

Raportul științific și tehnic,

privind studiile și cercetările efectuate în etapa III/2018, 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

În cadrul Etapei III, conform obiectivelor propuse pentru faza actuală s-au realizat următoarele:

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

- Cercetari privind optimizarea strategiilor de taiere in cazul prelucrării colturilor si razelor
- Cercetari privind optimizarea strategiilor dupa care jetul intra si iese din taiere
- Cercetari experimentale privind monitorizarea online a procesului de taiere cu jet de apa pentru scaderea numarului de piese defecte si imbunătățirea caracteristicilor de calitate

2. Fabricarea unui implant din materiale compozite biocompatibile prin taiere cu jet de apa TJA.

- Identificarea parametrilor optimi de process pentru prelucrarea materialelor compozite biocompatibile prin TJA
- Realizarea modelului matematic pentru calculul rugozitati suprafetei prelucrate
- Fabricarea unui implant din materiale compozite biocompatibile prin TJA

3. Diseminarea rezultatelor cercetării.

Articole publicate:

- Ioan Alexandru POPAN, 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:

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

Lucrări de licență:

- *Cercetari privind erorile de taiere in cazul pieselor complexe prin debitare cu jet de apa*, Roland FÖLDVÁRI, îndrumător S.L. Dr. Ing. Popan Alexandru;
- *Implementarea sistemelor de Achizitii de Date si Monitorizare Online prin intermediul Emisiilor Acustice in procesele de taiere hydro-abraziva*, Darius Emanuel Ciuverca, îndrumător S.L. Dr. Ing. Popan Alexandru.
- Propunerea a două teme de licență, cu finalizare în anul 2019.

Organizarea unui seminar pentru diseminarea rezultatelor:

Seminarul PreMCo “Posibilitati de prelucrare prin taiere de precizie cu jet de apa” a avut loc in data de 14.09.2018 la Universitatea Technica din Cluj-Napoca, Sala Emerson. In cadrul evenimentului au fost realizate urmatoarele prezentari:

- Prezentare generala a proiectului PreMCO, S.L. Dr. Ing. Popan Alexandru;
- Solutionarea problemei de delamnare a materialelor composite in timpul gauririi cu jet de apa, S.L. Dr. Ing. Vasile Ceclan;
- Solutii pentru imbunatatirea caracteristicilor de calitate a pieselor din materiale compozite taiate cu jet de apa, S.L. Dr. Ing. Popan Alexandru;
- Prelucrarea implanturilor personalizate din materiale compozite biocompatibile prin taiere cu jet de apa, S.L. Dr. Ing. Popan Alina Ioana.

Seminarul a fost incheiat cu o sesiune de concluzii si discutii legate de posibilitatile de utilizare a acestei tehnologii in mediul industrial.



La seminar au participat un numar de 31 de persoane, dintre care 13 din mediul industrial, de la 9 firme din domeniul fabricatiei, avand locatia in Cluj-Napoca.

	Nume	Institutia
1.	Popan Ioan Alexandru	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
2.	Zoltan Szabo	SC Douce hydro SRL
3.	Papp Ervin	SC Coinject SRL
4.	Roland FÖLDVÁRI	SC CSI Romania SRL
5.	Ciuverca Darius	SC Guhring SRL
6.	Luca Bogdan	SC Guhring SRL
7.	Balc Nicolae	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
8.	Popan Alina Ioana	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
9.	Vasile Ceclan	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
10.	Paul Bere	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
11.	Valer Istrate	SC Prelmet SRL
12.	Trif Emil	SC Trambus SRL
13.	Costea Alexandru	SC Trambus SRL
14.	Sabau Emilia	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
15.	Borzan Miron Cristina	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
16.	Sergiu Carjoiescu	SC Sinterom SA
17.	Popescu Adrian	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
18.	Cristian Vilau	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
19.	Cosma Cosmin	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
20.	Domnita Fratila	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
21.	Dan Comsa	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
22.	Moldovan Catalin	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
23.	Remus Bogateanu	SC Alvi ethnic SRL
24.	Bogdan Vasile	SC Alpha Metals SRL
25.	Vilau Cristian	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
26.	Dan Leordean	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
27.	Pacurar Ancuta	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
28.	Carean Alexandru	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca

29.	Pop Grigore	Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca
30.	Pasca Cristian	SC Tehnomat SA
31.	Miron Alin	SC Tehnomat SA

4. În cadrul Etapei III, conform obiectivelor propuse pentru faza actuală s-a realizat un **stagiul de practică** pe durata a trei săptămâni după cum urmează:

- La acest stagiul de practică au participat un număr de trei studenți: Todea Stelian Nicolae, Neag Sorin și Costea Ispas din anul III, specializarea TCM în limba Germană.
- Acest stagiul s-a desfășurat la sediul agentului economic partener în cadrul proiectului, S.C. Trambus S. R. L. din Cluj-Napoca, în perioada 20.07- 12.08.2018.
- Activitățile desfășurate pe durată acestui stagiul 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.

Toate obiectivele specifice și activitățile prevăzute pentru prezenta etapă au fost realizate integral.

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

1.1 Cercetari privind optimizarea strategiilor de taiere in cazul prelucrării colturilor si razelor

Datorita faptului ca in tehnologia de taiere cu jet de apa nu este utilizata o scula rigida de taiere, ci o scula fluida, acest jet ramane in urma, deplasandu-se de o parte si de alta a punctului programat. Acest comportament a jetului de prelucrare introduce erori de prelucrare, in special in cazul colturilor si a razelor, unde traiectoria dupa care este deplasat jetul nu este liniara.

Primul pas in cadrul acestei cercetari experimentale a fost identificarea strategiilor de prelucrare aplicabile. Astfel in literatura de specialitate au fost identificate trei strategii (figura 1.1):

- Decelerating strategy / strategia cu decelerare: Aceasta strategie implica scaderea vitezei de deplasare a capului de taiere, inainte de a intalni un colt sau o raza.
- Corner passing strategy / strategia cu trecere a coltului: In acest caz schita de taiere este prelungita cu un segment de 1-5 mm, iar jetul dupa taierea acestui segment, se intoarce in punctul de inflexiune.
- Loop strategy / strategia cu bucla: La aceasta strategie schita de taiere este completata cu bucle. Parcurgerea acestor bucle eliminand efectele nedorite introduse de schimbarea de deplasare.

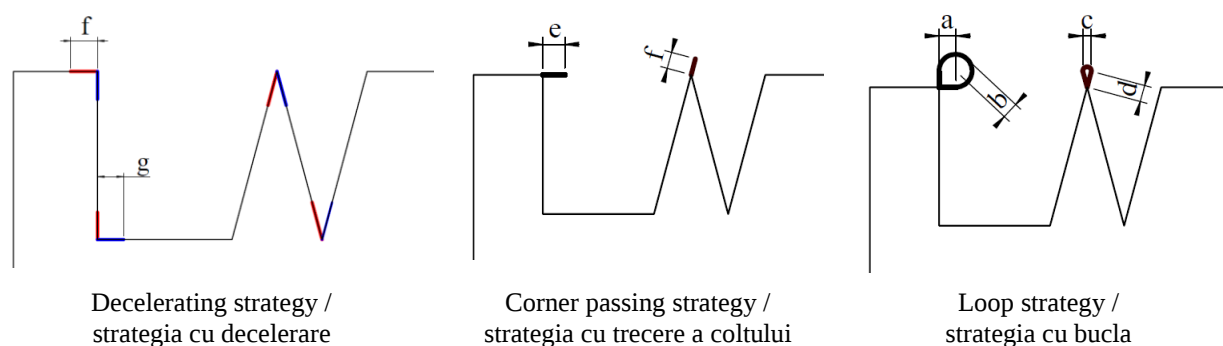


Fig. 1.1 Strategii de prelucrare

In documentatia existenta, nu au fost identificate informatii sau recomandari cu privire la strategiile de prelucrare pretabile in taierea CFRP cu jet de apa. Problema care se pune este

alegerea strategiei si parametrilor optimi pentru a reduce abaterile dimensionale in prelucrarea colturilor si a razelor.

Metodologia

Soluționarea problemei de identificare a strategiilor optime pentru prelucrarea materialului CFRP a fost realizata printr-o cercetare experimentală. Astfel, caracteristicile de intrare variate in cadrul acestui experiment au fost:

- cele trei strategii de prelucrare: strategia cu decelerare, strategia cu trecere a coltului si strategia cu bucla respectiva
- parametrul de process care este variat in timpul prelucrării: viteza de avans (Q1 avans maxim pentru taiere de separatie 4572 mm/min marcat cu rosu, Q3 avans mediu pentru taiere cu calitate medie, 4136 mm/min marcat cu albastru si Q3 avans scazut pentru taiere de finisare 2299 mm/min marcat cu verde (figura 3.2))
- Caracteristicile profilului de prelucrat: colt interior / exterior; unchiul profilului (30°, 90°, 120°); raza de racordare interioara / exterioara (1,5 mm).

Caracteristicile de calitate urmarite sunt: precizia de prelucrare (abaterea maxima de la profilul programat), calitatea suprafeței prelucrate (rugozitatea) si timpul de prelucrare.

Pentru acest studiu a fost dezvoltata epruveta din figura 1.2 care contine toate variabilele de intrare urmarite.

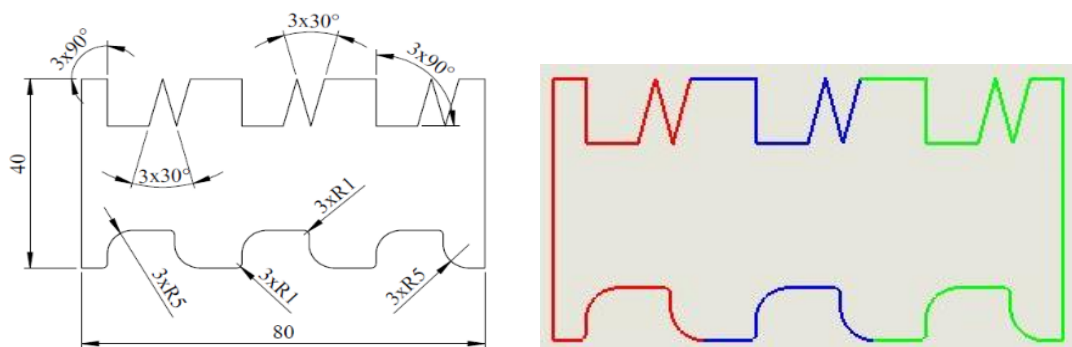


Fig. 1.2 Profilul epruvetelor utilizate

Pentru realizarea acestor experimente s-a utilizat echipamentul de prelucrare cu jet de apă și agent abraziv OMAX 2626 din dotarea UTCN. In figura 1.3 este ilustrata prinderea semifabricatului in timpul prelucrării. Materialul folosit este material compozit CFRP, cu grosime de 5 mm.



Fig. 1.3 Prelucrarea epruvetelor



Fig. 1.4 Epruveta prelucrata

Fiecare prelucrare a fost repetată de câte 3 ori, realizandu-se 9 epruvete (figura 1.2). Pentru masurarea abaterilor dimensionale a fost utilizat microscopul PG2000, iar pentru masurarea rugozității suprafețelor s-a folosit rugozimetrului Mitutoyo, model SJ-201.

Rezultate

Timpul de prelucrare este un aspect foarte important in cazul acestei tehnologii, dat fiind faptul ca minutul de taiere costa intre 1 si 3 euro. Astfel, se urmareste obtinerea celui mai mic cost de prelucrare prin optimizarea strategiilor de prelucrare. In figura 1.5 este ilustrata variatia vitezei de avans de-a lungul conturului prelucrat, cu rosu sunt reprezentate zonele unde se utilizeaza avansul scazut, iar albastru reprezinta zonele taiate cu avansul programat.

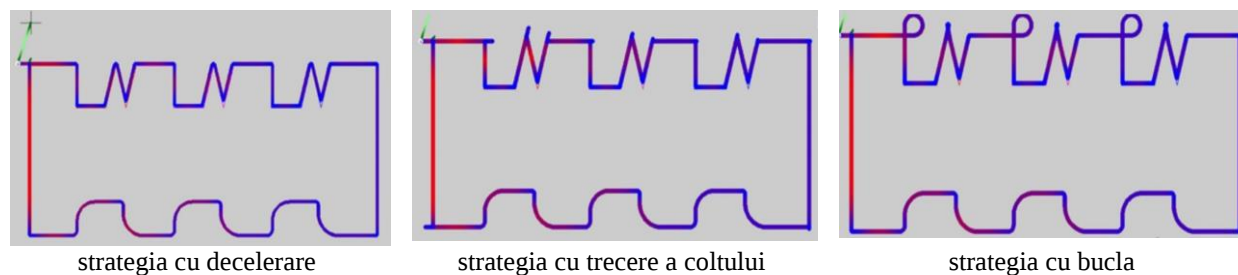


Fig. 1.5 Timpul de prelucrare pentru cele trei strategii

Timpul de prelucrare obtinut in cazul acestei epruvete a fost: 0.553 min pentru strategia cu decelerare, 0.577 min pentru strategia cu trecere a coltului, respectiv 0.607 min pentru strategia cu bucla. Se poate concluziona ca strategia cea mai eficienta din punct de vedere al timpului de prelucrare este strategia cu decelerare. Cu toate ca nu este o diferenta mare intre strategii, pentru prelucrarea unei piese cu dimensiuni mari si complexitate ridicata o strategie bine aleasa poate reduce cu pana la 10% costul prelucrării.

Precizia de prelucrare este o caracteristica careia i se acorda o atentie deosebita, pentru ca abaterea dimensionala este impusa de client prin tolerantele de pe desenul de executie al piesei. Astfel, se urmareste fabricarea piesei in timpul cel mai scurt, respectandu-se conditiile de calitate impuse pe desen.

Un alt aspect analizat este precizia de prelucrare a colturilor, deoarece jetul de apa ramane in urma fata de capul de taiere. Acest fenomen este rezolvat prin utilizarea celor trei strategii de prelucrare.

In figura 1.6 sunt ilustrate caracteristicile dimensionale urmarite in prelucrarea colturilor exterioare. Fenomenul care apare este acela de rotunjire a colturilor.

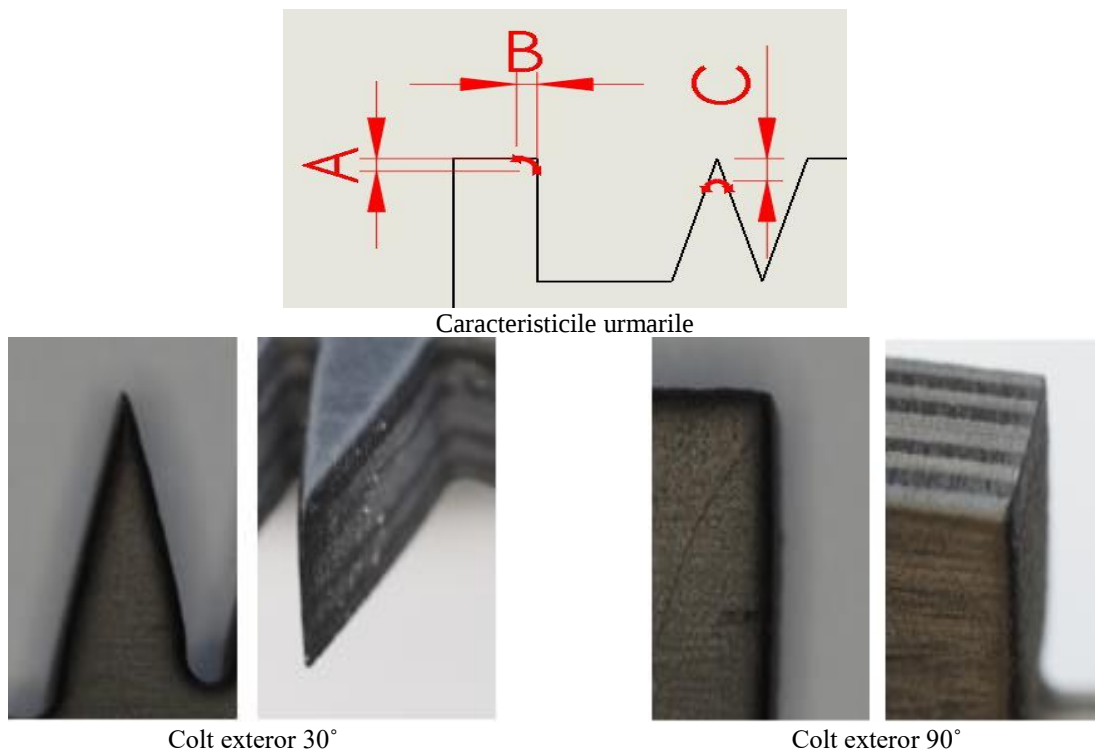


Fig. 1.6 Caracteristicile colturilor exterioare

Analizand abaterea dimensionala maxima rezultata in cazul prelucrarii colturilor exterioare (figura 1.7) au fost observate urmatoarele aspecte:

- Precizia cea mai buna de prelucrare a fost obtinuta cu ajutorul strategiei cu bucla (abatere - 0.02 mm), urmata de strategia cu trecere a coltului (abatere -0.04 mm), iar in cazul strategiei cu decelerare s-a obtinut precizia cea mai scazuta (abatere -0.07 mm).
- Analizand influenta vitezei de avans, s-a observat ca odata cu cresterea vitezei de deplasare a jetului (pana la 4572 mm/min), precizia de prelucrare creste.

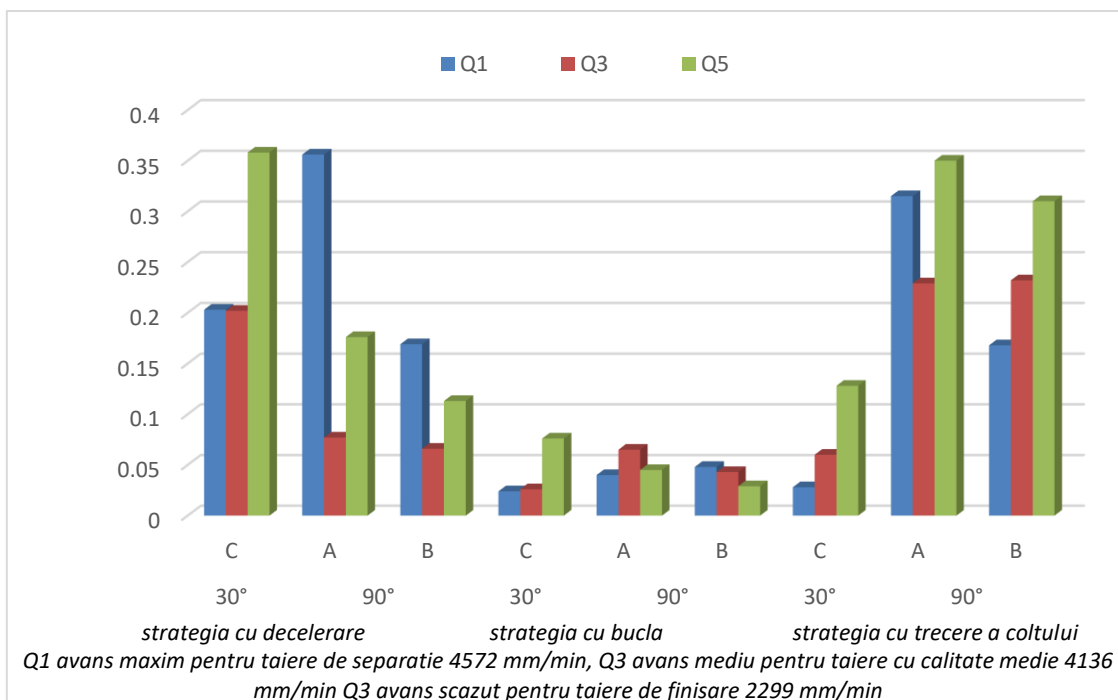
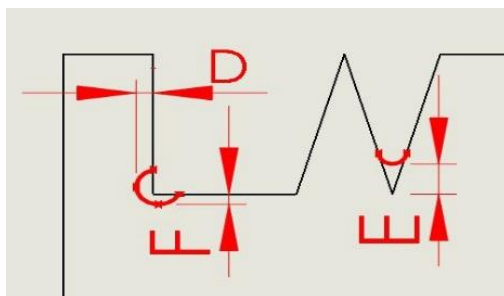


Fig. 1.7 Analiza prelucrării colturilor exterioare

Astfel, pentru creșterea preciziei de prelucrare a pieselor din material compozit tăiate cu jet de apă se recomandă strategia cu buclă și utilizarea unei viteze de avans mare.



Caracteristicile urmarile



Colt interior 30°



Colt interior 90°

Fig. 1.8 Analiza prelucrării colturilor interioare

In cazul colturilor interioare se poate utiliza doar strategia de prelucrare cu decelerare, deoarece celelalte nu pot fi aplicate in acest caz. Analizand abaterea dimensionala maxima rezultata in cazul prelucrarii colturilor exterioare au fost observate urmatoarele aspecte (figura 1.8):

- In cazul unghiurilor drepte sau ascutite interioare apare un adaos de material pe care nu il putem indeparta si anume distanta de la colt pana la jetul de prelucrare, aproximativ 0.2-0.6 mm. Aceasta abatere dimensionala se datoreaza faptului ca avem de prelucrat un colt ascutit interior cu o scula rotunda.
- Analizand viteza de avans, s-a observat ca odata cu cresterea vitezei de avans (de la 2299 la 4572 mm/min), precizia de prelucrare creste.

Astfel, pentru prelucrarea colturilor interioare singura strategie de prelucrare este strategia cu decelerare, iar pentru imbunatatirea preciziei se recomanda scaderea diametrului jetului abraziv, respectiv cresterea vitezei de avans.



Raza exteroara 1mm

Raza exteroara 5mm

Raza interioara 1mm

Raza interioara 5mm

Fig. 1.9 Analiza prelucrarii razelor exterioare si interioare

Si in cazul prelucrarii razelor exterioare si interioare se poate utiliza doar strategia cu decelerare. Analizand abaterea dimensionala maxima rezultata (figura 1.9) a fost observat faptul ca odata cu cresterea vitezei avans (de la 2299 la 4572 mm/min), abaterea dimensionala scade plana la -0.02 mm in cazul colturilor exteroare si plana la -0.08 mm in cazul colturilor interioare.

1.2 Cercetari privind optimizarea strategiilor dupa care jetul intra si iese din taiere

In procesul de taiere cu jet de apa si agent abraziv a conturilor complexe, jetul abordeaza conturul intr-un punct sau dupa o tangenta. In acel moment apare o suprataiere, indepartandu-se material din piesa finala, asa cum se poate vedea in figura 1.10. Acest fenomen nu reprezinta numai

o abatere dimensională de profil piesei, ci poate constitui un concentrator de tensiune, de unde piesa s-ar putea fisura în timpul funcționării.

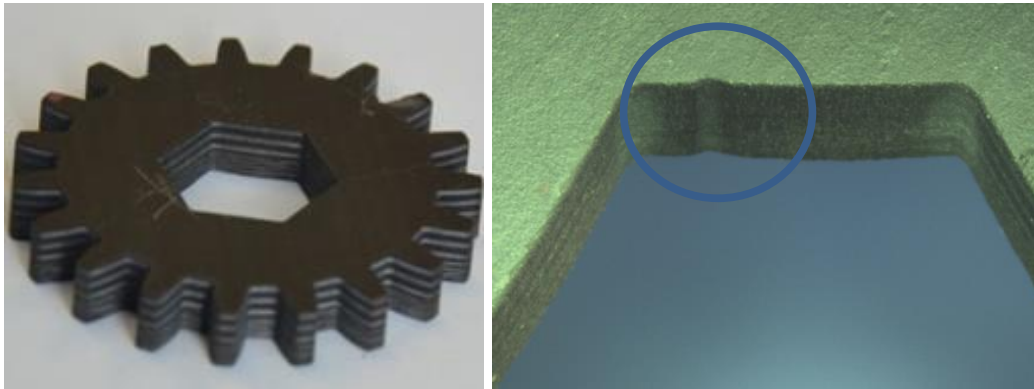


Fig. 1.10 Abatere dimensională de profil datorată suprațierii

În literatura de specialitate au fost identificate mai multe strategii prin care jetul poate aborda profilul. Cele mai des întâlnite sunt: *Intrare / Iesire după o tangentă* respectiv *Intrare / Iesire într-un punct*, figura 1.11.

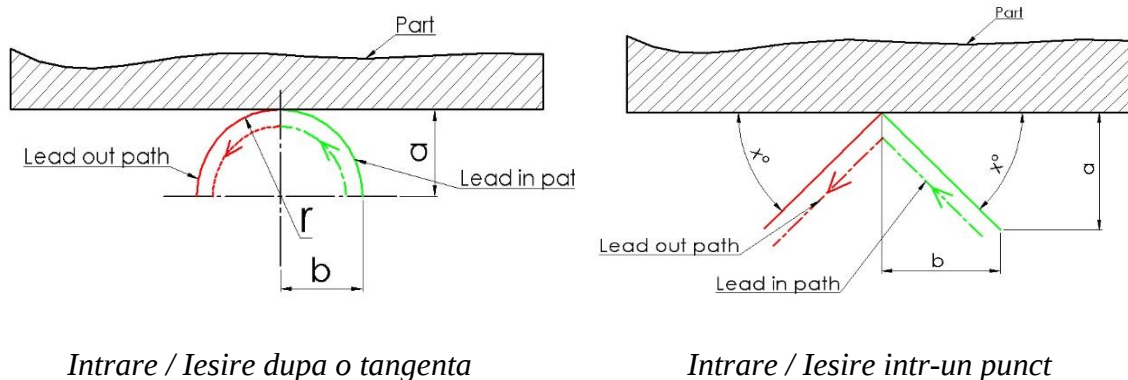


Fig. 1.11 Strategii prin care jetul abordează profilul

Materialele compozite se prelucerează relativ ușor prin tăiere cu jet de apă, în comparație cu alte materiale cum ar fi metale, marmura etc. Practic, jetul abraziv erodează MC într-un timp scurt, pe de altă parte jetul de prelucrare nu este o scula rigidă, el are inerție și se mișcă de o parte și de alta a axei lui. Din aceste considerații pentru a aborda corect conturul de ieșire este necesară alegerea strategiei de prelucrare corectă și a parametrilor optimi.

Metodologia

Pentru identificarea strategiei si a parametrilor optimi utilizati in abordarea profilelor pieselor din material compozit s-a realizat un studiu experimental. Astfel, in cadrul cercetarilor au fost analizate cele doua strategii variindu-se parametri dupa cum urmeaza:

- *Intrare / Iesire dupa o tangenta*: Parametrul geometric variat a fost raza arcului de cerc r : 1; 3; 5 mm, iar parametrul de proces variat a fost: viteza de avans: Q1: 4572 mm/min; Q2: 4572 mm/min; Q3: 4136 mm/min; Q4: 2971 mm/min Q5: 2299 mm/min.
- *Intrare / Iesire intr-un punct*: Parametrul geometric variat a fost unghiul α : 5° ; 45° ; 85° , iar parametrul de proces variat a fost: viteza de avans cu aceiasi parametri ca si la prima strategie.

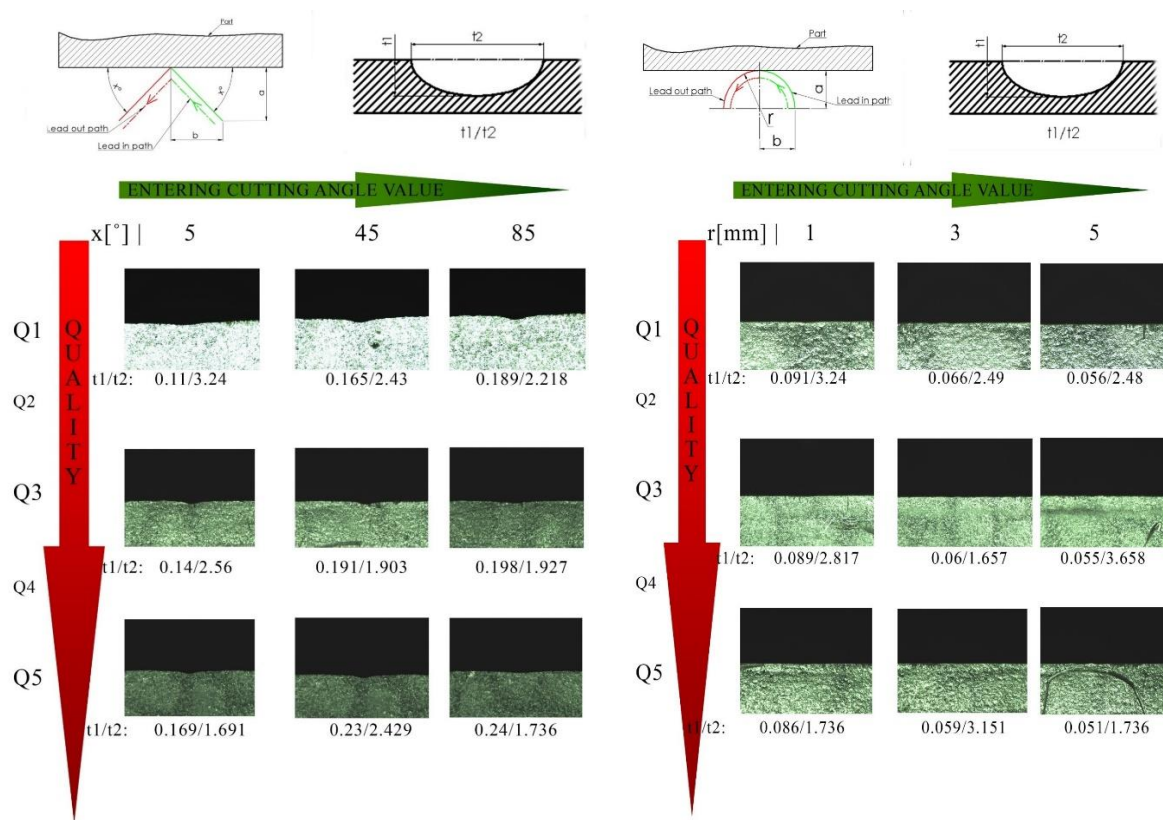
Experimentul a fost realizat in laboratorul UTCN, utilizand-se echipamentul de taiere cu jet de apa Omax 2626. Parametri de proces mentinuti constanti au fost: materialului CFRP de 3 mm grosime, presiunea 350 Mpa, debit de abraziv 0.4590 kg/min, respectiv stand-off distance 1 mm. Masurarea epruvetelor s-a realizat cu ajutorul microscopului PG2000, iar rezultatele sunt prezentate in figura 1.12.

Rezultatele acestui studiu pot fi sintetizate astfel:

In cazul strategiei *Intrare / Iesire intr-un punct* s-a observat ca :

- Prin scaderea valorii unghiului de atac de la 85° la 5° , adancimea suprataierii scade de la 0.24 pana la 0.11 mm.
- Prin cresterea vitezei de avans de la Q5 2299 la Q1 4572 mm/min s-a obtinut o scadere a adancimii sprataierii de la 0.169 pana la 0.11 mm.

Astfel, in cazul acestei strategii de prelucrare, pentru reducerea abaterii dimensionale de profil, datorate acestei suprataierii se recomanda scaderea unghiului de atac (5°) concomitent cu cresterea vitezei de avans (4572 mm/min).



Intrare / Iesire intr-un punct

Intrare / Iesire dupa o tangenta

Fig. 1.12 Epruvetele fabricate

In cazul *Intrare / Iesire dupa o tangenta* s-a observat ca :

- Crescand raza arcului de cerc dupa care jetul abordeaza conturul de la 1 mm la 5 mm, adancimea sprataierii scade de la 0.091 pana la 0.051 mm.
- Prin cresterea vitezei de avans de la Q5 2299 la Q1 4572 mm/min s-a observat ca adancimea sprataierii scade de la 0.056 pana la 0.051 mm.

Pentru strategia *Intrare / Iesire dupa o tangenta* pentru reducerea abaterii dimensionale de la profil se recomanda cresterea razei arcului de cerc dupa care jetul abordeaza conturul (5 mm) si cresterea vitezei de avans (4572 mm/min).

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

Realizarea standului de măsurare / analiză a emisiilor acustice pentru procesul de tăiere cu jet de apă

Prelucrarea cu jet de apă și agent abraziv este un procedeu de prelucrare cu o complexitate ridicată, datorită faptului că utilizează o sculă de prelucrare fluidă, cu o traiectorie dificil de controlat. Pentru a putea controla precis capacitatea jetului de erodare a materialului este necesară o monitorizare în timp real a procesului.

În procesul de taiere pot apărea modificări ale caracteristicilor jetului, uzura capului (duză + tub de focalizare) de taiere, modificare a presiunii (uzura pompei), modificarea debitului de abraziv datorită unor impurități. Toate aceste fenomene duc la pierderea sau diminuarea capacității de prelucrare a sistemului, rezultând o calitate scăzută a suprafeței, o precizie dimensională scăzută și apariția delaminării în cazul materialelor compozite.

Una din cele mai performante metode de analiză și monitorizare a diferitelor procese este aceea bazată pe emisia acustică generată. Măsurarea și interpretarea acestei emisii poate oferi informații importante despre fenomenele fizice care se petrec în timpul procesului. 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.

Standul experimental de măsurare, achiziție și analiză a emisiilor acustice, generate în procesele de fabricație pe mașina de tăiere cu jet de apă, este prezentat în figura 1.13.

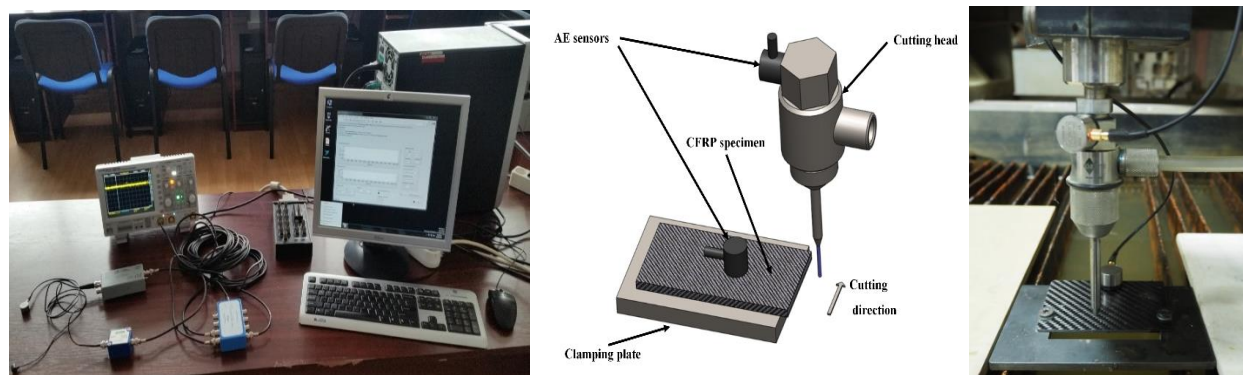


Fig. 1.13 Standul de măsurare / analiză a emisiilor acustice

Sistemul de monitorizare a emisiei acustice este constituit din: Osciloscop digital Hameg HMO2022 – utilizat pentru măsurare, analiză și achiziții de date; Placa de achiziții NI PCI 6110 4 AI (12-Bit, 5 MS/s/ch), 2 AO, 8 DIO – utilizată pentru măsurare, analiză și achiziții de date; trei senzori acustici: 2 x Senzor AE Vallern cu frecvență: 100 - 900 kHz și senzor AE Bangos cu frecvență: 100 - 400 kHz; amplificatoare de semnal: amplificator MITRAS 0/20/40 db și amplificator BANGOS 40/60 db; Sursa de alimentare AE 28V Fantom Power; WorkingStaion HP. Programele utilizate pentru achiziția și analiza datelor experimentale sunt LabVIEW si Diadem.

Analiza semnalului AE

În figura 1.14 este prezentată reprezentarea grafică în amplitudine [V] și timp [s] a semnalului AE achiziționat de pe semifabricat. Astfel semnalul AE achiziționat în timpul tăierii epuvei poate fi împărțit în trei faze: angrenarea jetului abraziv în tăiere, faza de tăiere propriu-zisă și ieșirea jetului din material.

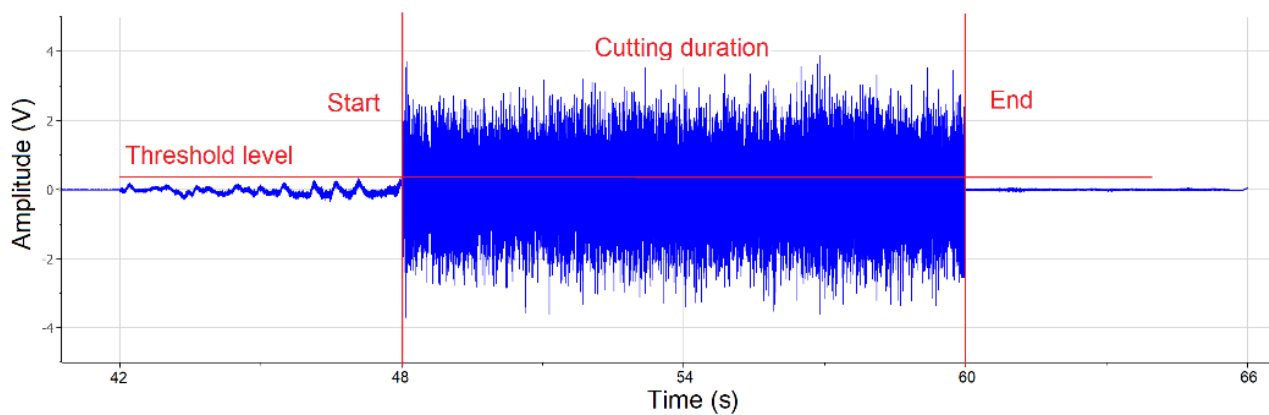


Fig. 1.14 Reprezentarea grafică în amplitudine [V] și timp [s] a semnalului AE achiziționat de pe semifabricat.

În figura 1.14 se poate observa că semnalul este continuu în zona de tăiere efectivă și apar două varfuri la intrarea și ieșirea jetului din tăiere. În studierea influenței vitezei de avans asupra calității suprafeței se va analiza semnalul achiziționat în zona de tăiere continuă, nu și semnalele din zona de intrare și ieșire a jetului. Pentru a putea face o comparație între caracteristicile semnalelor achiziționate s-a calculat amplitudinea RMS (Root Mean Square) [V] a semnalului din zona de tăiere continuă. Astfel, s-a observat că prin creșterea vitezei de avans de la 50 până la 4000 mm/min amplitudinea RMS a semnalului crește de la 0.309 până la 1.2 V.

Pentru a obtine mai multe informatii despre semnalul AE, a fost realizata o analiza in domeniul frecventei. Domeniul de frecventa a fost obtinut cu ajutorul transformatei fourier FFT (Fast Fourier Transform). Pentru a identifica domeniul de frecventa a fost studiat PSD (Power Spectral Density) a semnalului AE. In aceasta transformare s-a utilizat metoda Hanning. Domeniul de frecventa analizat este 100 - 900 kHz, fiind domeniul de frecventa in care lucreaza senzorul utilizat.

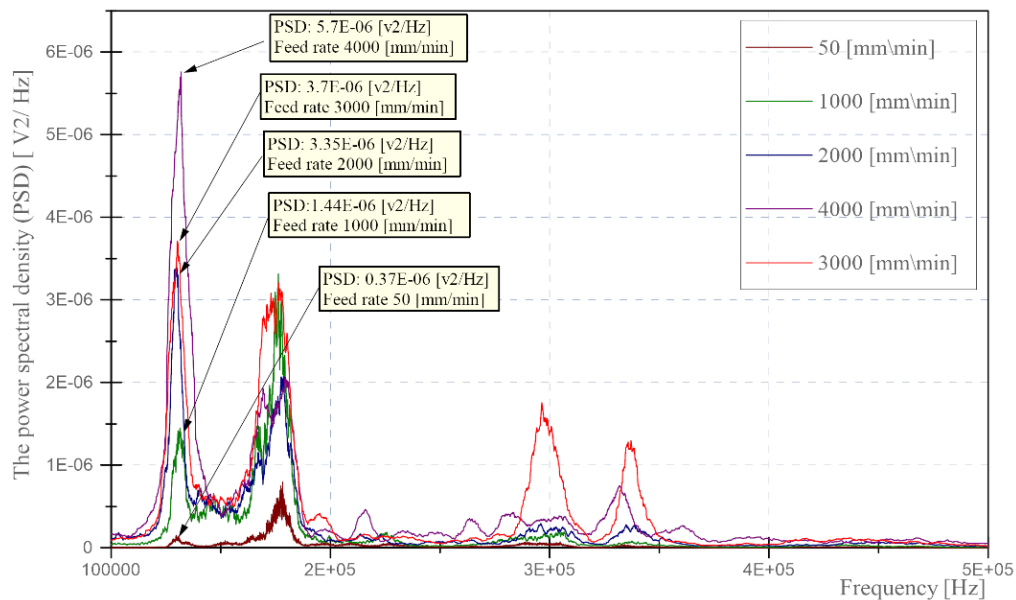


Fig. 1.15 PSD (Power Spectral Density) a semnalelor AE.

In figura 1.15 este prezentata influenta vitezei de avans asupra puteri spectrale PSD. O data cu cresterea vitezei de avans de la 50 pana la 4000 mm/ min, puterea PSD creste de la 0.37×10^{-6} pana la $5.7 \times 10^{-6} \text{ V}^2/\text{Hz}$. 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. Astfel, pentru monitorizarea taierii cu jet de apa a CFRP este suficient sa se analizeze acest domeniu de frecventa.

Analiza influentei vitezei de avans asupra calitatii suprafetei, corelata cu emisia acustica AE

Pentru studierea influentei parametrului viteza de avans asupra calitatii suprafetei taiate, topografia suprafetelor a fost scanata cu ajutorul microscopului NanoFocus 3D. In reprezentarea grafica din fugura 1.16 se poate vedea dependenta dintre parametrul de proces, viteza de avans si

rugozitatea suprafeței Ra în cele trei zone. Plaja de variație a vitezei de avans a fost 50 – 4000 mm/min, presiunea 350 MPa și debitul de abraziv 0.45 kg/min.

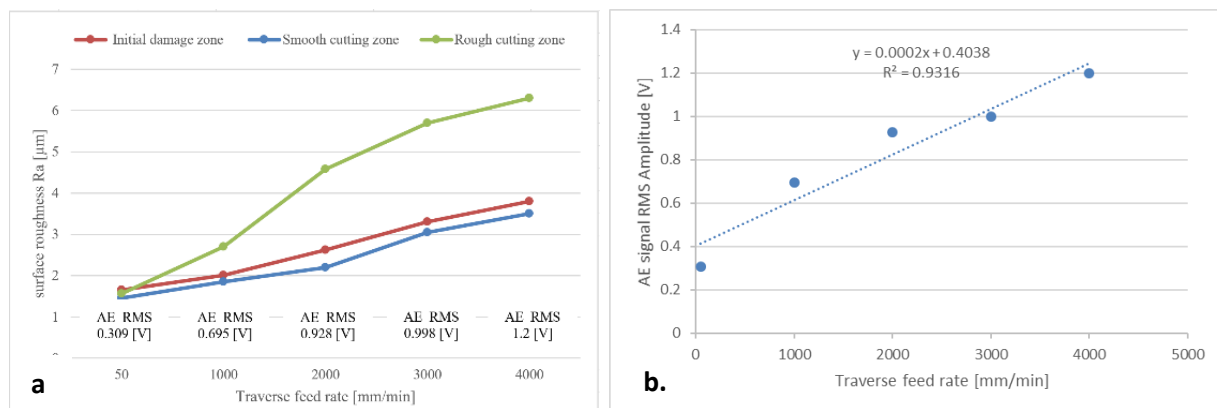


Fig. 1.16 Influența vitezei de avans asupra rugozității suprafeței corelate cu amplitudinea semnalului AE.

Asa cum se observa în figura 4.a rugozitatea suprafeței afectate inițial (reprezentată cu linie roșie) crește de la 1.65 până la 3.8 μm o dată cu creșterea vitezei de avans între 50 și 4000 mm/min. În cazul suprafeței netede (reprezentată cu linie albastră) s-a obținut cea mai bună rugozitate, aceasta crescând de la 1.46 până la 3.5 μm . În zona suprafeței rugoase (reprezentată cu linie verde) s-a observat cea mai mare variație a calității suprafeței, o dată cu creșterea vitezei de avans rugozitatea suprafeței Ra crește de la 1.56 până la 6.3 μm . În figura 3.16 b este ilustrată variația amplitudinii RMS a semnalului acustic AE în funcție de viteză de avans. Astfel, crescând viteză de avans de la 50 la 4000 mm/min, amplitudinea RMS a semnalului acustic AE crește aproape liniar de la 0.309 până la 1.2 [V].

Modelare matematică a AE

Procesul de tăiere cu jet de apă și agent abraziv este un proces cu o complexitate ridicată. Pentru a putea realiza o monitorizare on line a procesului utilizând emisiile acustice, este necesară utilizarea unei valori calculate analitic a caracteristicii emisiei acustice și anume amplitudinea semnalului acustic AE ($A_{AE\ signal}$). Astfel $A_{AE\ signal}$ calculată va fi comparată cu $A_{AE\ signal}$ măsurată în timpul tăierii pentru a detecta eventualele probleme din proces: modificarea parametrilor de lucru (presiune, debit de abraziv), uzura sistemului și chiar apariția delaminării materialului.

Acest proces se dovedește a fi dificil de modelat matematic, datorită fenomenelor fizice ce au loc în timpul acestei prelucrări și a numărului mare de parametri care intervin, din acest

considerent pentru modelarea procesului s-a utilizat regresia matematica.

Modelul matematic pentru calculul $A_{AE \text{ signal } CH}$ [V] – amplitudinea semnalului acustic masurat pe capul de taiere în cazul materialului CFRP este urmatorul:

$$A_{AE \text{ signal } CH} = c_1 + c_2 \cdot P + c_3 \cdot V + c_4 \cdot Ma + c_5 \cdot T + c_6 \cdot P \cdot V + c_7 \cdot P \cdot Ma + c_8 \cdot P \cdot T + c_9 \cdot V \cdot Ma + c_{10} \cdot V \cdot T + c_{11} \cdot Ma \cdot T + c_{12} \cdot P^2 + c_{13} \cdot V^2 + c_{14} \cdot Ma^2 + c_{15} \cdot T^2$$

Tabelul 1.1 Coeficienții modelului matematic:

Coeficientul	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Valoarea	2.69	0.56	-0.22	0.26	-0.01	0.22	6.250E-003

Coeficientul	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
Valoarea	-0.049	-0.011	-0.029	-0.021	-0.21	-0.023	-0.13	+0.013

Modelul matematic pentru calculul $A_{AE \text{ signal } WP}$ [V] – amplitudinea semnalului acustic masurat pe piese în cazul materialului CFRP este urmatorul:

$$A_{AE \text{ signal } WP} = c_1 + c_2 \cdot P + c_3 \cdot V + c_4 \cdot Ma + c_5 \cdot T + c_6 \cdot P \cdot V + c_7 \cdot P \cdot Ma + c_8 \cdot P \cdot T + c_9 \cdot V \cdot Ma + c_{10} \cdot V \cdot T + c_{11} \cdot Ma \cdot T + c_{12} \cdot P^2 + c_{13} \cdot V^2 + c_{14} \cdot Ma^2 + c_{15} \cdot T^2$$

Tabelul 1.2 Coeficienții modelului matematic:

Coeficientul	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Valoarea	0.38	0.15	0.03	-0.11	0.008	0.11	-0.04

Coeficientul	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
Valoarea	0.012	+7.56E-003	-0.021	-0.029	-0.16	0.054	0.14	-0.086

Unde: $A_{AE \text{ signal } CH}$ [V] – amplitudinea semnalului acustic masurat pe capul de taiere; $A_{AE \text{ signal } WP}$ [V] – amplitudinea semnalului acustic masurat pe piesa; V [mm/min] – viteza de avans; P [bar] – presiunea; Ma [kg/min] – debitul de abraziv; T [mm] – grosimea de taiere .

Modelele matematice pentru calculul parametrilor optimi de proces au fost testate și pe mașina Tehnocut din dotarea firmei Trambus, iar rezultatele au fost similare cu cele de pe mașina Omax, pentru că au aceleași dimensiuni ale sistemului de tăiere.

Dezvoltarea programului de monitorizare online

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, figura 1.17. Astfel 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.

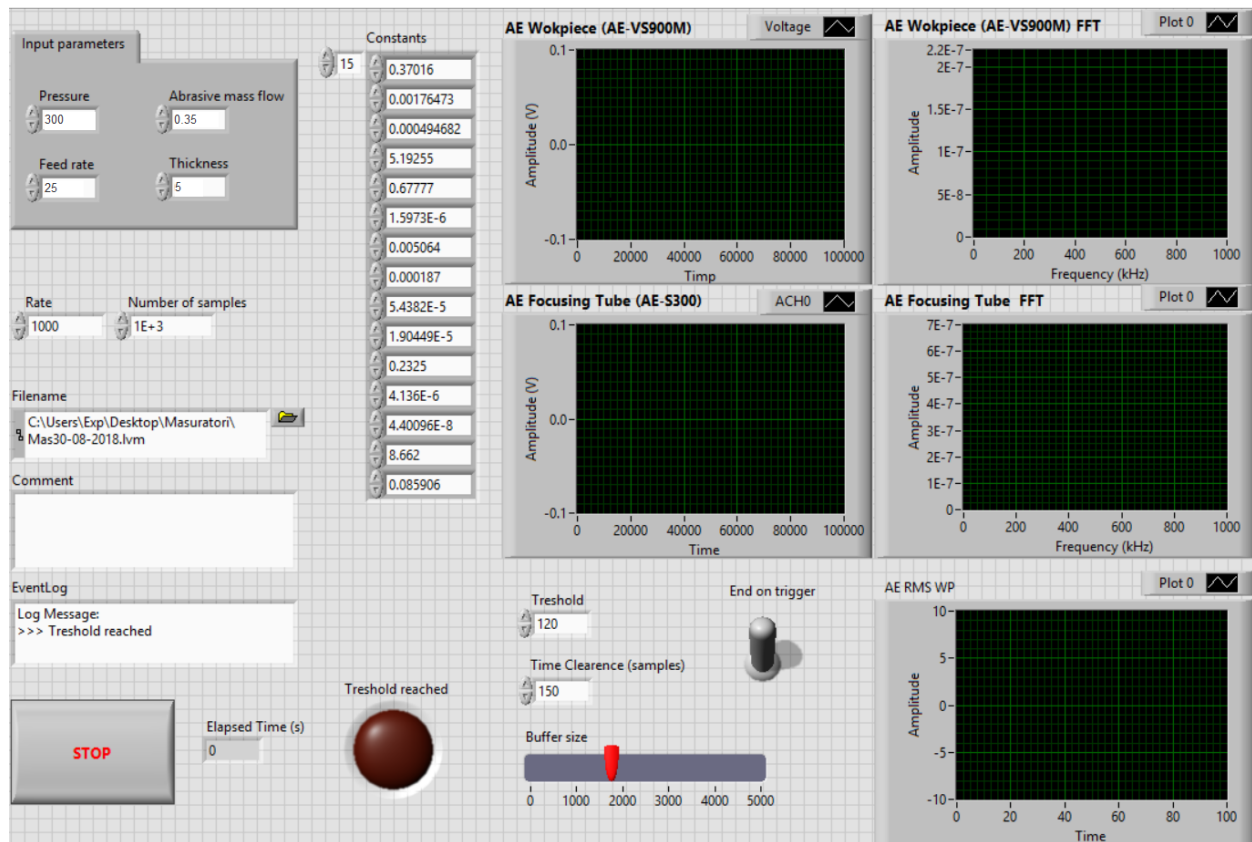


Fig. 1.17 Interfata programului de monitorizare online a procesului

2. 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. Principalele caracteristici ale acestor materiale sunt: rezistenta termica si la coroziune, greutate redusa, grad de dilatare termica si greutate scazuta, respectiv caracteristici mecanice foarte bune.

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.

Materialul compozit armat cu fibre de sticlă destinat reconstrucției defectelor osoase craniene este constituit din 20-70% rășina de impregnare (*amestecul de oligomeri dimetacrilici Bis-GMA_{1,2} si uretan dimetacrilatul UEDMA -; monomeri de dilutie - trietilenglicol dimetacrilatul (TEGDMA) si 2-hidroxietil metacrilatul (HEMA)*) și 30-80% țesătura de sticlă E (*Twill 200 g/m² sau 300 g/m²*).

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 usual 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. Astfel s-a pus problema identificarii unei tehnologii de prelucrare care sa nu incalzeasca zona de prelucrare, dar in acelasi timp sa rezulte precizia dimensionala si o calitate buna a suprafetei.

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.

Identificarea parametrilor optimi de proces pentru prelucrarea materialelor compozite biocompatibile prin TJA

Prima etapa in acest studiu a fost fabricarea lotului de epruvete din material compozit biocompatibil pentru testare. Astfel, s-au fabricat patru placi cu dimensiunea de 250 x 100 mm cu grosime de 2, 3, 4 si 5 mm. Pentru fabricarea epruvetelor s-a utilizat o matrita metalica plana, iar polimerizarea s-a facut in cuptor la 100 °C. asa cum este prezentat in figura 2.1.



Fig. 2.1 Fabricarea epruvetelor din MC

Problema care apare in timpul prelucrării unui nou material prin taiere cu jet de apa este aceea de identificare a parametrilor optimi de proces. In fabricatia implanturilor sau a pieselor de precizie se impune obtinerea unei calitati a suprafetei cat mai buna si o precizie dimensionala cat mai ridicata.

Astfel, s-a studiat influența asupra procesului, a următorilor parametri de intrare: presiunea jetului, viteza de avans, distanța dintre capul de prelucrare și semifabricat și debitul de abraziv. Parametri de ieșire care au fost studiatii sunt: rugozitatea suprafeței prelucrate și a preciziei de prelucrare. Pentru a obtine date concludente, planificarea experimentelor s-a realizat utilizandu-se metoda central compozitionala. Planificarea experimentelor, procesarea datelor si analiza rezultatelor s-a realizat cu ajutorul softului Design Expert.

Pentru identificarea parametrilor optimi de proces se impune o modelare matematica a procesului. Datorita imposibilitatii de a modela analitic procesul pe baza fenomenelor fizice ce au loc, s-a realizat o modelare matematica cu ajutorul regresiei matematice si anume metoda suprafeței de răspuns. Metodologia acestei metode este o combinație de matematică și de tehnici statistice pentru obținerea modelelor empirice.

Prin urmare s-a pornit de la forma generală a unor funcții pentru obținerea modelelor matematice:

$$R_a = f(V, P, h, S_d)$$

unde: R_a – rugozitatea suprafeței prelucrate, μm ; V – viteza de avans, mm/min ; P – presiunea, bar ; h – grosimea materialului prelucrat, mm ; S_d – distanța dintre capul de prelucrare și semifabricat, mm .

Variabilele independente au fost variate între: Presiunea: 100 - 350 MPa; Viteza de avans: 500 - 4500 mm/min ; Distanța dintre capul de prelucrare și semifabricat: 0.5 - 5 mm ; Grosimea materialului prelucrat: 2 - 5 mm .

Pentru realizarea acestor experimente s-a utilizat echipamentul de prelucrare cu jet de apă și agent abraziv OMAX 2626 din laboratorul UTCN. Pentru eliminarea erorilor introduse de uzura sistemului de taiere s-a utilizat o duză nouă din diamant de 0.35 mm și un tub de focalizare de 0.762 mm . Din placile din MC s-au debitat prin taiere cu jet de apă epruvetele pentru a putea fi fixate în dispozitivul de fixare, figura 2.3.



Fig. 2.2 Epruvete utilizate

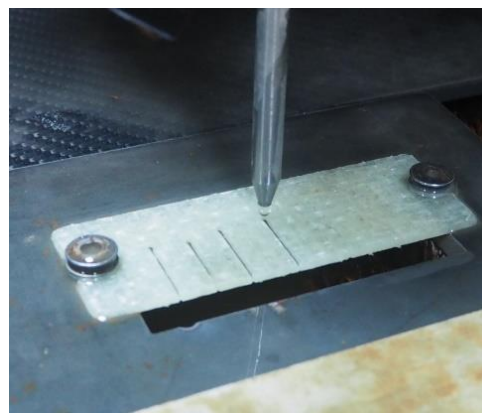


Fig. 2.3 Realizarea prelucrării

Fiecare taietura a fost repetată de 5 ori, rezultând un număr de 150 de prelucrări. Măsurarea caracteristicilor dimensionale s-a realizat cu ajutorul microscopului Mitutoyo Toolmaker TM505. Calitatea suprafeței a fost analizată cu ajutorul rugozimetrului Mitutoyo și a sistemului de scanare Keyence.

Analiza calității suprafeței prelucrate

Calitatea suprafeței implantului din material compozit biocompatibil este caracteristica de calitate careia i-se acordă atenția cea mai mare. Astfel cu cât rugozitatea este mai mică, cu atât

suprafata este mai neteda iar riscul de a ramane impuritati in microneregularitatile rezultate in urma prelucrarii scade.

Utilizand datele obtinute experimental s-a analizat influenta principalilor parametri de proces asupra rugozitatii si topografiei suprafetei prelucrate. Rugozitatea suprafetei în cazul pieselor tăiate cu jet de apă se măsoară în trei zone: zona afectată inițial, zona netedă și zona rugoasă. În acest caz s-a studiat zona rugoasa, zona în care calitatea suprafetei este cea mai scazuta.

Asa cum este prezentat în figura 2.4 o data cu cresterea presiunii de la 100 la 350 MPa se observa o scadere a rugozitatii suprafetei prelucrate de la 6.5 la 3.8 μm . Aceasta variatie a fost obtinuta mentinand constanti parametrii: viteza de avans de 500 mm/min, grosimea materialului de 3 mm și distanța dintre capul de prelucrare și semifabricat de 1 mm.

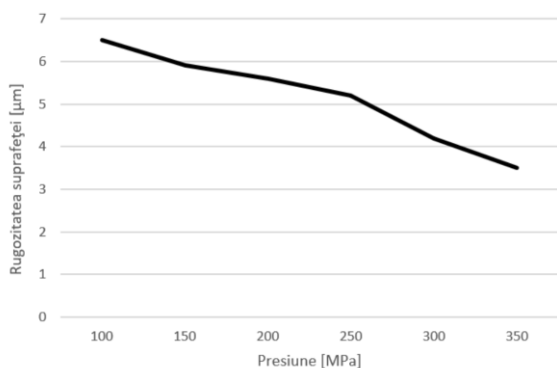


Fig. 2.4 Influența presiunii asupra rugozității suprafetei prelucrate

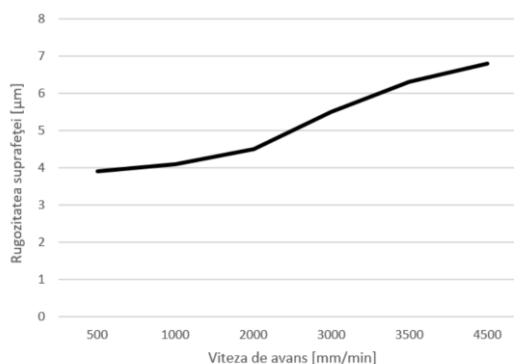


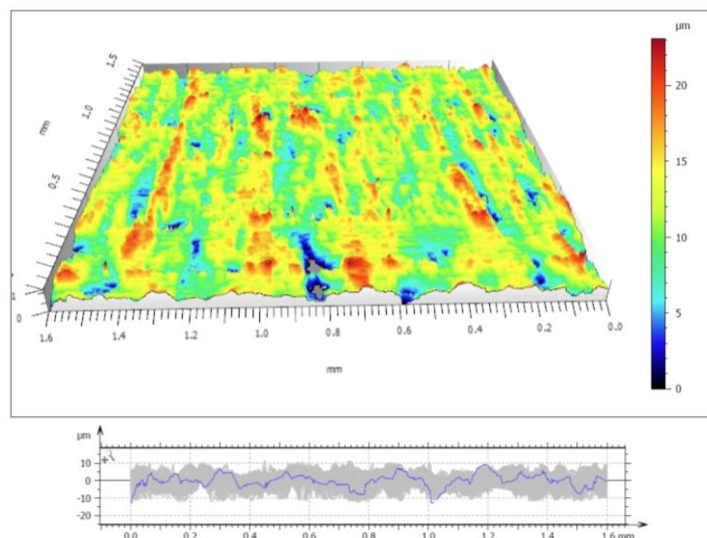
Fig. 2.5 Influența vitezei de avans asupra rugozității suprafetei prelucrate

Un alt parametru de proces cu o puternică influență asupra calitatii suprafetei este viteza de avans (figura 2.5). Crescând viteza de avans de la 500 la 4500 mm/min s-a observat o creștere a rugozitatii suprafetei de la 3.8 la 6.8 μm . Parametrii menținuți constanți fiind: presiunea 350 MPa, grosimea materialului de 3 mm și distanța dintre capul de prelucrare și semifabricat de 1 mm. S-a constatat că grosimea materialului prelucrat și distanța dintre capul de tăiere și semifabricat au o influență mică asupra calitatii suprafetei prelucrate.

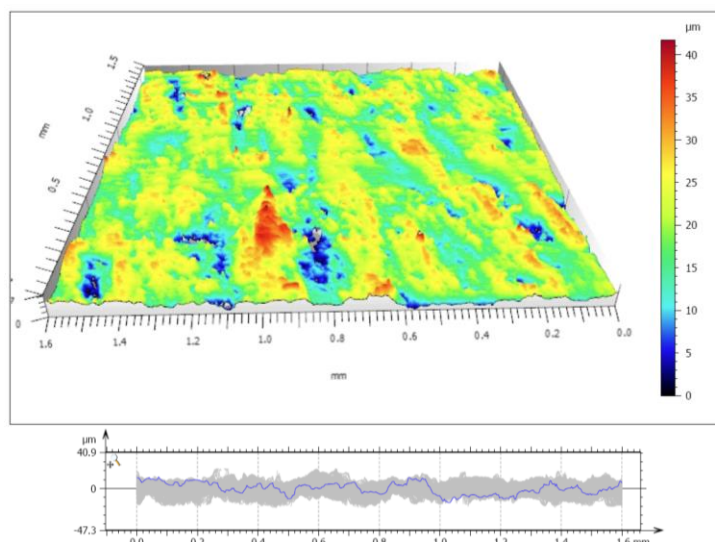
Astfel, pentru a crește calitatea suprafetei se recomandă creșterea presiunii de tăiere și scăderea vitezei de avans.

Utilizând sistemul de scanare optică Keyence s-a obținut topografia suprafetei prelucrate. În figura 2.6 este ilustrată topografia suprafetei MC biocompatibil pentru cele trei zone: zona afectată inițial, zona netedă și zona rugoasă.

zona
afectată
inițial



zona
netedă



zona
rugoasă

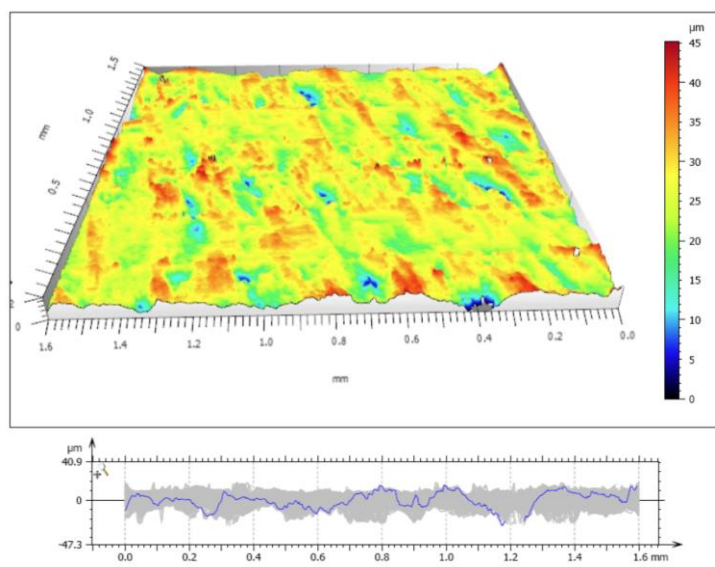


Fig. 2.6 Topografia 3D a suprafeței

Topografia suprafeței taiate este o distribuție de cratere, văi și vârfuri. Distribuția geometriilor întâlnite este una aleatorie, ne fiind una simetrică ca și în cazul proceselor clasice de prelucrare (strunjire, frezare). Suprafața este dominată de văi, generate de muchiile aschietoare ale granulelor abrazive din interior al jetului de tăiere.

Distribuția aleatorie a geometriilor suprafeței se poate vizualiza și în profilul 2D din figura 4.6. Adâncimea maximă a unei văi a fost de $-16\text{ }\mu\text{m}$ și înălțimea maximă a unui vârf ajunge până la $+8\text{ }\mu\text{m}$. Aceste văi nu sunt benefice aplicațiilor medicale, deoarece în interiorul lor pot rămâne impurități, bacterii sau chiar micro-organisme, îngreunând sterilizarea.

Analiza microscopică a suprafeței materialului compozit biocompatibil a arătat că sub acțiunea jetului de tăiere nu a apărut delaminarea nici la nivel microscopic (figura 2.7). Astfel după prelucrare, țesătura din fibră de sticlă a rămas înglobată în rășina de impregnare, ne fiind observate goluri între rășina și țesătura sau desprinderea straturilor.

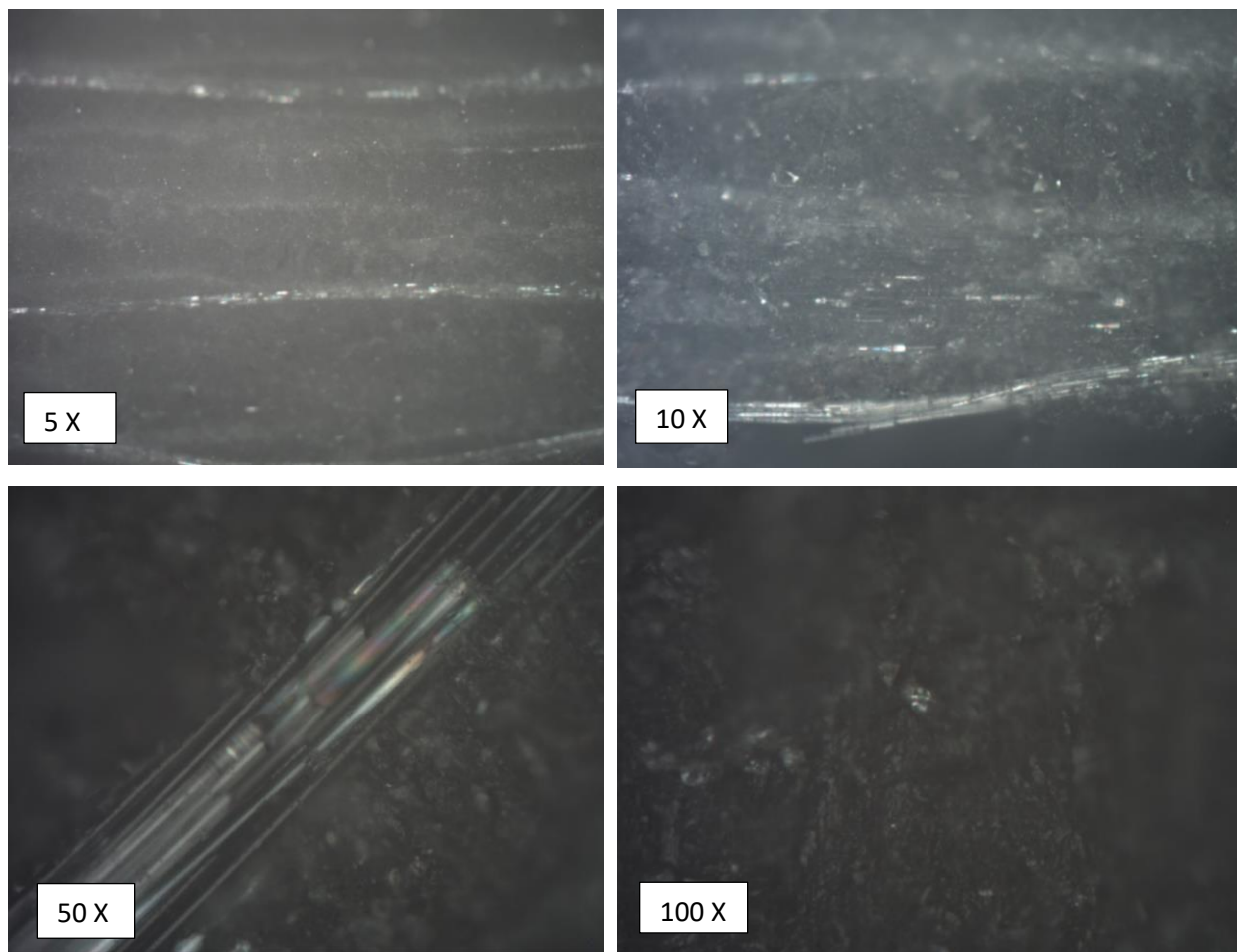


Fig. 2.7 Suprafața materialului compozit biocompatibil prelucrat prin tăiere cu jet de apă și agent abraziv, analizată la microscop

Realizarea modelului matematic pentru calculul rugozitati suprafetei prelucrate

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. In aceasta modelare matematica s-a pornit de la datele obtinute experimental. Prin utilizarea metodei celor mai mici pătrate s-a stabilit tipul de model matematic care poate să descrie cel mai bine relația dintre variabilele dependente (rugozitatea suprafeței) și variabilele independente (presiunea jetului, distanța dintre capul de prelucrare și semifabricat, viteza de avans, grosimea materialului), rezultand un model liniar. Valoarea Statisticii Fischer de 4.05 indică faptul că modelul este semnificativ, iar probabilitate ca valoarea medie a modelului să se situeze în afara intervalului de încredere de 1.8%.

Modelul matematic obținut pentru descrierea rugozității suprafeței prelucrate este următorul:

$$R_a = 8.021 - 0.002 \cdot P - 0.0029 \cdot V + 0.88 \cdot h + 1.81 \cdot S_d + 16.32 \cdot P \cdot V - 0.0005 \cdot P \cdot h + \\ + 13.95 \cdot P \cdot S_d + 13.98 \cdot V \cdot h - 0.0002 \cdot V \cdot S_d - 0.358 \cdot h \cdot S_d$$

Unde: R_a – rugozitatea suprafeței prelucrate, [μm], P - presiunea jetului [MPa], S_d - distanța dintre capul de prelucrare și semifabricat [mm], V - viteza de avans [mm/min], h - grosimea materialului [mm].

In urma experimentelor intreprinse pentru testarea modelului matematic s-a obtinut o diferenta de la 5 pana la 19 % dintre valorile obținute pe cale analitică, utilizând modelul matematic dezvoltate si valorile obținute experimental.

Fabricarea unui implant din materiale compozite biocompatibile prin TJA

Aplicatia pentru care a fost dezvoltat acest material compozit biocompatibil al Universitatii 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 de 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.

Astfel, implantul dezvoltat va fi testat in vivo pe iepuri, masculi, adulti de 3.5 – 4.0 kg din rasa New Zealand White Rabbit in concordanta cu regula celor 3R impusa de Directiva Europeana 63/2010 si Legea 43/2014. Aceasta testare in vivo nu face obiectul proiectului, fiind o cercetare preliminara pentru depunerea unui nou proiect de cercetare.

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. Astfel fisierul obtinut este importat in programul Mimics Research® versiunea 18.0, program cu care este dezvoltat modelul virtual 3D al implantului personalizat. In figura 2.8 este ilustrat modelul 3D al craniului si modelul 3D al implantului care va fi folosit la reconstructia cutiei craniene a iepurelui.

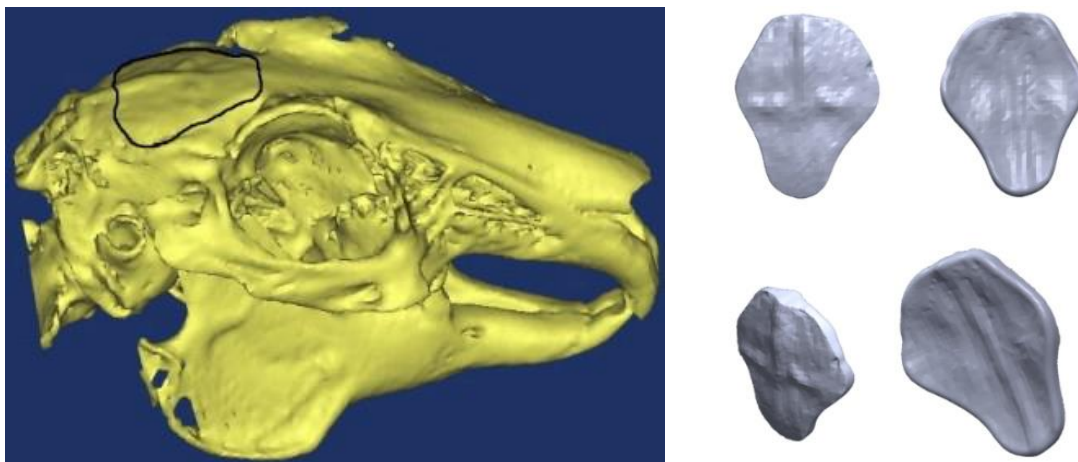
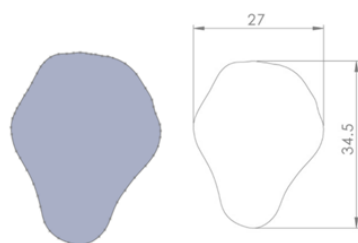
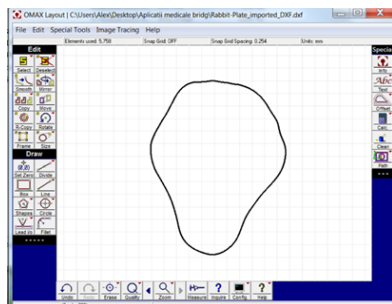


Fig. 2.8 Modelul 3D al implantului

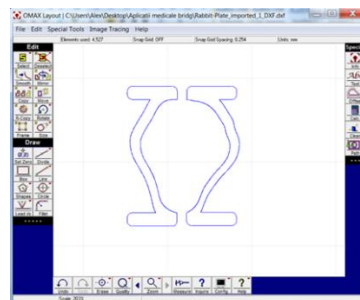
Utilizand modelul 3D al implantului a fost realizata schita 2D pe directie normala, schita care constituie schita de taiere. Aceast operatie a fost realizata cu ajutorul programului de modelare 3D SolidWorks. Conturul obtinut are o forma complexa neregulata, iar dimensiunile de gabarit sunt 27x34.5 mm. Schita astfel obtinuta este salvata in format Dxf.



Schita 2D de taiere



Schita 2D importat in Omax Layout



Completarea schitei cu punctele de fixare

Fig. 2.9 Realizarea schitei 2D de taiere

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. Astfel schita de taiere realizata a fost importanta in programul de desenare Omax Layout. Doarece trebuie taiata o piese 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 piesei i s-au realizat niste punctite de 2 mm, care vor fixa implantul taiat pe semifabricat pana la finalizare taierii.

Introducerea parametrilor de proces, simularea prelucrarii si controlul echipamentului de taiere se realizeaza cu ajutorul programului CAM Omax Make.

In cadrul studiului experimental s-a utilizat centrul de prelucrare cu jet de apa, Omax 2626, din dotarea UTCN. Pentru calculul parametrilor de proces au fost utilizate modelele matematice dezvoltate, urmarindu-se maximizarea calitatii supafetei taiate. Parametri utilizati sunt: grosimea de taiere 3 mm, pressure 350 MPa, avansul 890 mm/min, materialul abraziv Granat Australian cu granulatia 80 mesh, debitul de abraziv 0.450 kg/min, diametrul tubului de focalizare 0.76 mm, diametrul duzei (diamant) 0.35 mm, iar distanta dintre capul de taiere si semifabricat este 1 mm.

Grosimea semifabricatului din MC biocompatibil utilizat a fost de aproximativ 3 mm. In figure 2.10 este ilustrat semifabricatul format in matrita. Semifabricatul a fost fixat pe masa masinii cu bride pe zonele periferice. Timpul de prelucrare a fost de 1.2 min, iar in cadrul experimentului s-au fabricat 10 implanturi. 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 2.10.



Semifabricatul de pornire



Implantul realizat

Fig. 2.10 Implantul fabricat

Pentru evaluarea posibilitatilor de prelucrare a implanturilor prin taiere cu jet de apa, s-a studiat calitatea suprafetei. Pentru masurarea rugozitatii s-a utilizat echipamentul Mitutoyo SJ-210. Suprafata taiata a implantului a fost masurata in trei zone: 1 mm sub muchia superioara (Ra 5.1 μm), in mijlocul suprafetei (Ra 2.9 μm) si 1 mm deasupra muchiei inferioare (Ra 6.3 μm).

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 superiara a fost rotunjita cu o raza de 0.25.

Avizat,

Coordonator,

Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca

Reprezentant legal,

Rector,

Prof.dr.ing. Vasile Topa

Director Proiect,

S.l.dr.ing. Alexandru Popan

Cluj-Napoca, 28.09.2018

Agent economic,

S.C. Trambus S.R.L.

Reprezentant legal,

Administrator,

Ing. Emil Trifu

Responsabil de proiect,

Ing. Emil Trifu