

Raportul științific și tehnic final,

privind studiile și cercetările efectuate, în cadrul proiectului Bridge Grant: „Dezvoltarea
posibilităților de prelucrare a materialelor compozite avansate
prin tăiere de precizie cu jet de apă” – PreMCo
Contract nr. 99BG/01.10.2016

Proiectul PreMCo a reprezentat o cercetare nouă, care a avut ca și obiectiv general creșterea competitivității procesului de prelucrare cu jet de apă și îmbunătățirea calității pieselor din materiale compozite (MC), prelucrate prin acest proces.

Solicitățile provenite din partea societăților economice constau în tăierea de piese cu formă complexă, la o precizie ridicată și o bună calitate a suprafeței prelucrate, din materiale compozite avansate cum ar fi materiale compozite armate cu fibră de carbon sau sticlă.

Tăierea cu jet de apă și agent abraziv (TJA) este o tehnică de prelucrare inovativă, aceasta utilizând un jet de apă la înaltă presiune care transmite energie cinetică granulelor abrazive. TJA se distinge prin câteva caracteristici, cum ar fi: acționarea fără o încălzire notabilă, forțele generale sunt neglijabile, acționând fără modificarea caracteristicilor materialelor prelucrate și nu în ultimul rând este o soluție pentru prelucrarea oricărui tip de material.

În urma discuțiilor avute cu firmele care au ca obiect de activitate fabricarea de diferite produse din materiale compozite utilizând TJA, au fost identificate problemele care apar în proces: apariția fenomenului de delaminare a materialului compozit, în locul în care jetul abraziv pătrunde în material (găurește materialul); necesitatea optimizării parametrilor de proces pentru noile materiale compozite avansate; apariția unor abateri de formă în punctele în care jetul abordează sau părăsește conturul, precum și în punctele de schimbare a direcției de deplasare, datorită inerției acestuia.

Astfel, în proiectul PreMCo, realizat de Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca și firma SC TRAMBUS SRL din Cluj-Napoca s-au realizat cercetări teoretice și experimentale pentru rezolvarea problemelor aparute în procesul de TJA.

Obiectivele propuse spre rezolvare în proiectul PreMCo sunt următoarele:

Obiective prevăzute	Obiective realizate	Gradul de atingere a rezultatelor
1. Reducerea efectului de delaminare a materialelor compozite în timpul procesului de găurire.	DA	100%
2. Optimizarea parametrilor de proces, în vederea creșterii preciziei dimensionale și a calității suprafețelor pieselor prelucrate.	DA	100%
3. Dezvoltarea strategiilor de prelucrare a pieselor pentru înlăturarea efectului negativ al inerției jetului.	DA	100%
4. Fabricarea unui implant din materiale compozite biocompatibile prin TJA.	DA	100%
5. Diseminarea rezultatelor cercetării.	DA	100%
6. Realizarea de lucrări de licență și de disertație.	DA	100%
7. Realizarea de stagii de practică.	DA	100%
8. Organizarea unui seminar pentru diseminarea rezultatelor.	DA	100%

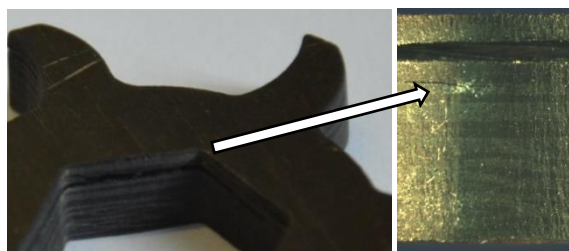
Toate obiectivele specifice și activitățile prevăzute în Planul de Realizare a proiectului PreMCo au fost realizate integral.

În cele ce urmează, prezentăm sumar rezultatele obținute pe durata proiectului.

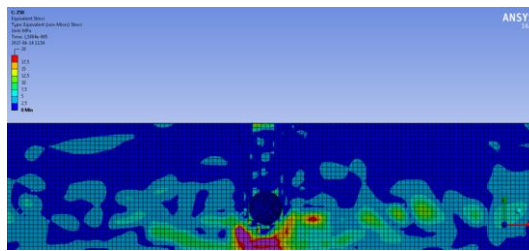
A. Rezultate obținute:

1. Reducerea efectului de delaminare a materialelor compozite în timpul procesului de găurire.

Primul aspect abordat a fost soluționarea principalei probleme apărute în timpul prelucrării materialelor compozite cu jet de apă și anume delaminarea materialului în timpul găuririi.



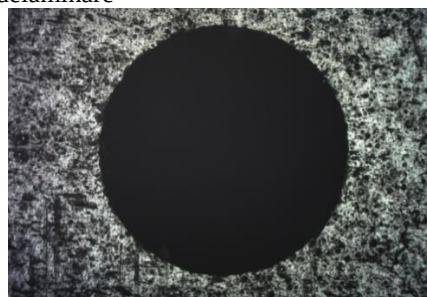
Fenomenul de delaminare



Simularea procesului V_{jet} 250 m/s



Imagine din timpul experimentului



Epruveta fara delaminare

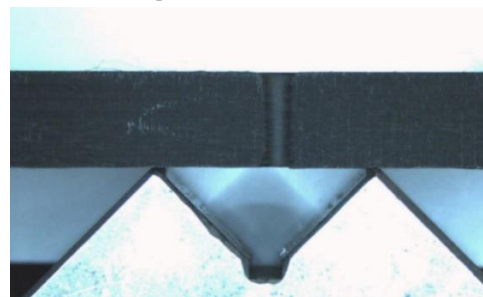


Fig. 1. Delaminare a materialelor compozite în timpul procesului de găurire

Utilizand Analiza cu Elemente Finite s-au identificat solicitările care apar în timpul procesului. Astfel, au fost obtinute: tensiunea echivalentă von Mises maximă rezultată, de 410 MPa si deformația maxima de 0.056 mm.



Fig. 2. Sistemul de alimentare cu abraziv dezvoltat pentru evitarea delaminarii

Concomitent s-au realizat studii experimentale pentru identificarea factorilor care generează fenomenul de delaminare. Astfel, aceste studii au dus la dezvoltarea unor proceduri de lucru și propunerea unor seturi de parametri optimi.

Pentru solutionarea acestei probleme s-a proiectat și realizat un nou sistem de alimentare cu agent abraziv, capabil să elimine în proporție de 95% riscul de delaminare a materialului. Noutatea dispozitivului este faptul ca genereaza în fața jetului de apă, un flux de agent abraziv. Astfel acest flux de abraziv realizat în camera de amestec, este antrenat de jetul de apă, formând un jet abraziv încă de la pornirea jetului.

2. Optimizarea parametrilor de proces, în vederea creșterii preciziei dimensionale și a calității suprafețelor pieselor prelucrate.

Soluționarea problemei de identificare a parametrilor optimi de proces pentru obținerea calității suprafeței și a preciziei de prelucrare cerute este un aspect important în fabricarea pieselor din materiale compozite avansate.

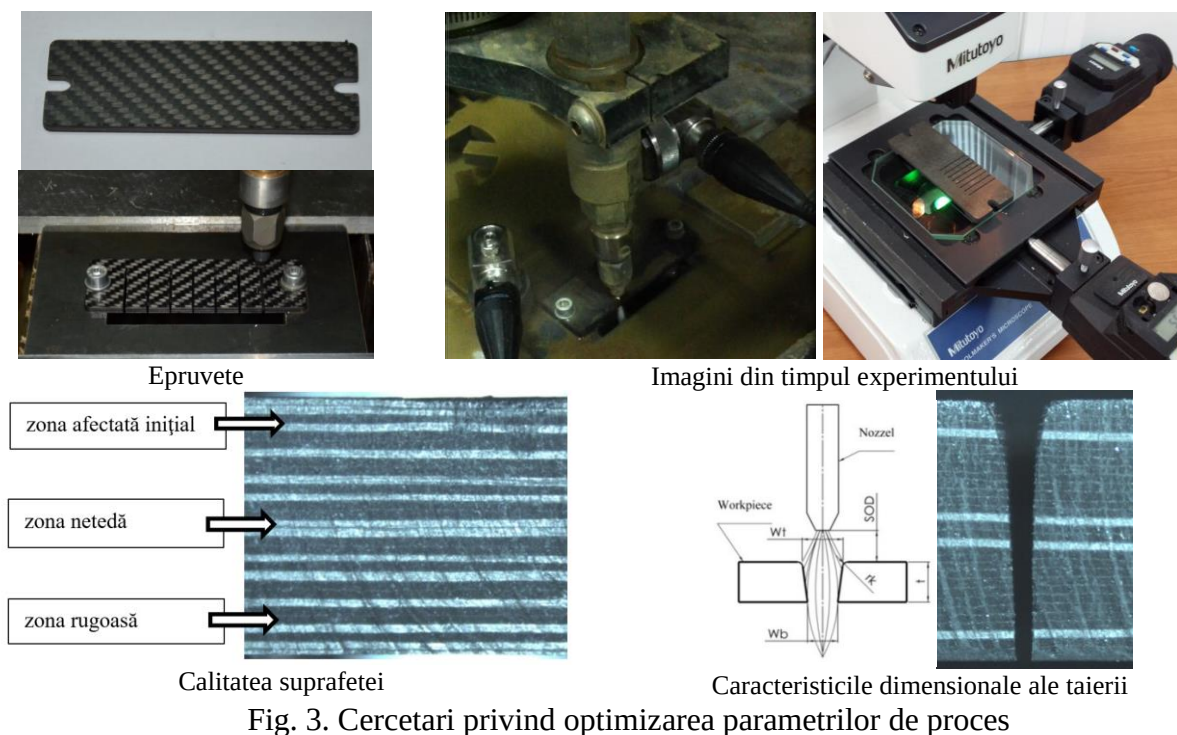


Fig. 3. Cercetari privind optimizarea parametrilor de proces

Optimizarea parametrilor s-a realizat prin modelarea matematică a procesului. Primul pas în acest studiu a fost programarea experimentelor, urmată de prelucrarea seturilor de epruvete, măsurarea rezultatelor și analiza microscopică.

Au fost realizate studii privind influența parametrilor de proces asupra caracteristicilor de calitate. Toate acestea au dus la dezvoltarea unor noi modele matematice pentru calculul parametrilor optimi de proces. Modelele matematice au fost testate și validate experimental.

3. Dezvoltarea strategiilor de prelucrare a pieselor pentru înlăturarea efectului negativ al inerției jetului.

Soluționarea problemelor generate de inerția jetului abraziv în timpul tăierii s-a realizat pe baza unor studii experimentale.

Au fost realizate **cercetări privind optimizarea strategiilor de tăiere în cazul prelucrării colțurilor și razelor**. S-au identificat principalele strategii (strategia cu decelerare, strategia cu trecere a colțului, strategia cu bucla) utilizabile la prelucrarea materialelor compozite și parametri optimi de proces.

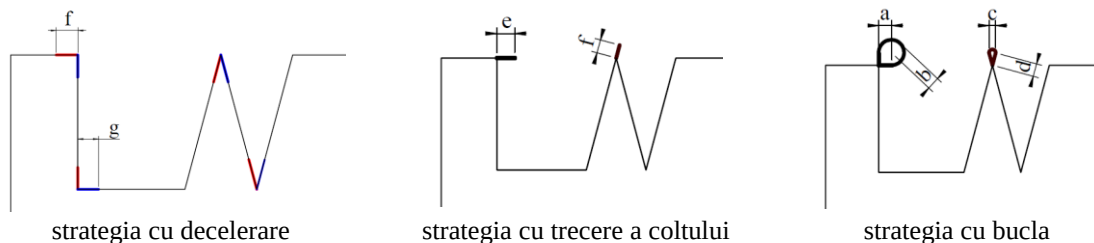


Fig. 4. Strategii de prelucrare

Pentru creșterea preciziei de prelucrare a colțurilor exterioare tăiate cu jet de apă se recomandă strategia cu bucla și utilizarea unei viteze de avans mare. În cazul prelucrării colțurilor interioare singura strategie de prelucrare este strategia cu decelerare, iar pentru îmbunătățirea preciziei se recomandă scăderea diametrului jetului abraziv, respectiv creșterea vitezei de avans.

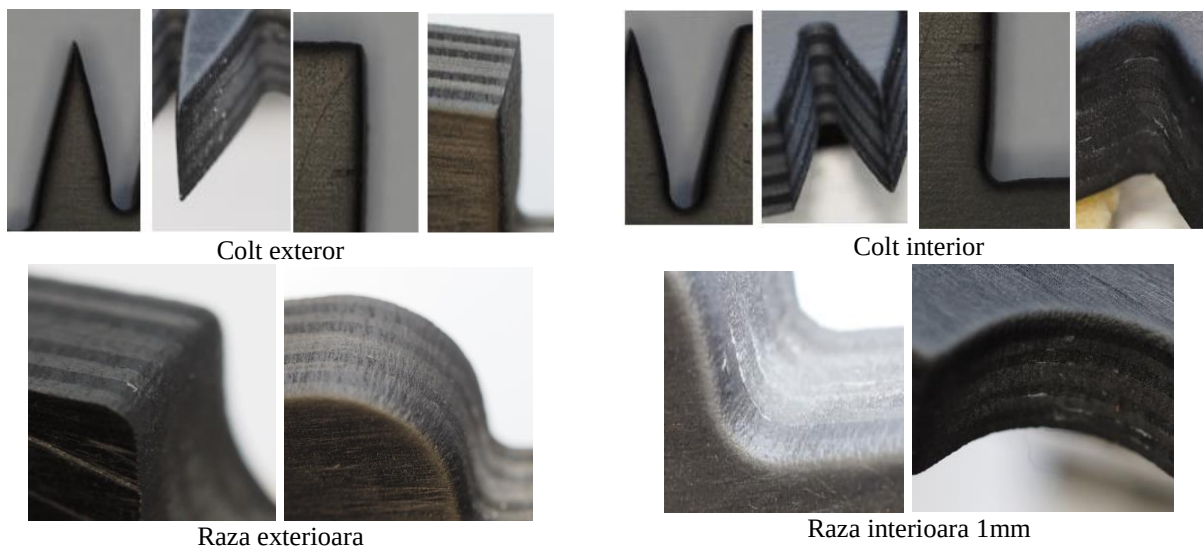
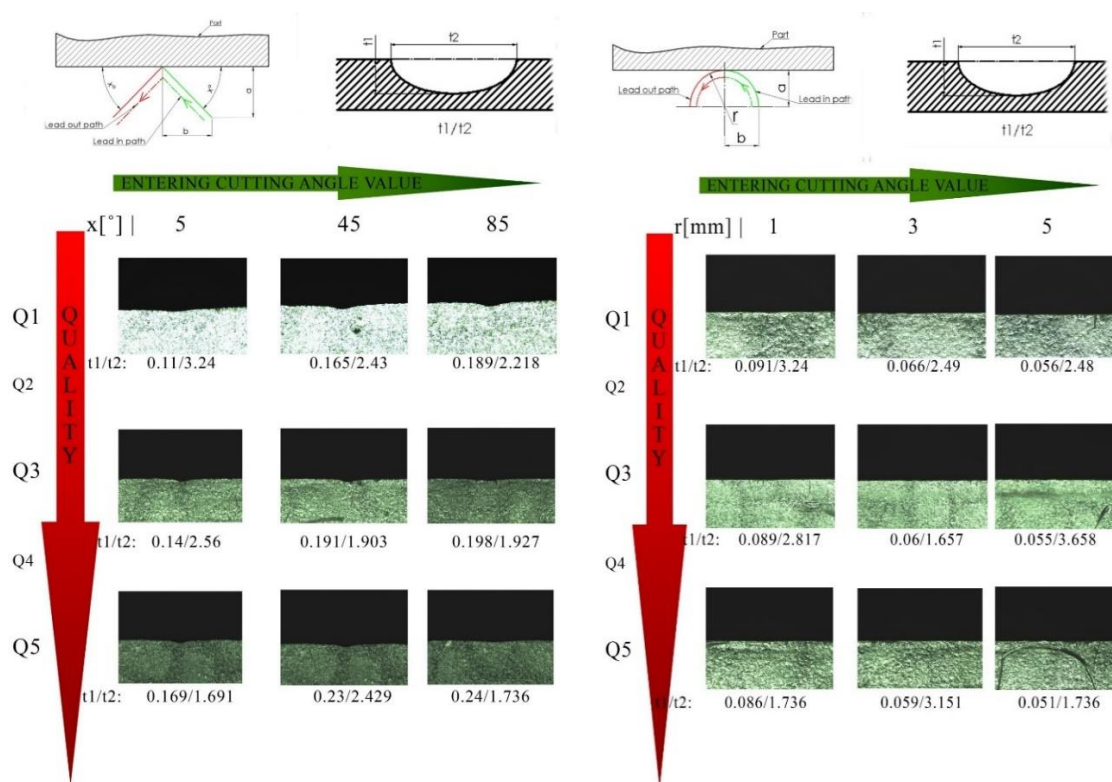


Fig. 5. Geometriile analizate

Alte strategii de prelucrare optimizate pentru tăierea MC au fost **strategiile după care jetul intra și iese din tăiere**. Au fost identificate două strategii care pot fi utilizate: intrare / ieșire după o tangentă, respectiv intrare / ieșire într-un punct. S-a identificat strategia și parametri optimi pentru aceste materiale.



Intrare / Iesire intr-un punct

Intrare / Iesire dupa o tangenta

Fig. 6. Epruvetele fabricate

Astfel, pentru prelucrarea materialelor compozite se recomanda strategia Intrare / Iesire dupa o tangenta, cresterea razei arcului de cerc dupa care jetul abordeaza conturul si cresterea vitezei de avans.

Cercetari experimentale privind monitorizarea online a procesului de taiere cu jet de apa pentru scaderea numarului de piese defecte si imbunătățirea caracteristicilor de calitate

Pentru a putea controla precis capacitatea jetului de erodare a materialului este necesară o monitorizare în timp real a procesului. In procesul de taiere pot aparea modificari ale caracteristicilor jetului, uzura capului de taiere, modificarea presiunii, modificarea debitului de abraziv datorita unor impuritati. Toate aceste fenomene duc la pierderea sau diminuarea capacitatii de prelucrare a sistemului.

Una din cele mai performante metode de analiză și monitorizare a diferitelor procese este aceea bazată pe emisia acustică generată. Marele avantaj al acestei metode de analiză și monitorizare este acela că poate fi utilizată pentru monitorizare în timp real, astfel parametri de lucru pot fi ajustați în timpul prelucrării pieselor.

Sistemul de monitorizare a emisiei acustice este constituit din: placa de achiziții, senzori acustici; amplificatoare de semnal; sursa de alimentare; WorkingStation HP. Programele utilizate pentru achiziția și analiza datelor experimentale sunt LabVIEW si Diadem.

In figura 7 este prezentata reprezentarea grafica in amplitudine [V] si timp [s] a semnalului AE achizitionat de pe semifabricat. Semnalul AE achizitionat in timpul taierii poate fi impartit in

trei faze: angrenarea jetului abraziv in taiere, faza de taiere propriu-zisa si iesirea jetului din material.

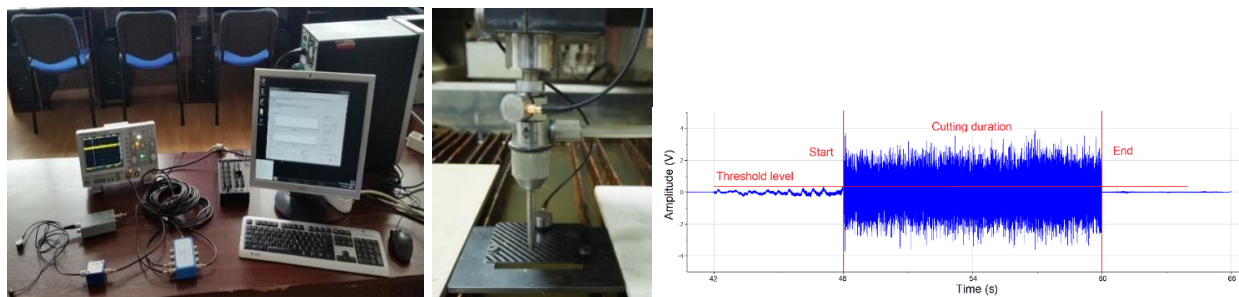


Fig. 7. Monitorizarea online a procesului de taiere cu jet de apa

Pentru a putea face o comparatie intre caracteristicile semnalelor achizitionate s-a calculat amplitudinea RMS (Root Mean Square) [V] a semnalului din zona de taiere continua. S-a observat ca prin cresterea vitezei de avans creste si amplitudinea RMS a semnalului.

Pentru a obtine mai multe informatii despre semnalul AE, a fost realizata o analiza in domeniul frecventei. Aceasta variatie a fost obtinuta in domeniul de frecventa 100 – 150 kHz. Acest lucru dovedeste ca parametrul viteza de avans influenteaza semnalul AE in domeniul de frecventa 100 – 150 kHz. Pentru monitorizarea taierii cu jet de apa a CFRP este suficient sa se analizeze acest domeniu de frecventa.

Pentru a putea realiza o monitorizare online a procesului utilizand emisiile acustice s-a realizat o modelare matematica, prin care amplitudinea semnalului acustic AE este calculata pe baza parametrilor de proces. Astfel, amplitudinea calculata va fi comparata cu amplitudinea masurata in timpul taierii pentru a detecta eventualele probleme din proces.

Cu ajutorul mediului de programare LabView a fost dezvoltata o aplicatie software de monitorizare online a procesului de taiere cu jet de apa a materialelor compozite. Programul masoara emisia acustica generata in timp real si o compara cu valoarea calculata cu ajutorul modelelor matematice dezvoltate. Astfel, daca se observa o diferenta de maxim 15% este semnalizata o anomalie in proces, cum ar fi: uzura sistemului de taiere (a duzei sau a tubului de focalizare), scaderea presiunii datorata uzurii pompei, scaderea debitului de abraziv, etc.

4. Fabricarea unui implant din materiale compozite biocompatibile prin TJA.

Materialele compozite sunt intalnite intr-o varietate de domenii, cum ar fi industria aerospaciala, industria constructoare de masini si chiar in medicina. In cadrul cercetarilor intreprinse de catre Institutul de Chimie “Raluca Ripan” a fost dezvoltat un material compozit biocompatibil, avand la baza rasina si tesatura din fibra de sticla. Principala caracteristica a acestor materiale compozite biocompatibile este aceea ca se pot fabrica implanturi cu complexitate ridicata si dimensiuni mari, mulandu-se usor in forme tridimensionale.

In fabricarea unui implant complex din material compozit se realizeaza matrita care da forma implantului, dupa care se adauga straturi succesive de tesatura si rasina de impregnare. Polimerizarea rasinii de impregnare se realizeaza prin incalzire in cuptor la 100 °C. In urma acestui proces in jurul implantului rezulta un exces de material care trebuie indepartat. In mod uzual acest exces de material se indeparteaza prin procedee de prelucrare clasice de aschiere,

cum ar fi frezarea conturului. In timpul procesului de aschiere a materialelor compozite armate cu fibra de sticla, se genereaza o temperatura de pana la 400 °C, care poate modifica caracteristicile materialului fabricat.

Taierea cu jet de apa si agent abraziv este o solutie pentru realizarea acestei prelucrari, deoarece apa serveste la disiparea caldurii generate in timpul taierii. Dar, fiind un material nou dezvoltat nu se cunosc parametri optimi de proces pentru realizarea taierii si nici caracteristicile de calitate care ar putea fi obtinute.

Calitatea suprafetei implantului din material compozit biocompatibil este caracteristica de calitate careia i se acorda atentie cea mai mare. Cu cat rugozitatea este mai mica, cu atat suprafata este mai neteda, iar riscul de a ramane impuritati in micro-neregularitatile rezultate in urma prelucrarii scade.

Utilizand datele obtinute experimental s-a analizat influenta principalilor parametri de proces asupra rugozitatii si topografiei suprafetei prelucrate. Astfel, pentru a creste calitatea suprafetei se recomanda cresterea presiunii de taiere si scaderea vitezei de avans.

Topografia suprafetei taiate este o distributie de cratere, văi și vârfuri. Distributia geometriilor intalnite este una aleatorie, nefiind una simetrica ca si in cazul proceselor clasice de prelucrare. Suprafata este dominata de vai, generate de muchiile aschietoare ale granulelor abrazive din interiorul jetului de taiere. Aceste vai nu sunt benefice aplicatiilor medicale, deoarece in interiorul lor pot ramane impuritati, bacterii sau chiar micro-organisme, ingreunand sterilizarea.

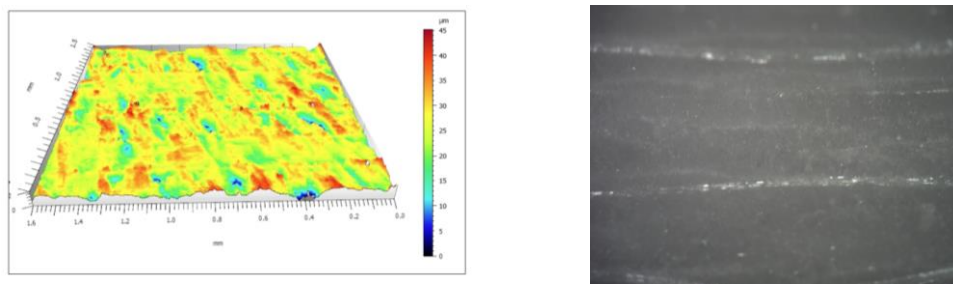


Fig. 8. Suprafata materialului compozit biocompatibil prelucrat prin taiere cu jet de apa

Analiza microscopica a suprafetei materialului compozit biocompatibil a aratat ca sub actiunea jetului de taiere nu a aparut delaminarea nici la nivel microscopic. Astfel, dupa prelucrare, tesatura din fibra de sticla a ramas inglobata in rășina de impregnare, nefiind observate goluri intre rasina si tesatura sau desprinderea straturilor.

In cazul fabricarii implanturilor din materiale compozite biocompatibile este important sa obtinem o calitate a suprafetei cat mai buna. Pentru a putea realiza acest lucru s-a dezvoltat un model matematic de regresie cu care se poate calcula rugozitatea suprafetei prelucrate in functie de parametri de proces utilizati.

Aplicatia pentru care a fost dezvoltat acest material compozit biocompatibil la Universitatea de Medicina si Farmacie "Iuliu Hatieganu" din Cluj-Napoca a fost acela de utilizare in reconstructia defectelor cranio-faciale de dimensiuni mari si complexe. Implanturile fabricate in acest studiu sunt construite pe modelele experimentale animale. Aceste modele au fost realizate initial prin tehnologii clasice de aschiere, iar principala problema este aceea ca in timpul aschierii caldura degajata modifica caracteristicile materialului compozit in zona prelucrata, noutatea acestei cercetari a fost rezolvarea acestei probleme.

Primul pas in fabricarea implantului personalizat este obtinerea modelului 3D al acestuia. Astfel, s-a pornit de la modelul virtual 3D al craniului iepurelui. Modelul 3D al craniului se obtine prin scanarea, cu computer tomograf a craniului iepurelui. Fisierul obtinut este importat in programul Mimics Research® versiunea 18.0, program cu care este dezvoltat modelul virtual 3D al implantului personalizat.

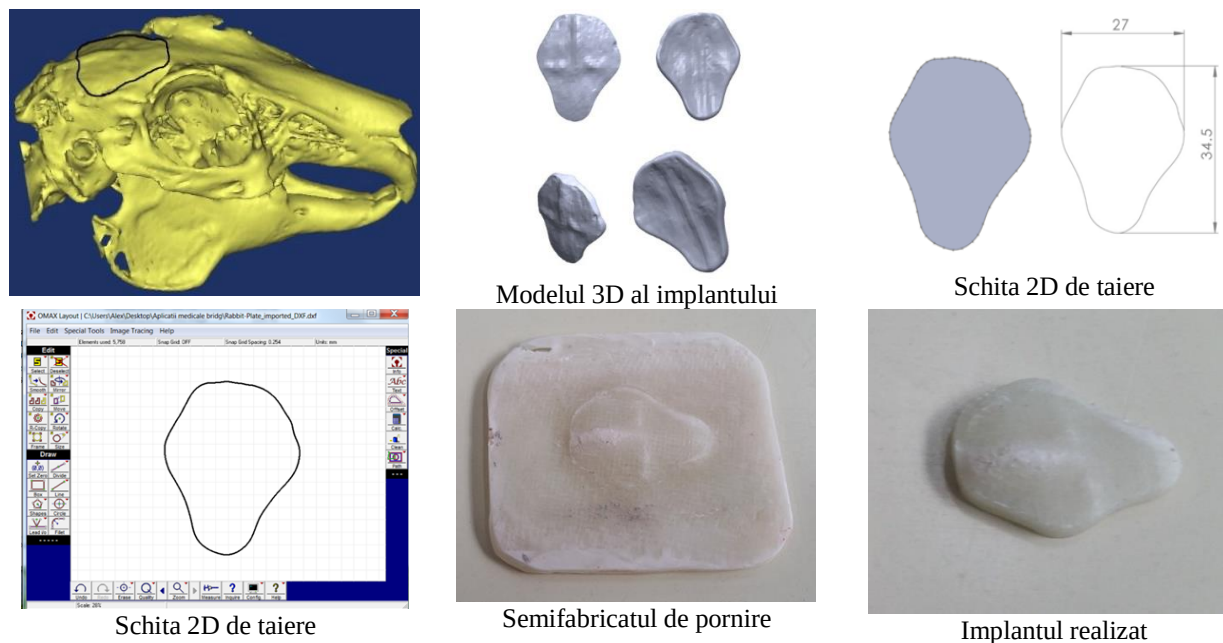


Fig. 9. Etapele realizarii implantului

Utilizand modelul 3D al implantului a fost realizata schita 2D pe directie normala, schita care constituie schita de taiere. Aceast operatie a fost realizata cu ajutorul programului de modelare 3D SolidWorks.

Proiectarea tehnologiei de fabricare prin taiere cu jet de apa pe masina Omax, se realizeaza cu ajutorul pachetului de programe CAD-CAM OmaxLayout si OmaxMake. Schita de taiere realizata a fost importata in programul de desenare Omax Layout. Deoarece trebuia taiata o piesa cu dimensiuni mici, 27 x 34.5 mm, care dupa taiere se desprinde de semifabricat, aceasta va cadea in bazinul masinii printre lamelele suport. Pentru evitarea acestui lucru s-au realizat niste punctite de 2 mm, care vor fixa implantul taiat pe semifabricat pana la finalizare taierii. In cadrul studiului experimental s-a utilizat centrul de prelucrare cu jet de apa, Omax 2626, din dotarea UTCN. Semifabricatul a fost fixat pe masa masinii cu bride pe zonele periferice. Faza finala a fabricatiei este constituita de ajustarea manuala a implantului, astfel s-au debitat manual punctitele si s-au finisat manual muchiile vii. Implantul fabricat este prezentat in figura 9.

Pentru evaluarea posibilitatilor de prelucrare a implanturilor prin taiere cu jet de apa, s-a studiat calitatea suprafetei. Suprafata taiata a implantului a fost masurata in trei zone: 1 mm sub muchia superioara ($Ra\ 5.1\ \mu m$), in mijlocul suprafetei ($Ra\ 2.9\ \mu m$) and 1 mm deasupra muchiei inferioare ($Ra\ 6.3\ \mu m$). Pentru masurarea preciziei dimensionale, a fost utilizat microscopul PG 2000. In urma masurarii conturului exterior, s-a observat o abatere cuprinsa intre -0.01 pana la -0.08 mm. In urma masurarii piesei s-a observat o conicitate de 0.5° , iar muchia superioara a fost rotunjita cu o raza de 0.25. Astfel, implantul fabricat corespunde intru totul conditiilor de calitate impuse pentru a fi implantat.

B. Impactul proiectului PreMCo

B. 1. Implementarea rezultatelor in mediul economic:

Implementarea in cadrul mediul economic a rezultatelor cercetarilor intreprinse:

- **Reducerea efectului de delaminare** a materialelor compozite în timpul procesului de găurire.

Agentului economic i s-au prezentat fenomenele care apar in timpul procesului si factorii care generează aparitia delaminarii. Acestuia i-au fost furnizate procedurile de lucru dezvoltate si modelele matematice pentru calculul parametrilor optimi de proces pentru evitarea delaminarii. Aceste proceduri au fost testate si validate utilizand echipamentul din cadrul firmei. Noul sistem de alimentare cu agent abraziv, capabil să elimine riscul de delaminare a materialului, a fost implementat pe echipamentul Tecnocut din dotarea firmei si este utilizat cu succes.

- **Optimizarea parametrilor de proces**, în vederea creșterii preciziei dimensionale și a calității suprafețelor pieselor prelucrate.

Soluționarea problemei de identificare a parametrilor optimi de proces pentru obținerea calității suprafeței și a preciziei de prelucrare cerute s-a realizat prin modelarea matematică a procesului. Astfel, agentului economic i s-au furnizat modelele matematice pentru calculul parametrilor optimi de proces. Modelele matematice au fost testate si validate atat pe echipamentul din cadrul UTCN, cat si din cadrul firmei. Ecuatiile respective au fost integrate intr-o aplicatie dezvoltata in programul Microsoft Excel, iar programatorii echipamentului introduc rugozitatea suprafetei si caracteristicile legate de precizia dimensionala, iar aplicatia furnizeaza parametri de proces. Firmei i s-au prezentat informatii despre influenta parametrilor de proces asupra caracteristicilor de calitate, informatii care le servesc si la optimizarea procesului pentru alte materiale noi care vor fi prelucrate.

- **Dezvoltarea strategiilor de prelucrare** a pieselor pentru înlăturarea efectului negativ al inerției jetului.

Agentului economic i s-au furnizat strategiile de taiere recomandate in cazul prelucrării colturilor si razelor. Au fost implementate trei strategii de prelucrare (strategia cu decelerare, strategia cu trecere a coltului, strategia cu bucla) utilizabile la prelucrarea materialelor compozite si parametri optimi de proces.

Alte strategii de prelucrare implementate au fost strategiile dupa care jetul intra si iese din taiere. Au fost propuse doua strategii (intrare / iesire dupa o tangenta, respectiv intrare / iesire intr-un punct) si parametri optimi pentru aceste materiale.

La solicitarea agentului economic s-a dezvoltat un sistem de monitorizare online a procesului de taiere cu jet de apa, pe baza emisiilor acustice AE, cu scopul de a scadea numarul de piese defecte si imbunătățirea caracteristicilor de calitate. Sistemul de monitorizare a fost testat cu succes pe echipamentul agentului economic, urmand in viitor sa fie realizat un sistem pentru echipamentul respectiv.

- **Fabricarea unui implant din materiale compozite biocompatibile** prin TJA.

Prelucrarea materialelor compozite biocompatibile prin TJA ofera atat agentului economic cat si laboratorului de fabricatie prin taiere cu jet de apa din cadrul UTCN posibilitatea de a se dezvolta pe o directie noua si competitiva.

Astfel, s-a dovedit ca taierea cu jet de apa este o solutie viabila pentru taierea pieselor complexe din material compozit biocompatibil, rezultand o calitate buna a suprafetei si in acelasi timp prelucrarea s-a realizat fara modificarea caracteristicilor initiale a MC.

Impreuna cu facultatea de Medicina si Farmacie "Iuliu Hatieganu" din Cluj-Napoca s-a fabricat prin TJA un implant din material compozit biocompatibil, utilizat in reconstructia defectelor cranio-faciale. Acest implant complex va fi implantat intr-un iepure in vederea validarii solutiei de prelucrare propuse.

Implementarea rezultatelor obtinute in urma cercetarilor ii va oferi partenerului economic oportunitatea de a se dezvolta in domeniul fabricarii pieselor din materiale compozite avansate. In urma implementarii acestor rezultate partenerul economic isi dezvoltă gama de aplicatii pe care le poate realiza, precum si productivitatea. O dată cu acestea, se mărește numărul de comenzi din partea colaboratorilor industriali și nu numai.

B. 2. Diseminarea rezultatelor cercetării

Articole publicate:

Rezultatele proiectului au fost diseminate intr-un numar de 9 articole indexate ISI sau in baze de date internationale.

- Ioan Alexandru POPAN, Nicolae BÂLC, Alina Ioana POPAN, *Preliminary study on occurrence of composite material delamination processed by abrasive water jet cutting*, MSE 2017;
- Ioan Alexandru Popan, Alina Popan, *Experimental study on manufacturing complex parts from composite materials using water jet cutting*, Acta Technica Napocensis 2017;
- Ioan Alexandru POPAN, Glad CONȚIU, Ian CAMPBELL, *Investigation on standoff distance influence on kerf characteristics in abrasive water jet cutting of composite materials*, MTem 2017;
- Alina Ioana POPAN, Bogdan LUCA and Alexandru CAREAN, *Experimental studies on manufacturing of the complex shapes made from copper*, MTem 2017;
- Cristina Stefana Miron-Borzan, Emilia Sabau, Mircea Mera and Petru Berce, *Research Regarding the Manufacturing through AM Technologies of an Implant for Cervical Disc Replacement*, MTem 2017;
- Ioan Alexandru POPAN1, Nicolae BALC , Alina POPAN, Alexandru Carean, *Experimental study on reverse engineering in case of composite materials cut by Water Jet Cutting*, ImanEE 2018;
- Ioan Alexandru Popan, Vlad Bocanet, Nicolae Balc and Alina Ioan Popan, *Investigation on feed rate influence on surface quality in abrasive water jet cutting of composite materials, monitoring acoustic emissions*, ICMEM 2018.
- Domnita FRATILA, Alexandru POPAN, *Analysis and optimization of cutting parameters in drilling operation of em aw-2007aluminum alloy*, Academic Journal of Manufacturing Engineering, 2018;
- Ioan Alexandru Popan, Nicolae Balc and Alina Ioana Popan, *Study on manufacturing implants of biocomposite materials by water jet cutting*, ICAT 2018. – In curs de publicare;

Cărți

Rezultatele proiectului au fost publicate într-o carte, în limba română, care va servi arăt firmelor din domeniul fabricației cât și mediului academic. Aceasta carte se dorește a fi tradusă în limba engleză și publicată la o editură internațională.

- Ioan Alexandru Popan, *Fabricație prin tăiere și frezare cu jet de apă* - Editura Roprint, 300 pagini, 2018 – în curs de publicare.

Lucrări de licență și de disertație

În cadrul proiectului au fost angrenați studenți și masteranzi din anii terminali pentru realizarea proiectelor de diplomă și de disertație. Aceștia au primit teme din cadrul topicului proiectului și au lucrat împreună cu membrii echipei pentru soluționarea temelor propuse.

În anul 2017 au fost realizate în cadrul proiectului trei lucrări de licență și una de disertație:

- *Cercetări privind optimizarea procesului de găurire cu jet de apă a materialelor compozite*, Krisztian P. Martin, îndrumător S.L. Dr. Ing. Popan Alexandru;
- *Cercetări privind optimizarea strategiilor de intrare și ieșire din conturul pieselor din materiale compozite tăiate cu jet de apă*, Lupse Paul Mihai, îndrumător S.L. Dr. Ing. Popan Alexandru;
- *Studiul experimental privind refabricarea pieselor din materiale compozite prin tăiere cu jet de apă*, Zeries Mihaela Alexandra, îndrumător S.L. Dr. Ing. Popan Alexandru;
- *Dezvoltarea și realizarea unui dispozitiv robotizat de debavurat*, Târziu Lucian, îndrumător S.L. Dr. Ing. Popan Alexandru.

În anul 2018 au fost realizate două lucrări de licență:

- *Cercetări privind erorile de tăiere în cazul pieselor complexe prin debitare cu jet de apă*, Roland FÖLDVÁRI, îndrumător S.L. Dr. Ing. Popan Alexandru;
- *Implementarea sistemelor de Achiziții de Date și Monitorizare Online prin intermediul Emisiilor Acustice în procesele de tăiere hidro-abrazivă*, Darius Emanuel Ciuverca, îndrumător S.L. Dr. Ing. Popan Alexandru;

Seminar pentru diseminarea rezultatelor

Seminarul PreMCo “Posibilități de prelucrare prin tăiere de precizie cu jet de apă” a avut loc în data de 14.09.2018 la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca. La seminar au participat un număr de 31 de persoane, dintre care 13 din mediul industrial, de la 9 firme din domeniul fabricației, având locația în Cluj-Napoca. În cadrul acestui seminar au fost prezentate rezultatele proiectului. Seminarul a fost încheiat cu o sesiune de concluzii și discuții legate de posibilitățile de utilizare a acestei tehnologii în mediul industrial.

Realizarea de stagii de practică

În cadrul proiectului, conform obiectivelor propuse s-au realizat stagii de practică cu durata de trei săptămâni fiecare.

- La stagiul de practică desfășurat la sediul agentului economic partener în cadrul proiectului, S.C. Trambus S. R. L. din Cluj-Napoca, în perioada 03.07- 24.07.2017, au participat un număr de trei studenți: Barb Alexandra; Bud Helen, Neag Sorin din anul II, specializarea TCM în limba Germană.

- În al doilea stagiu de practică desfășurat tot la sediul agentului economic partener, în perioada 20.07-12.08.2018 au participat un număr de trei studenți: Todea Stelian Nicolae, Campean Rares și Costea Ispas din anul III, specializarea TCM în limba Germană.
- Activitățile desfășurate pe durata acestui stagiu de practică au fost următoarele: documentare în domeniul fabricației prin tăiere cu jet de apă; învățarea softurilor *SolidWorks* și *Tecnocam* și a limbajului de programare CNC G cod; operare a echipamentului de tăiere cu jet de apă Tecnocut Milestone 1740 din dotarea agentului economic.

Avizat,

Coordonator,

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Agent economic,

S.C. Trambus S.R.L.

Reprezentant legal,

Reprezentant legal,

Rector,

Prof.dr.ing. Vasile Topa

Administrator,

Ing. Emil Trifu

Director Proiect,

S.l.dr.ing. Alexandru Popan

Responsabil de proiect,

Ing. Emil Trifu

Cluj-Napoca, 28.09.18