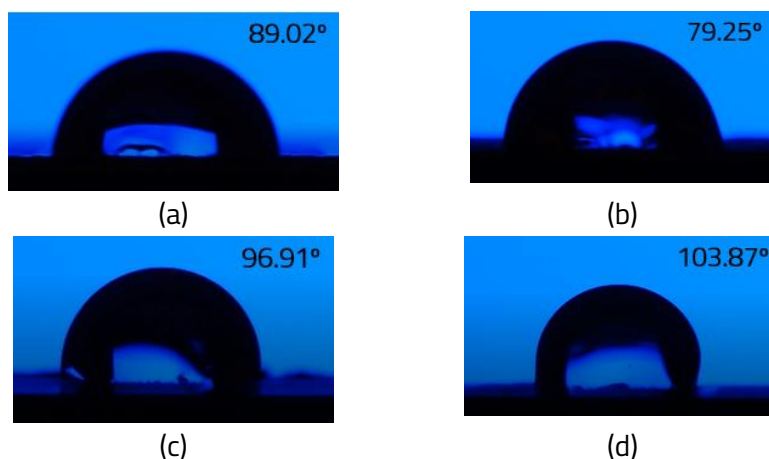


Figura 6.7. Imagini cu rezultatele obținute pentru unghiului de contact static, frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s, nr. de repetări 1 (a), 5 (b), 10 (c) și 20 (d).

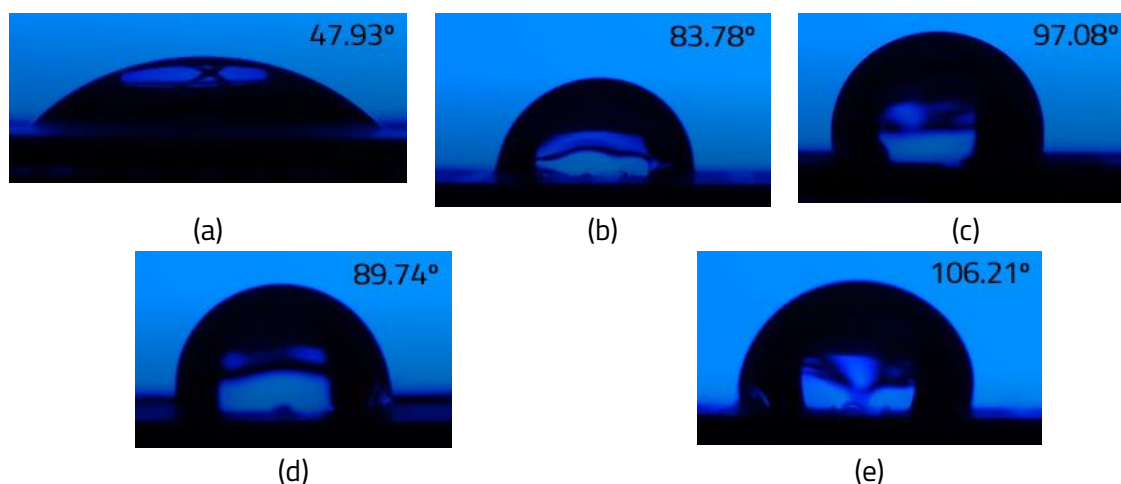


Figura 6.8. Imagini cu rezultatele obținute pentru unghiului de contact static, frecvență 40 kHz, viteză 300 mm/s, nr. de repetări 1(a), 5(b), 10(c), 15(d) și 20(e).

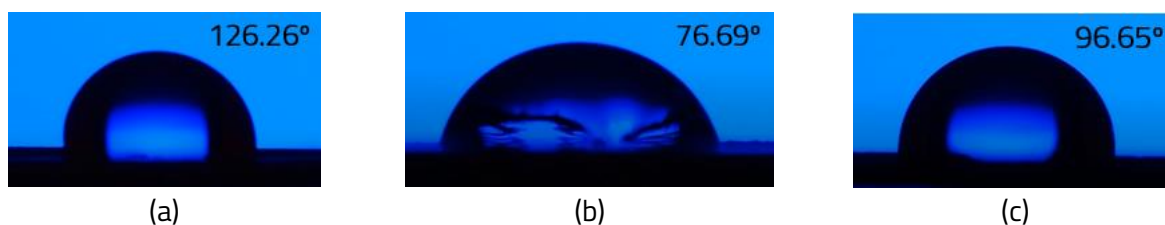


Figura 6.9. Imagini cu rezultatele obținute pentru unghiului de contact static, frecvență 50 kHz, viteză 500 mm/s, nr. de repetări 10(a), 15(b) și 20(c).

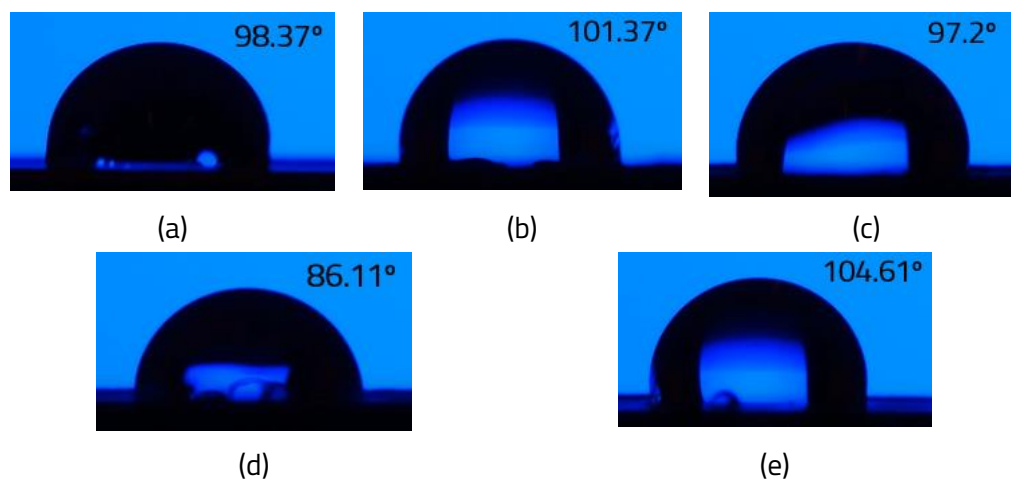


Figura 6.10. Imagini cu rezultatele obținute pentru unghiului de contact static, frecvență 65 kHz, viteză 650 mm/s, nr. de repetări 1(a), 5(b), 10(c), 15(d) și 20(e).

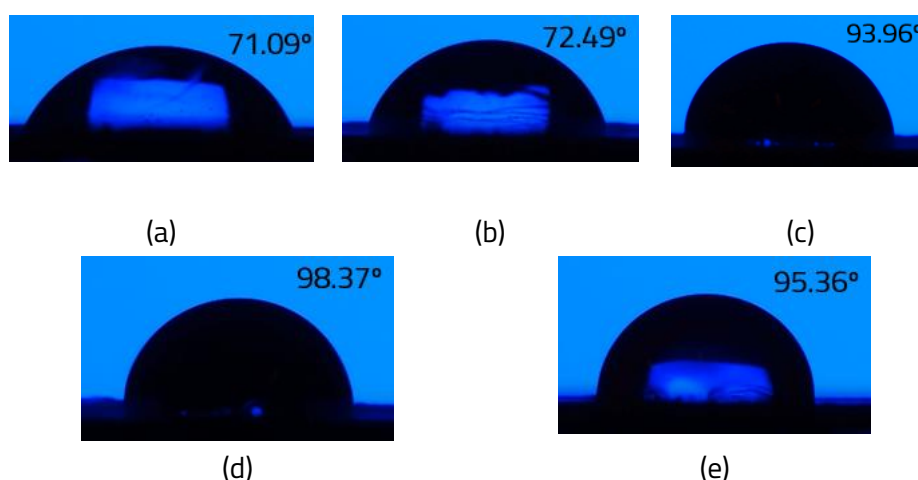


Figura 6.11. Imagini cu rezultatele obținute pentru unghiului de contact static, frecvență 100 kHz, viteză 1000 mm/s, nr. de repetări 1(a), 5(b), 10(c), 15(d) și 20(e).

Concluziile după rezultatele măsurătorilor unghiului de contact static după procedeul de texturare cu fascicul laser pentru modelul tip B, se poate însuma conform graficului din Figura 6.12, evidențiindu-se creșterea caracterului hidrofob al suprafeței.

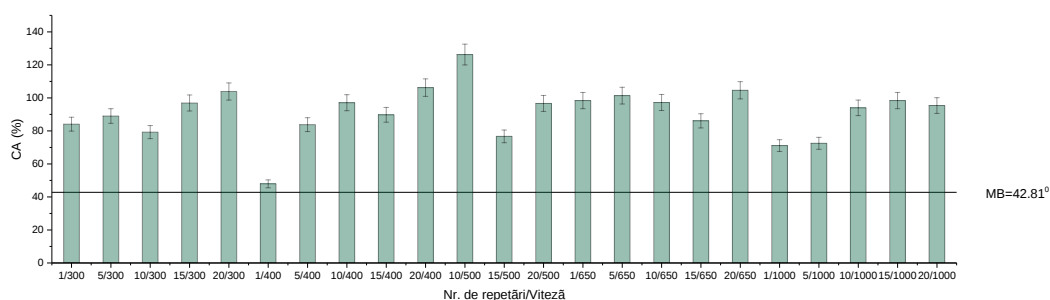


Figura 6.12. Media măsurătorilor unghiului de contact static pentru modelul elipse la 90°, tipul de design B.

În Figura 6.13. și Figura 6.14. se prezintă două abateri de la tendința prezentată în Figura 6.12, care indică o mărire a hidrofobiei cu creșterea numărului de repetări. Există dovezi ale unei abateri de la tendință pentru modelul de tip B (proba cu o repetare și 10 repetări pentru frecvența de 40 kHz), unde

picătura de apă distilată se răspândește foarte rapid, având un comportament de umectare cu hidrofilie ridicată. Este de remarcă răspândirea foarte rapidă (după trei secunde) a picăturii de apă distilată și rata mare de umectare, rapiditatea trecerii de la hidrofobie la hidrofilie. Rezultatul măsurătorilor al unghiului de contact static pentru modelul tip B (1 repetiție/frecvență 40 kHz) nu poate fi măsurat de echipament, deoarece microstructurile aparțin zonei de super hidrofilie extremă ( $\theta = 0^\circ \div 20^\circ$ ).

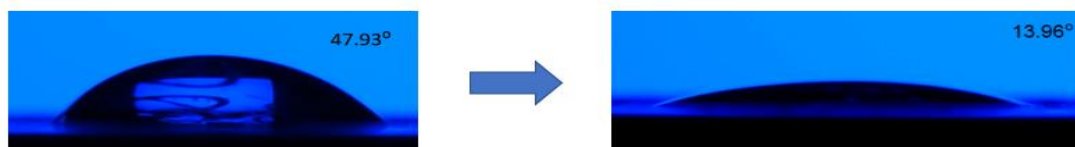


Figura 6.13. Aberație în măsurarea unghiului de contact static al modelului de tip B (nr. repetiții 1/ frecvență 40 kHz).

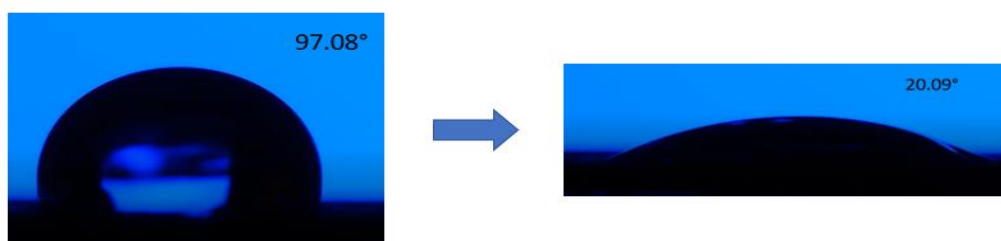


Figura 6.14. Aberație în măsurarea unghiului de contact static al modelului de tip B (nr. de repetiții 10/ frecvență 40 kHz).

### 6.1.3. Model C, formă de crater

Figurile 6.15 ...6.20 prezintă rezultatele măsurătorilor unghiului de contact static pentru modelul de tip C, după aplicarea texturării cu laser pe suprafața materialului AISI 430, utilizând diferiți parametri de procesare. Deși unghiurile de contact statice măsurate în cazul modelului de tip C sunt mai mici față de cele două tipuri de modele precedente, hidrofobicitatea în comparație cu materialul de bază, netexturat, a crescut.

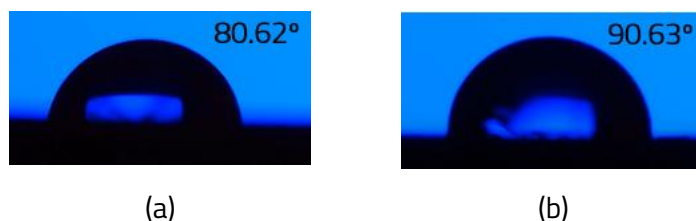


Figura 6.15. Imagini cu rezultatele obținute pentru unghiului de contact static, frecvență 30 kHz, viteză 300 mm/s, nr. de repetări 5(a) și 15(b).

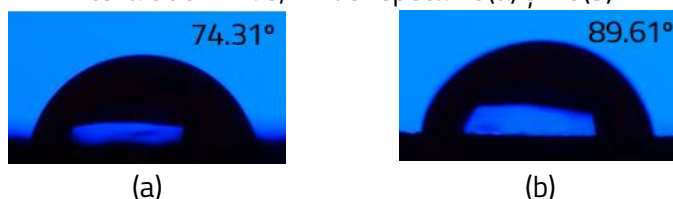


Figura 6.16. Imagini cu rezultatele obținute pentru unghiului de contact static, frecvență 40 kHz, viteză 400 mm/s, nr. de repetări 5(a) și 10(b).



Figura 6.17. Imagini cu rezultatele obținute pentru unghiului de contact static, frecvență 45 kHz, viteză 450 mm/s, nr. de repetări 1.

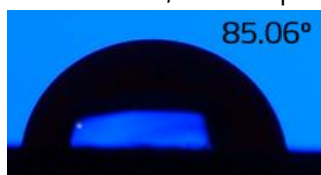


Figura 6.18. Imagini cu rezultatele obținute pentru unghiului de contact static, frecvență 50 kHz, viteză 500 mm/s, nr. de repetări 5.



Figura 6.19. Imagini cu rezultatele obținute pentru unghiului de contact static, frecvență 60 kHz, viteză 600 mm/s, nr. de repetări 1.



Figura 6.20. Imagini cu rezultatele obținute pentru unghiului de contact static, frecvență 80 kHz, viteză 800 mm/s, nr. de repetări 15.

Figura 6.21 arată modificarea unghiurilor de contact statice măsurate după aplicarea procedurii de texturare a suprafeței materialului AISI 430 cu fascicul laser, pentru modelul tip C.

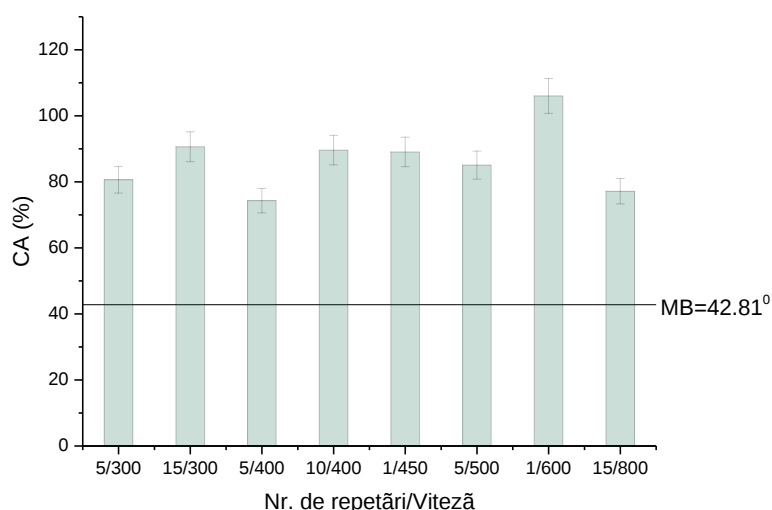


Figura 6.21. Media măsurătorilor unghiului de contact static pentru modelul tip C.

## 6.2. Concluzii

Toate modelele aplicate ca texturare pe suprafața oțelului inoxidabil feritic cu fasciculul laser în modul pulsant (nanosecunde) indică o îmbunătățire a mediei unghiului de contact static față de materialul de bază. Având în vedere reprezentarea grafică din Figura 6.6, rezultatele pentru tipul de model A, unghiul de contact static mediu este constant, iar majoritatea rezultatelor arătând hidrofobicitate. Pentru modelul de tip B (Figura 6.12), cel mai bun rezultat în ceea ce privește hidrofobicitatea implică cel puțin 20 de repetări. Când s-au folosit mai puțin de 20 de repetări pe modelul texturat B, s-a obținut hidrofilie. În mod surprinzător, pentru tipul de model C (Figura 6.21), regula care se aplică este contrară celorlalte două tipuri de modele de texturare în cazul numărului de repetări. Pe măsură ce repetițiile de microtexturare cresc, se poate observa o scădere ușoară a unghiului mediu de contact static. O altă influență notabilă asupra rezultatului unghiului de contact static mediu este parametrul frecvență. Pentru frecvența mai mică de 40 kHz (aplicabilă modelelor de tip B și C), unghiul mediu de contact nu depășește 90°.

Repetabilitatea trecerii fasciculului laser are o influență puternică asupra unghiului de contact static. Pentru un număr mic de repetări, unghiul de contact static este mai mic de 90°, indicând hidrofilie. Influența modelului texturat indică o îmbunătățire (unghiul de contact static mediu este dublu față de materialul de bază). S-a determinat că unghiul de contact static crește la o fluență mai mare, în principal pentru că fluența este proporțională cu rata de repetiție.

Rezultatele analizei de umectare a zonelor texturate cu fasciculul laser (LST) oferă o perspectivă asupra influenței numărului de repetări și a frecvenței. Pe măsură ce numărul de repetări crește, menținând frecvența constantă, unghiul de contact static măsurat crește, oferind hidrofobicitate suprafeței micro texturate și are loc o scădere a valorilor unghiului de contact pe măsură ce frecvența crește și numărul de repetări este constant. Pentru o viteză de 400 mm/s, la frecvența de 40 kHz și 10 repetări, se obține pentru modelul A ( $SCA = 90.55^\circ$ ) și modelul B ( $SCA = 97.08^\circ$ ), astfel măsurarea umectabilității oferă suprafețe hidrofobe ( $SCA > 90^\circ$ ). Rezultatele pentru viteza de 400 mm/s, la frecvența de 40 kHz și 10 repetări cu modelul C sunt la limita hidrofobității ( $SCA = 89.61^\circ$ ), dar cu o îmbunătățire remarcabilă a valorii unghiului de contact static față de materialul de bază fără texturarea suprafeței cu laser ( $CA = 42.81^\circ$ ).

Materialul expulzat aflat pe marginea crevasei și adâncimea golurilor create de modelelor texturate au, de asemenea, o influență semnificativă asupra unghiului de contact static. Creșterea rugozității datorită texturii aplicate crește unghiul de contact static cu valori între 30 și 195% mai mari față de suprafața netexturată, crescând astfel hidrofobicitatea.

## 7. Concluzii finale. Contribuții originale. Diseminarea rezultatelor. Direcții viitoare de cercetare

Tipurile de modele și geometrii au fost alese pentru a avea termeni de comparație ce experiențele anterioare și pentru a oferi o abordare mai amplă în ceea ce privește o automatizare simplă, aplicabilitate largă și tranziție rapidă în producția industrială. Motivația a fost de a oferi un model ce poate fi aplicat în texturarea suprafețelor cu laser (LST) în aplicații tribologice, îmbinări hibride și bioinginerie.

Rezultatele cercetării experimentale prezentate conduc la următoarele **concluzii**:

- Imaginile optice în secțiune transversală și vederea de sus cu histogramele de profil oferă informații cu privire la materialul expulzat și redepus la marginea crevasei creat de texturarea suprafeței cu laser (LST), evaporarea și/sau depunerea sub formă de material reformat și stropire. Comparând tipurile de modelele, forma cu octogoane concentrice (tipul de design A) și forma de crater (tip de design C) au deplasări mai pronunțate față de forma cu elipse la 90° (tip de design B). Tipul de model A are valori mai mari ale dimensiunilor materialului redepus la marginea crevasei, iar tipul de model C are un număr mare de stropi. Designul de tip B generează atât material reformat cât și stropi, dar cu valori mult mai mici față de celelalte două tipuri de modele. Imaginile microscopice arată și zona influențată termic, apariția oxidului de crom și fenomenul de traiectorie imperfectă.
- Imaginile din analiza SEM (vederile de sus și din secțiunea transversală) oferă informații despre fenomenele care au loc în timpul texturării cu laser (LST), modelele prezentând o suprafață redusă în ceea ce privește materialul redepus la marginea crevasei (tip C) și stropi (tip A). Analiza SEM și EDX evidențiază prezența elementului oxigen, care este benefic pentru oțelul inoxidabil tip feritic prin crearea unui strat de oxid (strat pasiv). Materialul reformat arată valoarea dublă pentru elementul de carbon în cazul modelului de formă octogonală. Analiza din zona influențată termic indică o analiză cantitativă a elementelor adecvată pentru toate tipurile de modele aplicate. Analiza EDX oferă răspunsuri referitoare la zona texturată, respectiv schimbări minore.
- În ceea ce privește analiza rugozității suprafeței, rezultatele arată că modelul A are valori crescute ale rugozității în timp ce parametrii (fluența și numărul de repetări) cresc. Modelul de tip B prezintă o tendință neuniformă, în timp ce tipul de model C prezintă o tendință de menținere. Toate cele trei tipuri de forme geometrice aplicate ca modele pentru texturare prezintă o creștere a rugozității, dar modelul de formă octogonală oferă cel mai bun rezultat în ceea ce privește rugozitatea suprafeței. Designul micro texturat de tip A poate fi aplicat cu ușurință la îmbinarea hibridă datorită unei suprafețe neregulate și a unei suprafețe de contact crescute. Pentru aplicațiile tribologice, materialul redepus la marginea crevasei poate fi un impediment, dar la îmbinarea hibridă este necesară, conferind o creștere a ariei de contact. Modelul de tip C este potrivit în principal pentru aplicații tribologice, deoarece materialul refulat lipsește. În cazul modelului de tip B, este nevoie de mai multe cercetări viitoare, deoarece rezultatele oferă rezultate neconcludente.
- Pentru toate probele pe care s-a aplicat texturarea cu fasciculul laser pe oțelul inoxidabil feritic, s-a demonstrat o îmbunătățire a unghiului static mediu contact. Atunci când numărul de repetări este mic, unghiul static contact rezultă mai mic de 90°, indicând hidrofilie. S-a

constatat că unghiul static de contact crește odată cu creșterea fluenței, în principal pentru că fluența este proporțională cu rata de repetiție. Materialul refulat și adâncimea golului texturărilor au avut, de asemenea, un efect semnificativ asupra unghiului static de contact. Rugozitatea crescută a suprafeței datorită microtexturării suprafeței crește unghiul static de contact, care este cu 30% până la 195% mai mare față de materialul netexturat, crescând astfel hidrofobicitatea.

- S-a observat că rugozitatea unei suprafețe micro texturate este proporțională cu densitatea punctului (numărul de iterații) și invers proporțională cu viteza de prelucrare. Când materialul expulzat este prezent din abundență (modelul A), se obține o suprafață cu rugozitate mare deoarece suprapunerea este mai mare și se înregistrează adâncimi mari ale crevaselor, nu ca și în cazul lipsei suprapunerii și a materialului refulat, în cazul modelului de tip C. Designul B are un nivel mai scăzut de suprapunere, astfel se obțin valori intermediare în ceea ce privește rugozitatea suprafeței. Configurarea fină a rugozității oțelului inoxidabil are multe aplicații industriale, în special în bioinginerie și îmbinări hibride.
- Analiza morfologică oferă informații valoroase despre microrelieful suprafețelor texturate cu laser, indicii pentru interblocarea mecanică în cazul îmbinărilor hibride. Dintre cele trei modele analizate, cel mai înalt nivel de material refulat se observă pentru tipul de model A, fiind recomandată aplicarea acestuia pentru pregătirea suprafeței metalice înainte de îmbinarea hibridă.

Consider că această teză de doctorat aduce următoarele **contribuții originale**:

- Micro texturile au fost realizate folosind un laser industrial cu modul pulsant în nanosecunde, creând astfel două modele noi de design: 3 octogoane concentrice și 2 elipse la 90° cu contur (bucă) închis, iar cel al treilea tip de model utilizat de alți cercetători (groapă/gaură/crater), ca termen de comparație.
- S-a demonstrat influența modelului și a parametrilor LST asupra rugozității suprafeței, astfel toate modelele texturate conferă o rugozitate sporită față de materialul neprelucrat.
- S-a evidențiat influența modelului de micro texturare și a parametrilor LST asupra umectării suprafeței, majoritatea epruvetelor și parametrilor de procesare utilizați oferind suprafețe hidrofobe ( $\text{SCA} > 90^\circ$ ), cu excepția modelului de tip C, unde predomină caracterul hidrofil.
- Au fost oferite recomandări pentru diferite aplicații de proiectare și fabricare industrială pe baza rezultatelor cercetării.

**Articole publicate** în timpul studiilor de doctorat:

1. Moldovan, E.; Tiorean, M.H.; Stanciu, E.M. Overview of Joining Dissimilar Materials: Metals and Polymers. *Bulletin of Transilvania Univ.* **2017**, *10(1)*, 39-46.
2. Moldovan, E.R.; Concheso Doria, C.; Ocaña Moreno, J.L.; Baltes, L.S.; Stanciu, E.M.; Croitoru, C.; Pascu, A.; Tiorean, M.H. Geometry Characterization of AISI 430 Stainless Steel Microstructuring Using Laser. *Archives of Metallurgy and Materials* **2022**, *67*, 645–652 (IF=0.767).
3. Moldovan, E.R.; Concheso Doria, C.; Ocaña, J.L.; Baltes, L.S.; Stanciu, E.M.; Croitoru, C.; Pascu, A.; Roata, I.C.; Tiorean, M.H. Wettability and Surface Roughness Analysis of Laser Surface Texturing of AISI 430 Stainless Steel. *Materials* **2022**, *15*, 2955 (IF=3.623).
4. Moldovan, E.R.; Concheso Doria, C.; Ocaña, J.L.; Istrate, B.; Cimpoesu, N.; Baltes, L.S.; Stanciu, E.M.; Croitoru, C.; Pascu, A.; Munteanu, C.; Tiorean, M.H. Morphological Analysis of Laser Surface Texturing Effect on AISI 430 Stainless Steel. *Materials* **2022**, *15*, 4580 (IF=3.623).

**Investigațiile ulterioare** vor fi efectuate pentru a obține suprafețe super hidrofobe, folosind tipul de model de texturare B optimizat, prin scăderea distanței centru-centru a texturării. Pentru a identifica efectul texturării cu fascicul laser a suprafeței și asupra caracterului inoxidabil al oțelului AISI 430, prin cercetări viitoare se vor include studii de difracție de raze X și coroziune. Următorul pas este de a cerceta designul modelului octogonal și eliptic pentru îmbinările hibride și designul modelului de tip groapă/gaură/crater în aplicații tribologice.

## Bibliografie

- 2 Ahmed, Y.S.; DePaiva, J.M.; Amorim, F.L.; Torres, R.D.; De Rossi, W.; Veldhuis, S.C. Laser surface texturing and characterization of austenitic stainless steel for the improvement of its surface properties. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* **2021**, *115*, 1795–1808.
- 8 Cardoso, J.T.; Aguilar-Morales, A.I.; Alamri, S.; Huerta-Murillo, D.; Cordovilla, F.; Lasagni, A.C.; Ocaña, J.L. Superhydrophobicity on hierarchical periodic surface structures fabricated via direct laser writing and direct laser interference patterning on an aluminium alloy, *Optics and Lasers in Eng.* **2018**, *111*, 193–200.
- 10 Carvalho, A.; Grenho, L.; Fernandes, M.H.; Daskalova, A.; Trifonov, A.; Buchvarov, I.; Monteiro, F.J. Femtosecond laser microstructuring of alumina toughened zirconia for surface functionalization of dental implants, *Ceram. Int.* **2020**, *46(2)*, 1383–1389.
- 15 Collins, C.M.; Safiuddin, M. Lotus-Leaf-Inspired Biomimetic Coatings: Different Types, Key Properties, and Applications in Infrastructures. *Infrastructures* **2022**, *7*, 46.
- 16 Costa, H.L.; Schille, J.; Rosenkranz, A. Tailored surface textures to increase friction—A review. *Friction* **2022**, <https://doi.org/10.1007/s40544-021-0589-y>.
- 17 Cruz-Ramírez, A.; Sánchez-Olvera, R.; Zamarrón-Hernández, D.; Hautefeuille, M.; Cabriales, L.; Jiménez-Díaz, E.; Díaz-Bello, B.; López-Aparicio, J.; Pérez-Calixto, D.; Cano-Jorge, M.; Vázquez-Victorio, G. Progress on the Use of Commercial Digital Optical Disc Units for Low-Power Laser Micromachining in Biomedical Applications. *Micromachines* **2018**, *9*, 187.
- 18 Cui, X.; Li, Y.; Guo, J.; Ming, P. Effects of bio-inspired integration of laser-induced microstructure and coated cemented carbide on tool performance in green intermittent turning. *J. Manuf. Process.* **2021**, *65*, 228–244.
- 20 Czotscher, T.; Vollertsen, F. Analysis of melting and melt expulsion during pulsed laser ablation. *Physcs. Proc.* **2016**, *83*, 53–61.
- 21 Daskalova, A.; Bliznakova, I.; Angelova, L.; Trifonov, A.; Declercq, H.; Buchvarov, I. Femtosecond Laser Fabrication of Engineered Functional Surfaces Based on Biodegradable Polymer and Biopolymer/Ceramic Composite Thin Films. *Polymers* **2019**, *11*, 378.
- 23 De Zanet, A.; Casalegno, V.; Salvo, M. Laser surface texturing of ceramics and ceramic composite materials – A review. *Ceram. Int.* **2021**, *47*, 7307–7320.
- 27 Feng, Y.; Gao, X.; Zhang, Y.; Peng, C.; Gui, X.; Sun, Y.; Xiao, X. Simulation and experiment for dynamics of laser welding keyhole and molten pool at different penetration status. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* **2021**, *112*, 2301–2312.
- 32 Ge, C.; Yuan, G.; Guo, C.; Ngo, C.V.; Li, W. Femtosecond laser fabrication of square pillars integrated Siberian-Cocklebur-like microstructures surface for anti-icing. *Mater. Des.* **2021**, *204*, 109689.

- 33 Geyer, F.; D'Acunzi, M.; Sharifi-Aghili, A.; Saal, A.; Gao, N.; Kaltbeitzel, A.; Slood, T.F.; Berger, R.; Butt, H.J.; Vollmer, D. When and how self-cleaning of superhydrophobic surfaces works. *Sci. Adv.* **2020**, *6*, eaaw9727.
- 34 Giorleo, L.; Montesano, L.; La Vecchia, G.M. Laser Surface Texturing to Realize Micro grids on DLC Coating: Effect of Marking Speed, Power, and Loop Cycle. *Int. J. Precis. Eng.* **2021**, *22*, 745–758.
- 36 Gregorčič, P.; Conradi, M.; Hribar, L.; Hočevár, M. Long-Term Influence of Laser-Processing Parameters on (Super)hydrophobicity Development and Stability of Stainless-Steel Surfaces. *Materials* **2018**, *11*, 2240.
- 37 Grigoropoulos, C.P. Laser synthesis and functionalization of nanostructures. *Int. J. Extrem. Manuf.* **2019**, *1*, 012002.
- 39 Guimarães, B.; Fernandes, C.M.; Figueiredo, D.; Carvalho, O.; Silva, F.S.; Miranda, G. Effect of laser surface texturing on the wettability of WC-Co cutting tools. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* **2020**, *111*, 1991–1999.
- 41 Hsu, C.J.; Stratmann, A.; Medina, S.; Jacob, G.; Mücklich, F.; Gachot, C. Does laser surface texturing really have a negative impact on the fatigue lifetime of mechanical components? *Friction* **2021**, *9*, 1766–1775.
- 42 Hu, G.; Guan, K.; Lu, L.; Zhang, J.; Lu, N.; Guan, Y. Engineered Functional Surfaces by Laser Microprocessing for Biomedical Applications. *Engineering* **2018**, *4(6)*, 822–830.
- 43 Hu, G.; Song, Y.; Guan, Y. Tailoring metallic surface properties induced by laser surface processing for industrial applications, *Nanotechnol Precis Eng.* **2019**, *2(1)*, 29–34.
- 46 Jalil, S.A.; Akram, M.; Bhat, J.A.; Hayes, J.J.; Singh, S.C.; ElKabbash, M.; Guo, C. Creating superhydrophobic and antibacterial surfaces on gold by femtosecond laser pulses. *Appl. Surf. Sci.* **2020**, *506*, 144952.
- 47 Jing, X.; Yang, C.; Zheng, S.; Chen, X.; Zhao, Y. Investigation of Wettability of Zirconia by Nanosecond Laser Treatment. *Proceedings of the IEEE International Conference on Manipulation, Manufacturing and Measurement on the Nanoscale (3M-NANO)*, Hangzhou, China, 13–17 August **2018**.
- 50 Kanidia, M.; Papagiannopoulos, A.; Matei, A.; Dinescu, M.; Pispas, S.; Kandyla, M. Functional surfaces of laser-microstructured silicon coated with thermoresponsive PS/PNIPAM polymer blends: Switching reversibly between hydrophilicity and hydrophobicity. *Appl. Surf. Sci.* **2020**, *527*, 146841.
- 51 Karapanagiotis, I. Water- and Oil-Repellent Surfaces. *Coatings* **2020**, *10*, 920.
- 60 Lambiase, F.; Scipioni, S.I.; Lee, C.J.; Ko, D.C.; Liu, F. A State-of-the-Art Review on Advanced Joining Processes for Metal-Composite and Metal-Polymer Hybrid Structures. *Materials* **2021**, *14*, 1890.
- 61 Li, J.; Zhu, R.; Huang, Y. Fabrication of microstructures by picosecond laser. *Optik* **2021**, *232*, 166501.
- 63 Li, X.; Jiang, Y.; Zhang, Z.; Jiang, Z.; Lian, J.; Ren, L. Facile and environmentally friendly fabrication of underwater superaerophobic and superaerophilic metallic surfaces through laser ablation and heat treatment. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* **2021**, *621*, 126547.

- 64 Liang, Y.; Zhao, J.; Yan, S. Honeybees have Hydrophobic Wings that Enable Them to Fly through Fog and Dew, *J. Bionic Eng.* **2017**, *14*(3), 549–556.
- 66 Lin, W.H.; Chen, C.W.; Wang, S.H.; Li, B.R. Rapid construct superhydrophobic microcracks on the open-surface platform for droplet manipulations. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 14915.
- 68 Liu, W.; Liu, S.; Wang, L. Surface Modification of Biomedical Titanium Alloy: Micromorphology, Microstructure Evolution and Biomedical Applications. *Coatings* **2019**, *9*(4), 249.
- 71 Matta, A.; Sedlacek, T.; Kadleckova, M.; Lengalova, A. The Effect of Surface Substrate Treatments on the Bonding Strength of Aluminium Inserts with Glass-Reinforced Poly(phenylene) Sulphide. *Materials* **2022**, *15*, 1929.
- 72 Milles, S.; Soldera, M.; Voisiat, B.; Lasagni, A.F. Fabrication of superhydrophobic and ice-repellent surfaces on pure alumium using single and multiscaled periodic textures. *Sci. Rep.* **2019**, *9*, 13944.
- 74 Moldovan, E.; Tiorean, M.H.; Stanciu, E.M. Overview of Joining Dissimilar Materials: Metals and Polymers. *B. Transilvania Univ.* **2017**, *10*(1), 39–46.
- 75 Moldovan, E.R.; Concheso Doria, C.; Ocaña Moreno, J.L.; Baltes, L.S.; Stanciu, E.M.; Croitoru, C.; Pascu, A.; Tiorean, M.H. Geometry Characterization of AISI 430 Stainless Steel Microstructuring Using Laser. *Arch. Metall. Mater.* **2022**, *67*, 645–652.
- 76 Moldovan, E.R.; Concheso Doria, C.; Ocaña, J.L.; Baltes, L.S.; Stanciu, E.M.; Croitoru, C.; Pascu, A.; Roata, I.C.; Tiorean, M.H. Wettability and Surface Roughness Analysis of Laser Surface Texturing of AISI 430 Stainless Steel. *Materials* **2022**, *15*, 2955.
- 77 Moldovan, E.R.; Concheso Doria, C.; Ocaña, J.L.; Istrate, B.; Cimpoesu, N.; Baltes, L.S.; Stanciu, E.M.; Croitoru, C.; Pascu, A.; Roata, I.C.; Tiorean, M.H. Morphological Analysis of Laser Surface Texturing Effect on AISI 430 Stainless Steel. *Materials* **2022**, *15*, 4580.
- 78 Moravčíková, J.; Moravčík, R.; Kusý, M.; Necpal, M. Influence of Laser Surface Texturing on Tribological Performance of Tool Steels. *J. Mater. Eng. Perform.* **2018**, *27*, 5417–5426.
- 80 Obilor, A.F.; Pacella, M.; Wilson, A.; Silberschmidt, V.V. Micro-texturing of polymer surfaces using lasers: a review. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* **2022**, *120*, 103–135.
- 81 Ocaña, J.L.; Jagdheesh, R.; García-Ballesteros, J.J. Direct generation of superhydrophobic microstructures in metals by UV laser sources in the nanosecond regime. *Adv. Opt. Technol.* **2016**, *5*(1), 87–93.
- 82 Ocaña, J.L.; Huerta-Murillo, D.; Lasagni, A.F.; Aguilar-Morales, A.I.; Alamri, S.; Cardoso, J.T.; García-Beltrán, A.; Cordovilla, F.; Angulo, I. Modification of Ti6Al4V surface properties by combined DLW-DLIP hierarchical micro-nano structuring, *Advanced Optical Technologies*, **2020**, *9*(3), 121–130.
- 83 Ortiz, R.; Aurrekoetxea-Rodríguez, I.; Rommel, M.; Quintana, I.; Vivanco, M.d.; Toca-Herrera, J.L. Laser Surface Microstructuring of a Bio-Resorbable Polymer to Anchor Stem Cells, Control Adipocyte Morphology, and Promote Osteogenesis. *Polymers* **2018**, *10*, 1337.
- 84 Palmieri, F.L.; Belcher, M.A.; Wohl, C.J.; Blohowiak, K.Y.; Connell, J.W. Laser ablation surface preparation for adhesive bonding of carbon fiber reinforced epoxy composites. *Int. J. Adhes. Adhes.* **2016**, *68*, 95–101.
- 85 Patel, D.; Jain, V.K.; Ramkumar, J. Micro texturing on metallic surfaces: State of the art. *Proc IMechE Part B: J Engineering Manufacture* **2016**, *232*(6), 1–24.

- 87 Puoza, J.C. Effect of Auxiliary Gas and Light Absorbing Coatings on Laser Surface Texturing. *Lasers Manuf. Mater. Process.* **2021**, *8*, 125–139.
- 88 Quintanilla-Correa, D.I.; Peña-Parás, L.; Maldonado-Cortés, D.; Rodríguez-Villalobos, M.C.; Hernández-Rodríguez, M.A.L. State of the art of surface texturing for biotribology applications, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* **2021**, *XIII(3)*, 143–150.
- 89 Rauh, S.; Wöbbeking, K.; Li, M.; Schade, W.; Hübner, E.G. From Femtosecond to Nanosecond Laser Microstructuring of Conical Aluminum Surfaces by Reactive Gas Assisted Laser Ablation. *Chem. Phys. Chem.* **2020**, *21*, 1644–1652.
- 91 Rodríguez-Vidal, E.; Sanz, C.; Lambarri, J.; Renard, J.; Gantchenko, V. Laser joining of different polymer-metal configurations: analysis of mechanical performance and failure mechanisms. *Physcs. Proc.* **2016**, *83*, 1110–1117.
- 92 Rodríguez-Vidal, E.; Sanz, C.; Soriano, C.; Leunda, J.; Verhaeghe, G.; Effect of metal micro-structuring on the mechanical behavior of polymer–metal laser T-joints. *J. Mater. Process. Technol.* **2016**, *229*, 668–677.
- 93 Rodríguez-Vidal, E.; Sanz, C.; Lambarri, J.; Quintana, I.; Experimental investigation into metal micro-patterning by laser on polymer-metal hybrid joining. *Opt. Laser Technol.* **2018**, *104*, 73–82.
- 95 Rupasov, A.E.; Danilov, P.A.; Kudryashov, S.I. Femtosecond-laser microstructuring in transparent materials. *J. Phys.: Conf. Ser.* **2020**, *1692*, 012011.
- 96 Salstela, J.; Suvanto, M.; Pakkanen, T.T. Influence of hierarchical micro-micro patterning and chemical modifications on adhesion between aluminum and epoxy. *Int. J. Adhes. Adhes.* **2016**, *66*, 128–137.
- 97 Samoila, C.; Ursutiu, D.; Tavkhelidze, A.; Jangidze, L.; Taliashvili, Z.; Skhiladze, G.; Tiorean, M. Nanograting layers of Si. *Nanotechnology* **2020**, *31*, 035301.
- 98 Sanjay Raja, R.S.; Selvakumar, P.; Babu, P.D.; Rubasingh, B.J.; Suresh, K. Influence of laser parameters on superhydrophobicity—A review. *Eng. Res. Express* **2021**, *3*, 022001.
- 103 Schricker, K.; Samfaß, L.; Grätzel, M.; Ecke, G.; Bergmann, J.P. Bonding mechanisms in laser-assisted joining of metal-polymer composites. *J. Adv. Join. Process.* **2020**, *1*, 100008.
- 104 Sergeev, D.G.; Marinin, E.A.; Kokorin, V.V.; Anufriev, D.S. The improvement of surface quality characteristics after mechanical treatment by pulse laser radiation. *Mater. Today Proc.* **2021**, *38*, 1613–1616.
- 105 Setti, D.; Arrabiyeh, P.A.; Kirsch, B.; Heintz, M.; Aurich, J.C. Analytical and experimental investigations on the mechanisms of surface generation in micro grinding. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* **2020**, *149*, 103489.
- 107 Shivakoti, I.; Kibria, G.; Cep, R.; Pradhan, B.B.; Sharma, A. Laser Surface Texturing for Biomedical Applications: A Review. *Coatings* **2021**, *11*, 124.
- 108 Singh, A.; Singh, D.; Ramkumar, J.; Balani, K. Single step laser surface texturing for enhancing contact angle and tribological properties. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* **2019**, *100*, 1253–1267.
- 109 Sirdeshmukh, N.; Dongre, G. Laser micro & nano surface texturing for enhancing osseointegration and antimicrobial effect of biomaterials: A review. *Mater. Today-Proc.* **2021**, *44*, 2348–2355.

- 111 Stanciu, E.M.; Păvălache, A.C.; Dumitru, G.M.; Dontu, O.G.; Besnea, D.; Vasile, I.M. Mechanism of keyhole formation in laser welding. *The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics*, **2010**, *38*(20), 171–176.
- 114 Sun, L.; Guo, J.; Chen, H.; Zhang, D.; Shang, L.; Zhang, B.; Zhao, Y. Tailoring materials with specific wettability in biomedical engineering, *Adv. Sci.* **2021**, *8*, 2100126.
- 116 Ta, V.D.; Dunn, A.; Wasley, T.J.; Li, J.; Kay, R.W.; Stringer, J.; Smith, P.J.; Esenturk, E.; Connaughton, C.; Shephard, J.D. Laser textured superhydrophobic surfaces and their applications for homogeneous spot deposition. *Appl. Surf. Sci.* **2016**, *365*, 153–159.
- 118 Van der Straeten, K.; Burkhardt, I.; Olowinsky, A.; Gillner, A. Laser-induced Self-organizing Microstructures on Steel for Joining with Polymers. *Phys. Procedia* **2016**, *83*, 1137–1144.
- 119 Vermaj, J.; Taiwade, R.V. Effect of welding processes and conditions on the microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of duplex stainless steel weldments—a review, *J. Manuf. Process.* **2017**, *25*, 134–152.
- 125 Watson, G.S.; Green, D.W.; Schwarzkopf, L.; Li, X.; Cribb, B.W.; Myhra, S.; Watson, J.A. A gecko skin micro/nano structure – A low adhesion, superhydrophobic, anti-wetting, self-cleaning, biocompatible, antibacterial surface. *Acta Biomater.* **2015**, *21*, 109–122.
- 127 Xu, H.; Cong, W.; Yang, D.; Ma, Y.; Zhong, W.; Tan, P.; Yan, J. Microstructure and mechanical performance of dissimilar metal joints of aluminium alloy and stainless steel by cutting-assisted welding-brazing. *Int. J. Adv. Manuf.* **2022**, *119*, 4411–4421.
- 129 Yang, L.; Deng, Z.; He, B.; Özel, T. An Experimental Investigation on Laser Surface Texturing of AISI D2 Tool Steel using Nanosecond Fiber Laser. *Lasers Manuf. Mater. Process.* **2021**, *8*, 140–156.
- 134 Zhang, Y.; Nørgaard Hansen, H.; Bissacco, G.; Biondani, F. Comparison of selected processes for surface microstructuring of complex mould for an implanted device. *Int. J. Adv. Manuf.* **2018**, *97*, 2741–2748.
- 135 Zhao, D.; Tian, Q.; Wang, M.; Jin, Y. Study on the Hydrophobic Property of Shark-Skin-Inspired Micro-Riblets. *J. Bionic Eng.* **2014**, *11*(2), 296–302.
- 136 Zheng, K.; Yang, F.; Zhang, N.; Liu, Q.; Jiang, F. Study on the Cutting Performance of Micro Textured Tools on Cutting Ti-6Al-4V Titanium Alloy. *Micromachines* **2020**, *11*, 137.
- 138 ISO. 4287 *Geometrical Product Specifications (GPS)—Surface Texture: Profile Method—Terms, Definitions and Surface Texture Parameters*; ISO: Geneva, Switzerland, 1997.
- 139 ISO. 4288 *Geometrical Product Specifications (GPS)—Surface Texture: Profile Method—Rules and Procedures for the Assessment of Surface Texture*; ISO: Geneva, Switzerland, 1996.
- 140 <https://www.atriainnovation.com/en/microstructuring-of-surfaces/>, accessed in 2020.03.25
- 141 <https://www.webofscience.com/>, accessed in 2020.05.20
- 142 <https://www.olympus-lifescience.com/en/microscopes/upright/>
- 143 <https://www.leica-microsystems.com/products/light-microscopes/p/leica-dm-il-led/>
- 144 [https://www.trumpf.com/en\\_INT/products/laser/marking-lasers/trumark-series-5000/](https://www.trumpf.com/en_INT/products/laser/marking-lasers/trumark-series-5000/)
- 151 <https://www.ossila.com/products/contact-angle-goniometer>
- 157 <https://sciencing.com/calculate-pulse-width-8618299.html>

## Rezumat

Datorită aplicabilității sale largi în industrie, conceperea microstructurilor pe suprafața materialelor poate fi ușor implementată și automatizată în procesele tehnologice. Texturarea suprafeței cu laser (LST) se aplică pentru a modifica compoziția chimică, morfologia și rugozitatea suprafețelor (umectabilitate), curățarea (înlăturarea contaminanților), reducerea tensiunilor interne metalelor (călire, revenire), energia de suprafață (polimeri, metale), creșterea aderenței (îmbinări hibride, bioinginerie) și diminuarea dezvoltării bacteriilor patogene (bioinginerie). Materialul selectat pentru LST este oțelul inoxidabil tip feritic AISI 430, care se distinge prin costul scăzut de fabricație, rezistența la coroziune și rezistența ridicată la temperatură ridicată. Trei modele diferite (crater de tip C, două elipse la 90° suprapuse în oglindă de tip B și 3 octogoane concentrice de tip A) au fost aplicate cu un laser pulsant în nanosecunde (mediu activ Nd: Fiber Diode-pompat) pe suprafața unui oțel inoxidabil feritic (AISI 430). Investigarea efectului parametrilor echipamentului laser, a microtexturilor și zonei influențate termic se realizează prin analiza morfologică (SEM+EDX). Microtexturarea suprafeței unui material poate modifica comportamentul său de umectare. S-a obținut o suprafață hidrofobă (unghi de contact mai mare de 90°) cu diferite variații în funcție de parametrii utilizați. Parametrii micro-modelului texturat cu fasciculul laser au o influență marcantă asupra rezultatelor, creându-se astfel microstructuri cu secțiuni de tip canelură având adâncimi de diferite dimensiuni și material expulzat din crevasă pe marginea acesteia. Microtexturarea este esențială pentru îmbinări hibride, datorită formării și interblocării microtexturilor create pe suprafața metalică.

## Abstract

Due to its wide applicability in industry, devising microstructures on the surface of materials can be easily implemented and automated in technological processes. Laser Surface Texturing (LST) is applied to modify the chemical composition, morphology, and roughness of surfaces (wettability), cleaning (remove contaminants), reducing internal stresses of metals (hardening, tempering), surface energy (polymers, metals), increasing the adhesion (hybrid joining, bioengineering) and decreasing the growth of pathogenic bacteria (bioengineering). The material selected for LST is ferritic stainless steel AISI 430, distinguished by the low cost in manufacturing, corrosion resistance and high strength at elevated temperature. Three different patterns (crater array type C, two ellipses at 90° overlapping with its mirror-type B and 3 concentric octagons-type A) were applied with a nanosecond pulsed laser (active medium Nd: Fiber Diode-pumped) on the surface of a ferritic stainless steel (AISI 430). Effect investigation of laser parameters of thermal affected area and micro-structures is accomplished by morphological analysis (SEM+EDS). Micro texturing the surface of a material can modify its wettability behaviour. A hydrophobic surface (contact angle greater than 90°) was obtained with different variations depending on the parameters. The parameters of the laser micro-patterning have a marked influence for the results, creating microstructures groove-type sections with different depths and recast material. Micro-texturing is essential for dissimilar materials welding, due to the formation and interlocking of grooves on the metal surface.

## INFORMAȚII PERSONALE



## Moldovan Edit Roxana



0040 741 341 922



edit.moldovan@unitbv.ro

Sex femeie | Data nașterii 08/10/1986 | Naționalitate română

## EDUCAȚIE ȘI CERTIFICĂRI

2016-prezent

## Student doctorand Știința și Ingineria Materialelor

Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Știința și Ingineria Materialelor

2014-2016

## Master în Ingineria Sudării Materialelor Avansate

Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Știința și Ingineria Materialelor

2010-2014

## Licență în Construcții Civile, Industriale și Agricole

Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Construcții

2001-2005

## Diploma de Bacalaureat

Liceul Economic Administrativ și de Servicii

## COMPETENȚELE PERSONALE

Limba maternă  
Alte limbi străine cunoscute

Română

## UNDERSTANDING

## Listening

## Reading

## SPEAKING

## Spoken interaction

## Spoken production

## WRITING

Lb. Engleză

C1

C1

C1

C1

C1

Lb. Italiană

C1

C1

C1

C1

B1

Lb. Franceză

B2

B2

B2

B2

A2

Lb. Maghiară

B2

B2

B2

B2

A2

Niveluri: A1/2: Utilizator elementar - B1/2: Utilizator independent - C1/2: Utilizator experimentat  
Cadru european comun de referință pentru limbi străine

## INFORMAȚII SUPLIMENTARE

Publicații  
Prezentări  
Proiecte  
Conferințe  
Premii

3 articole publicate în jurnale ISI, 1 articol în jurnal BDI

2 postere prezentate la Conferințe Internaționale,

3 prezentări orale la Conferințe Internaționale,

Premii:

- Premiul III la Sesiunea Științifică Studentească de Comunicări "CIBv2012", *Betoane speciale*, May 2012;

- Premiul Secțiunea XI, la Absolvenți în Fața Companiilor, "AFCO 2021";

- Best oral presentation și Best Paper Award, la ICIR Euroinvent 2022-International Conference on Innovative Research;

- 2 participări la Sesiuni și Comunicări Științifice Naționale ale studenților.

Prezentare postere:

- Moldovan E., Tiorean M.H., Stanciu E.M., *Overview of Joining Dissimilar Materials: Metals and Polymers*, Bulletin of the Transilvania University of Brașov, Series 1, Vol. 10 (59) No. 1 - 2017, pg. 238.

- Moldovan E., Tiorean M.H., Stanciu E.M., *Overlap laser welding of thin polycarbonate sheets*, Bulletin of the Transilvania University of Brașov, Series 1, Vol. 10 (59) No. 1 - 2017, pg. 237

Premii:

- Premiul III la Sesiunea Științifică Studentească de Comunicări "CIBv2012", *Betoane speciale*, May 2012;

- Premiul Secțiunea XI, la Absolvenți în Fața Companiilor, "AFCO 2021";

- Best oral presentation și Best Paper Award, la ICIR Euroinvent 2022-International Conference on Innovative Research;

Conferințe:

- National Scientific Session of Student Communications "IACSIC", May 2012

- National Scientific Session of Student Communications "CIBv2012", May 2012

- The International Anniversary Conference "CIBv", October 2013

- The International Conference "BraMat", 2017

- ICIR Euroinvent 2021-International Conference on Innovative Research

- The International Conference "BraMat", 2022

- ICIR Euroinvent 2022-International Conference on Innovative Research