

Raportul stiintific si tehnic,

privind studiile și cercetările efectuate în etapa I/2016, 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 I, conform obiectivelor propuse pentru faza actuală s-au realizat următoarele:

1. Seturi de epruvete din materiale compozite armate cu fibră de carbon;
2. Seturi de epruvete din materiale compozite armate cu fibră de sticlă;
3. Studii experimentale preliminare, privind apariția fenomenului de delaminare, în cazul materialelor compozite armate cu fibră de carbon;
4. Un studiu bibliografic asupra stadiului actual al simulării, prin analiză numerică, a procesului de tăiere cu jet de apă și agent abraziv a materialelor compozite;
5. Propunerea a două teme de licență, cu finalizare în anul 2017:
 - Cercetări privind îmbunătățirea procesului de găurire cu jet de apă și agent abraziv în cazul materialelor compozite armate cu fibră de carbon;
 - Cercetări privind îmbunătățirea calității pieselor din materiale compozite armate cu fibră de carbon, prelucrate prin tăiere cu jet de apă și agent abraziv.
6. Rezultatele preliminare vor fi diseminate prin intermediul paginii web a proiectului, www.premco.utcluj.ro.

Pentru realizarea acestor obiective a fost necesară achiziționarea unor materiale consumabile, precum agent abraziv și materiale compozite, necesare realizării cercetărilor preliminare, conform fișei de cheltuieli.

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

1. Tăierea cu jet de apă a materialelor compozite

Deodată cu apariția unor noi materiale compozite, dificil sau chiar imposibil de prelucrat prin tehnologiile clasice, a apărut necesitatea unor noi tehnologii de prelucrare.

Tăierea cu jet de apă (TJA) este o tehnologie care se remarcă prin faptul că este o soluție potrivită pentru prelucrarea materialelor compozite (MC), datorită unor caracteristici precum: acționarea fără o încălzire notabilă a materialului de prelucrat; forțele generate în timpul prelucrării sunt neglijabile, acționând fără modificarea caracteristicile materialelor prelucrate și nu în ultimul rând, este o soluție pentru prelucrarea oricărui tip de material [POP'11].

Prin termenul general de TJA se înțelege un ansamblu de tehnici de tăiere care utilizează ca și dispozitiv de prelucrare jetul de apă. Astfel, în procesul de TJA se utilizează un jet de apă de înaltă presiune care acționează fie singur, fie împreună cu particule abrazive.

TJA, fără agent abraziv, utilizează un jet de apă foarte fin, la o viteză foarte mare și energie foarte înaltă, care provoacă rupura materialului în punctul de impact. Tăierea cu jet de apă, fără agent abraziv, este utilizată în special pentru material nemetalice cum ar fi: materiale plastice, polietilenă, poliamidă, lemn, teflon, cauciuc, piele, etc. [OMA 01]

TJA, cu agent abraziv constă în a antrena, pornind de la un jet de apă proiectat la o presiune foarte înaltă, într-o cameră de amestec, particule abrazive, pentru a crea un dispozitiv de prelucrare. TJA cu agent abraziv este o soluție de tăiere pentru aproape orice material, în special: materiale compozite, metale, roci decorative, etc. [OMA 01]

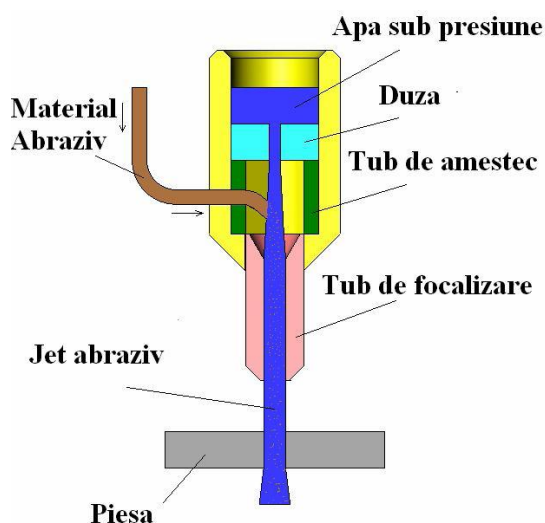


Fig. 1. Tăierea cu jet de apă [POP'11]

La prelucrarea materialelor compozite prin taiere cu jet de apă pot să apară unele probleme, datorită structurii acestora, precum: delaminarea, fisurarea matricei, tragerea fibrelor ("scămoșare") sau topirea rășinei [OMA 01][FLO'03].

2. Realizarea epruvetelor din materiale compozite

Pentru realizarea epruvetelor din materiale compozite s-a optat pentru metoda de formare manuala prin contact, deoarece este una din cele mai utilizate metode în mediul industrial, pentru obținerea pieselor din materiale compozite (MC) polimerice.

- Primul pas pentru realizarea epruvetelor (plăcilor), din material compozit, a fost aplicarea pe matrițele de formare a unui agent demulant, pentru a preveni lipirea materialului compozit de suprafața plăcilor;
- Pentru obținerea unei bune suprafețe a MC și a eliminării riscului ieșirii fibrelor în afară, pe suprafața matriței se aplică ca și prim strat un strat de gel-coat (cantitate de 300-400 g/m²);
- Pe stratul de gel-coat s-a depus un strat de rășină;
- Materialul de armare, tăiat la dimensiunile necesare, a fost aplicat peste stratul de gel-coat și rășina proaspăt depusă. Pentru întrepătrunderea rășinii printre fibrele materialului de armare și pentru eliminarea aerului, materialul a fost presat cu o rolă metalică;
- Pentru obținerea grosimii dorite s-a trecut la depunerea straturilor succesive din materialul de armare;
- Ansamblul astfel obținut este acoperit cu o folie perforată din polietilenă de înaltă densitate (HDPE), cu grosimea de 0,027 mm;
- Peste folia perforată s-a aplicat pâsla absorbantă, având rolul de a înmagazina surplusul de rășină și de a permite eliminarea aerului (polyester 150-300g/m² și grosime 3-4 mm);
- Ansamblul astfel realizat a fost introdus într-un sac, care a fost închis etanș;
- Procesul de polimerizare s-a desfășurat sub vid.
- Ultimul pas în fabricarea MC a fost demularea și debavurarea.

Realizarea epruvetelor din materiale compozite armate cu fibră de carbon

În cazul materialului compozit armat cu fibră de carbon s-a optat pentru utilizarea:

- unui material de armare cu țesătura de tip twill 2/2 204 g/m² 3k (3000 filamente pe fibră)
- rășina de tip SGL E201, cu punct de polimerizare între 80°C și 160°C.

Orientarea fibrelor în așezarea succesivă a straturilor de armare s-a făcut sub un unghi de 0° respectiv 90°. Acest tip de MC este des întâlnit în industria aeronautică, automotive.



Fig. 2. Realizarea epruvetelor din materiale compozite armate cu fibră de carbon

Realizarea epruvetelor din materiale compozite armate cu fibră de sticlă

În cazul materialului compozit armat cu fibră de sticlă s-a optat pentru utilizarea:

- unui material de armare de tip țesătură de fibră de sticlă T2 E500g/ m².
- rasină de tip SGL E201, cu punct de polimerizare între 80°C și 160°C.

Și în cazul acesta orientarea fibrelor în așezarea succesivă a straturilor de armare s-a realizat sub un unghi de 0°, respectiv 90°.

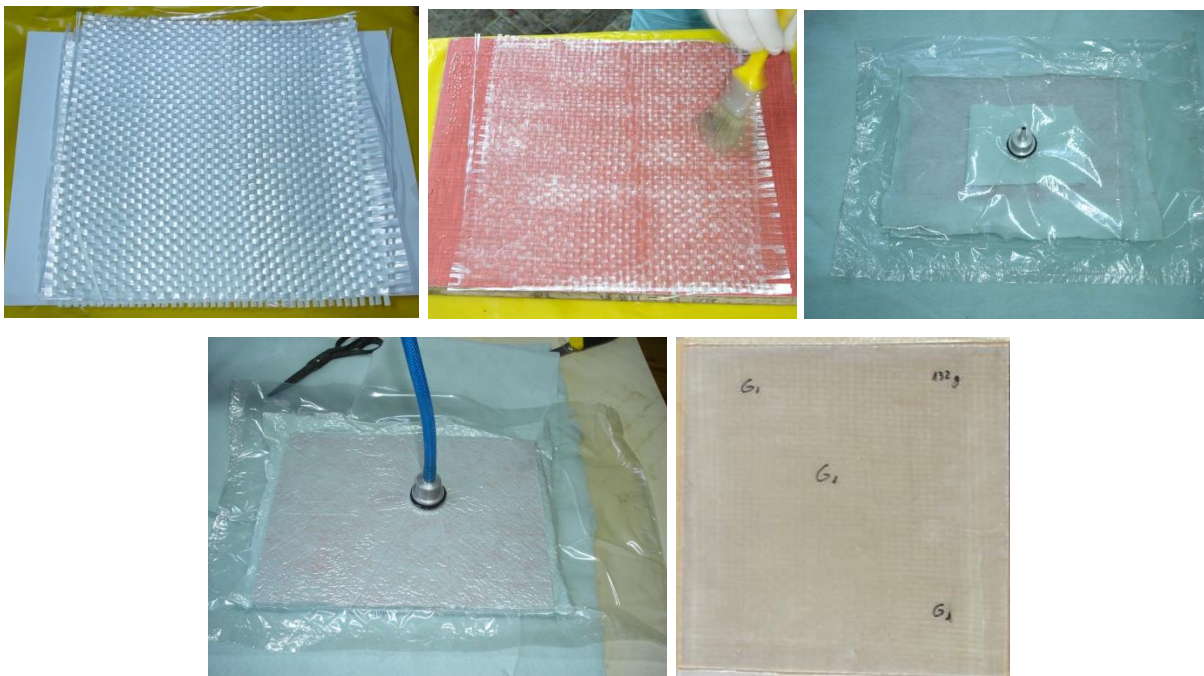


Fig. 3. Realizarea epruvetelor din materiale compozite armate cu fibră de sticlă

Au fost realizate seturi de cate 20 epruvete (plăci) din fiecare tip de material compozit cu diferite grosimi (1, 2, 3, 4 și 5 mm).

3. Studii preliminare privind apariția fenomenului de delaminare

Delaminarea este defectul cele mai des întâlnit în procesul de TJA a MC, în special în timpul găuririi inițiale a materialului, dar poate fi observat și în timpul tăierii. Prin delaminarea MC se înțelege desprinderea straturilor de material de armare și vizualizarea în secțiunea materialului, sub forma unor crăpături, așa cum se poate vedea în figura 4. O data cu apariția acestui fenomen în timpul prelucrării unei piese din MC, delaminarea duce la distrugerea piesei și totodata la scăderea caracteristicilor mecanice pentru care a fost proiectată [SHA'09] [MIR'13] [OMA'01].

Delaminarea se datoreaza impactului dintre jetul de apă și MC, jetul acționând cu o energie foarte înaltă [SHA'08].

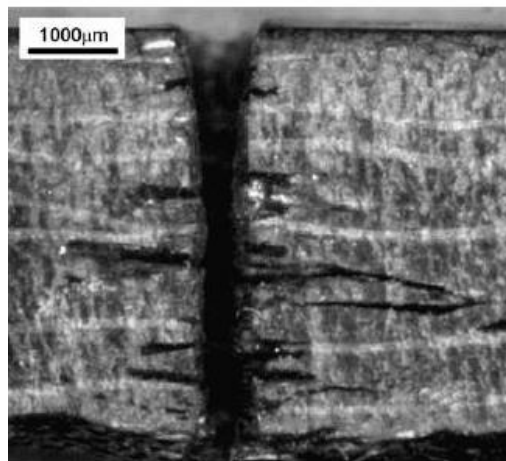


Fig. 4. Delaminarea materialului compozit prelucrat prin TJA [SHA'08]

Pentru identificarea corectă a cauzelor care duc la apariția delaminării MC în timpul TJA s-au realizat mai multe teste experimentale preliminare.

În cadrul acestui experiment a fost utilizat echipamentul de prelucrare cu jet de apă Tecnocut Milestone 1740, din dotarea firmei S.C. Trambus S.R.L. din Cluj-Napoca.

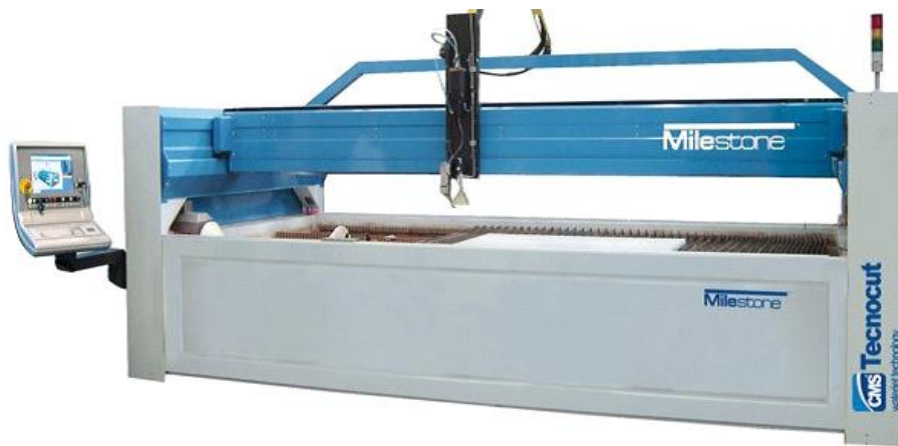


Fig. 5. Echipamentul Tecnocut Milestone 1740, din dotarea S.C. Trambus S.R.L. din Cluj-Napoca [TEC 02]

Echipamentul de prelucrare cu jet de apă Tecnocut Milestone 1740 este produs de compania italiană Tecnocut și este un echipament de ultimă generație. Acesta este echipat cu un amplificator de presiune liniară, apă-ulei, cu dublu effect, care dezvoltă o presiune a fluidului de prelucrare de 4000 BAR.

Tabelul 1. Datele tehnice ale echipamentul Tecnocut Milestone 1740 [TEC 02]

Puterea instalată	45	kw
Tensiunea de alimentare	400	volt
Presiunea max. a fluidului	413,7	mpa
Debitul max. apă	5	l/min
Consumul de apă	0-5	l/min
Diametrul max. orificiu	0,4	mm
Dimensiunile mesei	2500x1500	mm
Greutatea	1650	kg



Motivul pentru care a fost ales acest echipament pentru realizarea experimentelor este faptul că presiunea jetului de apă poate fi variată într-o plajă largă. Pentru a obține date cât mai precise în urma experimentelor întreprinse a fost utilizata o duză nouă din safir, cu diametrul de 0.35 mm și un tub de focalizare nou cu diametrul interior de 1.02 mm.

Studii privind gaurirea materialelor compozite cu jet de apă

La primul experiment s-a încercat găurirea cu jet de apă fără agent abraziv a unui MC. Materialul testat a fost un material compozit armat cu fibră de carbon, având o țesătură de tip twill 2/2 204 g/m² 3k. Placa din MC cu dimensiunile de 300x150x3 [mm] a fost fixată pe masa mașinii, într-un dispozitiv, cu ajutorul unor asamblări filetate, pentru a avea rigiditate.

Pentru primul test s-a utilizat o presiune de 3500 BAR și o distanță dintre capul de prelucrare și MC de 2 mm. În urma găuririi s-a observat o delaminare foarte puternică a materialului, lungimea crăpăturilor ajungând și până la 80 mm.

La al doilea test s-a scăzut presiunea la o valoare de 1500 BAR și distanța dintre capul de prelucrare și MC s-a menținut la 2 mm. În urma găuririi s-a observat o delaminare mai scăzută față de cazul precedent, lungimea crăpăturilor ajungând până la 30 mm.

Din acest experiment s-a concluzionat că presiunea jetului de apă are o influență puternică asupra fenomenului de delaminare a MC. Astfel, scăzând presiunea de la 3500 la 1500 BAR lungimea crăpăturilor din interiorul materialului a scăzut de la 80 la 30 mm.

Studii privind găurirea materialelor compozite cu jet de apă și agent abraziv

În al doilea experiment s-a încercat găurirea cu jet de apă cu agent abraziv a unui MC. Și în acest caz s-a utilizat același tip de material compozit armat cu fibră de carbon cu grosime de 3 mm și același dispozitiv de fixare.

La primul test s-a utilizat o presiune de 3500 BAR, un debit de abraziv de 0,53 kg/min și o distanță dintre capul de prelucrare și MC de 2 mm. În urma găuririi s-a observat o delaminare puternică a materialului, lungimea crăpăturilor ajungând și până la 50 mm.

La al doilea test s-a scăzut presiunea la o valoare de 1500 BAR și s-a menținut debitul de abraziv de 0,53 kg/min și distanța dintre capul de prelucrare și MC de 2 mm. În urma găuririi s-a observat o delaminare scăzută, lungimea crăpăturilor ajungând până la 5 mm.

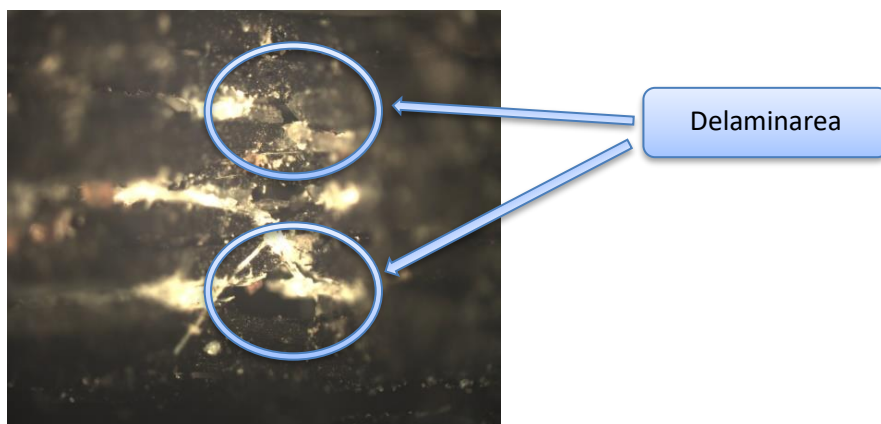


Fig. 6. Analiza microscopică a procesului de delaminare a MC, în cazul prelucrării cu o presiune de 1500 BAR și debitul de abraziv de 0,53 kg/min

Și din acest experiment se confirmă faptul că presiunea jetului de apă are o influență puternică asupra fenomenului de delaminare a MC. Astfel, scăzând presiunea, lungimea crăpăturilor din interiorul materialului a scăzut de la 50 la sub 5 mm. S-a observat că prin adăugarea unui debit de abraziv de 0,53 kg/min în jetul abraziv, delaminarea a scăzut.

În urma acestui studiu s-a observat că scăzând presiunea până la 1500 BAR și adăugând abraziv nu a putut fi înlăturat în totalitate fenomenul de delaminare, fiind necesare optimizări suplimentare a parametrilor de proces.

Bibliografie:

- [POP' 11] Ioan Alexandru Popan, *Cercetări privind fabricația rapidă prin tăiere și frezare cu jet de apă*, Teza de doctorat, Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca, 2011;
- [SHA'08] D.K. Shanmugam, T. Nguyen, J. Wang, *A study of delamination on graphite/epoxy composites in abrasive waterjet machining*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Volume 39, Issue 6, June 2008, pp. 923–929;
- [SHA'09] D.K. Shanmugam, S.H. Masood, *An investigation on kerf characteristics in abrasive waterjet cutting of layered composites*, Journal of Materials Processing Technology, Volume 209, Issue 8, 21 April 2009, pp. 3887–3893;
- [MIR'13] Miron A.V., Balci N., Popan A., Borzan C.Ș., Bere P., *Studies on water jet cutting of 2D parts made from carbon fiber composite materials*, Academic Journal of Manufacturing Engineering, Vol 11, ISSUE 2, 2013, ISSN 1583 – 7904, pp. 87-92.
http://eng.upt.ro/auif/Lucrari_PDF_2013_2/Miron.pdf.
- [OMA' 01] www.omax.com;
- [TEC' 02] www.tecnocut.it;
- [FLO' 03] www.flowcorp.com.

Avizat,

Coordonator,

Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca

Agent economic,

S.C. Trambus S.R.L.

Reprezentant legal,

Reprezentant legal,

Rector,

Rector Vasile Topa

Administrator,

Ing. Emil Trifu

Director Proiect,

S.l.dr.ing. Alexandru Popan

Responsabil de proiect,

Ing. Emil Trifu

Cluj-Napoca, 22.11.2016