

CERCETĂRI PRIVIND TRANSFERUL RĂȘINII ÎN MATRIȚĂ A PRODUSELOR COMPOZITE POLIMERICE FOLOSIND ULTRASUNETE

RESEARCH REGARDING RESIN TRANSFER MOLDING OF POLYMER COMPOSITE PRODUCTS USING ULTRASOUND

Student: VĂLIMĂREANU Beniamin-Constantin
Faculty: FIIR, Domain: TCM, Year of study: 4, e-mail: valimareanubenya@yahoo.com

Coodinators: prof.univ. **OPRAN Constantin Gheorghe**, drd.ing. **ION Sorin Mihai**

ABSTRACT: This paper presents the analysis of Resin Transfer Molding Technology (RTM) of a polymer composite product reinforced with fiberglass, using ultrasound. The objective of the work was to make a 3D model of a part in the automotive field, using resin transfer molding technology. Based on them was made to simulate the flow of polymer composite material using special software in this field and the mathematical model of resin transfer technology in the mold.

KEYWORDS: Resin Transfer Molding, polymeric composite, mathematical model, modelling- simulation, ultrasound.

1. Introducere

Transferul rășinii în matriță a materialului compozit polimeric ranforsat cu fibră de sticlă s-a realizat folosind tehnologia cu ultrasunete, această tehnologie conducând la anumite avantaje precum creșterea productivității, umplerea cavității în condiții mai bune sau îndepărtarea defectelor legate de solidificarea prea rapidă a materialului polimeric.

Astfel de analiză este necesară pentru a putea, pe viitor, concepe forme diferite de piese în domeniul auto din materiale compozite polimerice cu o rezistență foarte bună, la costuri scăzute. Piesa, sub formă de semițeavă scurtă cu lungime de 200 mm, rază R103 mm și grosimea peretelui de 3 mm a fost modelată în soft-ul Inventor 2020, iar simularea curgerii a fost realizată în Moldflow.

2. Stadiul actual privind tehnologia produselor compozite polimerice

Compozitele polimerice fac parte din cadrul materialelor noi utilizate în construcția produselor moderne. Compozitul se definește ca un sistem de material artificial unitar, obținut pentru îndeplinirea unor cerințe impuse, alcătuit din două sau mai multe materiale diverse constituente integrate, având interfețe intenționat realizate, cu proprietăți superioare materialelor componente, în care fiecare material constituent își menține identitatea proprie. Părțile compozite cuprind două componente distinct diferite- fibre și un material matricial (cel mai adesea, o rășină polimerică)- care, atunci când sunt combinate, rămân discrete, dar funcționează interactiv pentru a face un material nou, ale cărui proprietăți nu pot fi prezis prin simpla însumare a proprietăților componentelor sale [2,4].

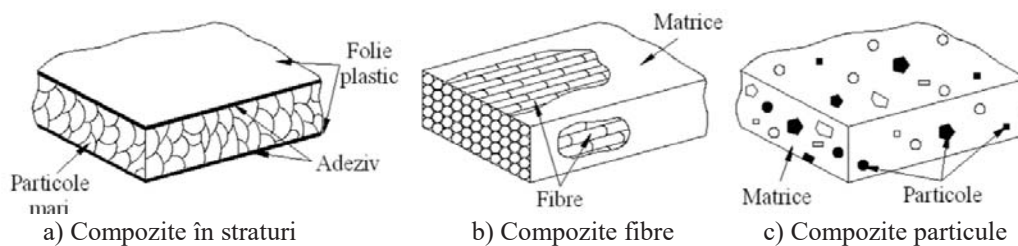


Fig. 1. Structura tipică a compozitelor [1]

Ca elemente de ranforsare s-au folosit fibrele de sticlă, acestea fiind cele mai vechi și cele mai frecvente armături utilizate în majoritatea aplicațiilor de pe piața finală pentru înlocuirea pieselor metalice mai grele. Fibra de sticlă cântărește mai mult decât fibra de carbon, a doua armătura cea mai folosită, și nu este la fel de rigidă, dar este mai rezistentă la impact și are o alungire mai mare la rupere.

3. Stadiu actual privind tehnologia de transfer a rășinii în matriță a produselor compozite polimerice

Procedeul folosit la injectarea materialului compozit polimeric este procedeul de transfer al rășinii în matriță (Resin Transfer Molding- RTM). Acesta este un proces de obținere a pieselor cu presiune mică, în care un amestec de rășină și catalizator este injectat într-o matriță închisă care conține elementul de ranforsare.

Acest proces include o serie de avantaje precum: piesele obținute au o bună calitate a suprafețelor pe ambele fețe; matrițele pot fi realizate la dimensiunile foarte apropiate cu cele ale pieselor; costul scăzut al sculelor comparativ cu alte procedee; procedeul se realizează la presiuni scăzute; se pot obține piese de grosime uniformă, o depunere uniformă a materialului de ranforsare ceea ce conferă pieselor o contracție uniformă; piesele obținute au porozități scăzute; în timpul procesului emisiile de gaze sunt scăzute; permite automatizarea.[2,4]

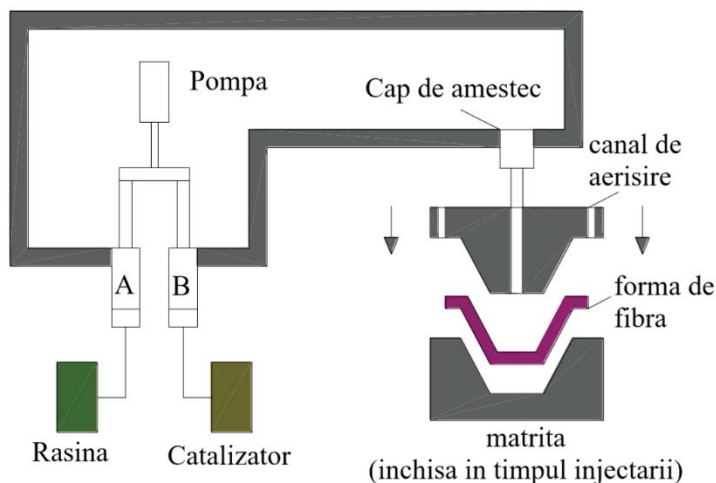


Fig. 2. Reprezentarea schematică a instalației RTM

4. Cercetări privind modelarea matematică a tehnologiei de transfer a rășinii în matriță

Pentru a analiza fluxul de rășină, ranforsarea a fost presupusă a fi un mediu poros cu permeabilitate anizotropă. Conservarea în masă a fluxului de rășină este: [3]

Aplicând teorema lui Green [3], obținem relația finală între punctele limită și punctul generic din cadrul matriței RTM:

$$\frac{1}{\sqrt{k_1 k_2}} p^i + \int_{\Gamma} p q \cdot d\Gamma = \int_{\Gamma} p \cdot q d\Gamma \quad (1)$$

Pe limită se menține ecuația următoare:

$$\frac{1}{\sqrt{k_1 k_2}} c^i p^i + \int_{\Gamma} p q \cdot d\Gamma = \int_{\Gamma} p \cdot q d\Gamma \quad (2)$$

Unde c^i este o constantă geometrică. Dacă limita este suficient de netedă, c^i este $\frac{1}{2}$. Dacă împărțim limita în n elemente de limită și aplicăm ecuația (2), obținem:

$$\frac{1}{\sqrt{k_1 k_2}} c^i p^i + \sum_{j=1}^N \int_{\Gamma_j} p q \cdot d\Gamma = \sum_{j=1}^n \int_{\Gamma} p \cdot q d\Gamma \quad (3)$$

Unde Γ_j reprezintă fiecare element de delimitare. Ecuația (3) poate fi rescrisă sub forma matricii:

$$\frac{1}{\sqrt{k_1 k_2}} c^i p^i + \sum_{j=1}^N H_{ij} = \sum_{j=1}^N G_{ij} \quad (4)$$

La fiecare etapă, fluxul de rășină din interiorul matriței este considerat ca fiind aproape constant. Prin urmare, noua locație a frontului de rășină este determinată de:

$$\vec{S}(t + \delta t) = \vec{S}(t) + \bar{u} \delta t = \vec{S}(t) - \frac{1}{\mu} [k J \nabla p \delta t \quad (5)$$

Unde \vec{S} indică deplasarea fiecărui nod din procedura de element finit.

Unele noduri apropiate de suprafața matriței se pot deplasa din peretele solid. La fiecare nouă intersecție dintre fața de rășină și peretele matriței se adaugă un element nou de delimitare a elementelor peretelui.

Se prezintă în continuare calcule și reprezentări ale modelării hidraulice (curgerea fluidului-rășină) și transferul termic din ultima etapă de polimerizare în faza staționară.

În reprezentare funcția erf este funcția erorilor, notat adesea cu $\phi(z)$:

$$\text{erf}(z) = \int_0^z e^{-\alpha^2} d\alpha \quad (6)$$

În transformări originale am mai efectuat obținerea funcției **erf** astfel :

- în funcție Hermite: (studiul probabilităților)

$$\frac{2 \text{ Hermite} \left(-1, \frac{1}{2} \frac{x}{\sqrt{kt}}\right)}{\sqrt{\pi} e^{\frac{1x^2}{4kt}}} \quad (7)$$

Modelul parabolic descrie bine fenomenele de transfer, aparent dintr-o sursă punctuală, instantanee, fapt ce ar corespunde propagării infinite de rapide a marimilor transferate în contradicție cu desfășurarea reală a fenomenelor. [1,3]

5. Cercetări privind simularea curgerii materialului compozit polimeric în cazul procedurii de transfer al rășinii în matriță

Modelul 3D al matriței de injecție este prezentat în figura 3, fiind prezentată poziția cu cele două cavități ale matriței deschise, moment în care piesa este extrasă.

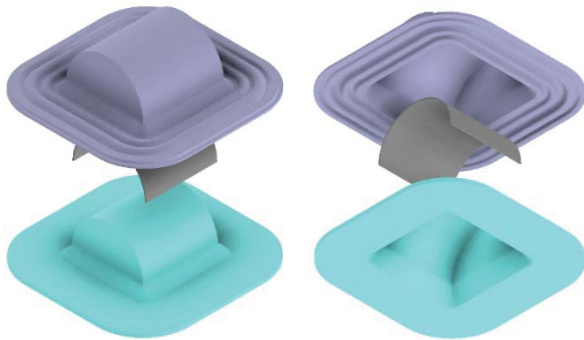


Fig. 3. Modelul 3D al matriței de injecție

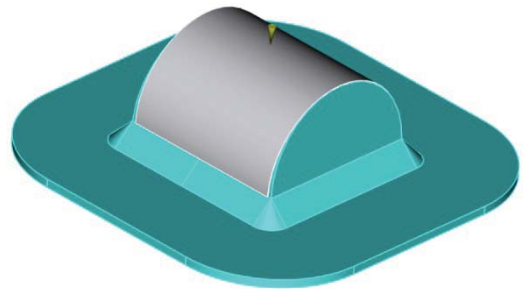


Fig. 4. Modul de așezare al compozitului și al elementului de ranforsare pe matriță în softul Moldflow

Contribuția originală a lucrării este modelarea și simularea procesului de transfer al rășinii în matriță pentru piesa Semițeavă scurtă (figura 3- culoare negru) și obținerea unor rezultate teoretice ce se vor compara cu procesul RTM folosind ultrasunete.

Simularea curgerii materialului compozit polimeric pentru piesa Semițeavă scurtă a fost realizată în programul Autodesk Moldflow Insight conform figurilor de mai jos.

Odată selectat tipul de material (compozit polimeric- rășină și element de ranforsare- fibră de sticlă) rămâne de poziționat locul prin care va avea loc injectarea materialului în cavitatea matriței de injecție unde se află elementul de ranforsare. Pentru aceasta am realizat un studiu cu 3 locații diferite ale punctului de injecție- injecția materialului din lateral, injecția în jumătatea piesei de jos în sus și injecția de sus în jos, conform figurii următoare.

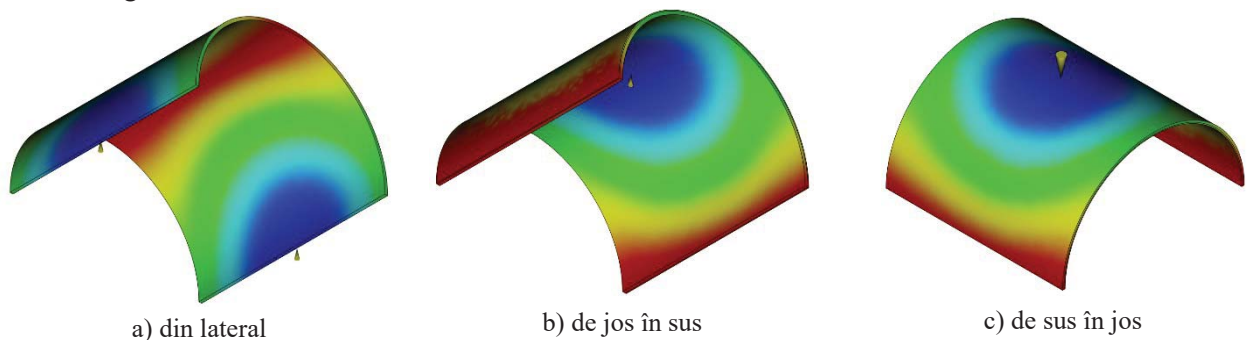


Fig. 5. Poziția punctului de injecție

În urma acestui studiu am obținut următoarele rezultate: Injecția materialului din lateral stânga și dreapta va produce linii de sudură ce vor afecta rolul functional al piesei și rezistența acesteia, fiind mai sensibilă la rupere în zona liniilor de sudura. Cât despre injecția de jos în sus, aceasta necesită o presiune mai mare pentru ca materialul polimeric să umple complet cavitatea matriței de injecție. În concluzie, cea mai bună metodă de injecție a materialului din punct de vedere al calității piesei obținute și al consumului de energie este injecția de sus în jos, la jumătatea piesei (vezi figura 5.c.).

Având în vedere materialul compozitului polimeric, al elementului de ranforsare și modul de poziționare al matriței de injecție, în urma simulării am pus în evidență următoarele:

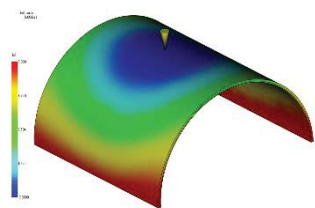


Fig. 6. Timpul de umplere $t = 5$ sec



Fig. 7. Presiunea necesară $P_{max} = 9$ Mpa

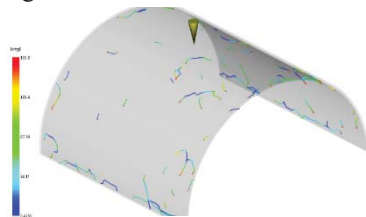


Fig. 8. Liniile de sudură

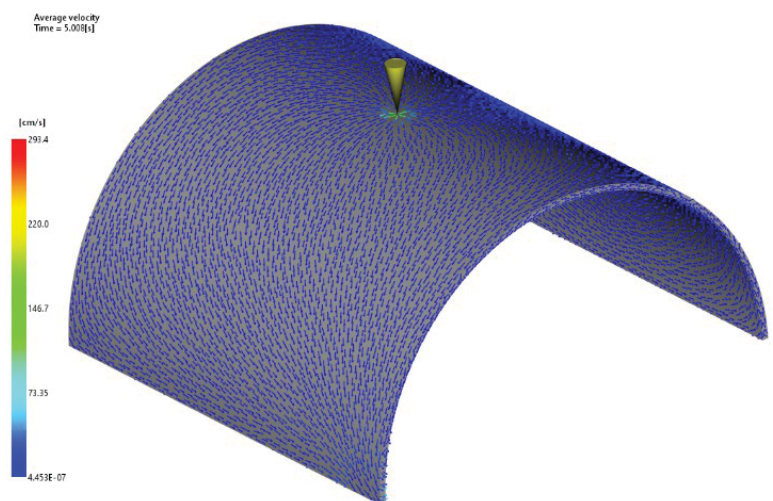


Fig. 9. Direcția de deplasare a materialului în interiorul cavității matriței

Ultrasunetele reprezintă vibrații mecanice care se propagă în medii solide sau fluide de frecvențe superioare valorii de 20 kHz (20 000 de cicluri pe secundă), imperceptibile de către urechea umană. În cazul activării ultrasonice a injectării materialelor plastice a fost identificată apariția unei serii de efecte [6,7].

Efectul de suprafață (reducere a frecării)- La suprafața de separație dintre concentrator și topitură, vibrația ultrasonică a concentratorului determină o deplasare infimă a topiturii la o distanță de ordinul micronilor, suficientă pentru a se realiza desprinderea materialului de pe concentrator.

Efectul de înmuiere acustică- Propagarea undelor ultrasonice în materiale metalice generează tensiuni acustice și deformații elasto-plastice ce determină dezancorarea dizlocațiilor și deplasarea lor în structuri cristaline.[5]

Efectul ultrasonic termo-pelicular- Activarea ultrasonică determină la nivelul suprafeței laterale de contact a concentratorului cu topitura formarea unui strat subțire de material polimeric supraîncălzit ce favorizează curgerea materialului plastic prin orificiul de injectare.

În urma rezultatelor obținute mai sus, am realizat o comparație între procesul clasic de transfer al rășinii în matriță, RTM (figurile 6-9) și același proces RTM, însă folosind ultrasunete. Acestea din urmă oferă următoarele avantaje:

- activarea ultrasonică este o soluție viabilă în vederea ameliorării capacității de umplere a cavităților de formare și a îmbunătățirii calității pieselor injectate. Rezultă o umplere corectă, completă, deci având în vedere graficul FILL (conform analiza Moldflow- figura 6) se reduce timpul de umplere al cavității de injectare;

- ultrasunetele conduc la o legătură mai strânsă și mai bună a materialului compozit cu elementul de ranforsare (fibra de sticlă);

- se reduce presiunea de lucru (în comparație cu presiunea din graficul PRESSURE- figura 7) și scade numărul liniilor de sudură apărute;

- scăderea riscului de solidificare prea rapidă a materialului, deci apariția a cât mai puține capcane de aer pe suprafața piesei și o posibilă creștere a temperaturii;

Toate acestea sunt concluzii obținute în urma simulării, deci concluzii teoretice. Practic, rezultatele pot fi diferite. Astfel, ofer noi direcții de cercetare experimentală a transferului rășinii în matriță folosind ultrasunetele.

6. Concluzii privind utilizarea ultrasunetelor în procesul de transfer al rășinii în matriță

Contribuția originală este simularea unui proces de transfer în matriță a unei piese de tip Semițeavă scurtă- modelată 3D- și determinarea avantajelor pe care le oferă utilizarea ultrasunetelor în acest proces.

În concluzie, metoda folosirii ultrasunetelor în procesul de transfer al rășinii în matriță este o metodă eficientă, cu multe avantaje, dintre care cel mai important fiind formarea unei legături strânse a materialului compozit cu elementul de ranforsare, ceea ce conduce la creșterea calității piesei rezultate.

7. Bibliografie

- [1]. Ion, S., Opran, C., Lamanna, G.; 2020; “*Mathematical Model of Vacuum -Resin Transfer Molding for Polymeric Composites Products*”, Macromolecular Symposia, Vol.389, 2070003; WILEY -VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 69469, Weinheim; International Conference on Design and Technologies for Polymeric and Composites Products- POLCOM 2019, 10-11 October 2019, Bucharest, Romania; DOI: 101002/masy.201900108; pp.1900108 (1-3of 3);
- [2]. Opran, C., “*Tehnologii de injecție în matriță, Tehnologii de injecție în matriță a produselor din compozite polimerice*”, Editura Bren, București, România, pp.252; ISBN 978-606-610-201-8 pp.253;
- [3]. Opran, C., Marinescu, A., Ovidiu, B., “*Researches on Mathematical Modeling of Specific Phenomena in Resin Transfer Molding Technology*”, International Workshop “Trends and Research in Composites Materials Recycling”, TRECRY 2007, 11-12 October 2007, Brasov, Romania, pp.38-44;
- [4]. Riza, I.; Opran, C.; 2019; “*Methods and Special Functions Bessel and Kummer Applied in Composites Diffusion Modelling*”; Materials Science Forum; ISSN: 1662-9752, Vol.957; Trans Tech Publications, Switzerland; International Conference on Design and Technologies for Polymeric and Composites Products- POLCOM 2018, 1-2 November 2018, Bucharest, Romania; doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.957.465; pp.465-474;
- [5]. Rozenberg, L.D., “*Physical principles of ultrasonic technology*”, Vol I, II, Plenum Press, NY 1973;
- [6]. Sîrbu, N.A., Iclănzan, T., Oancă, O., “*Construction particularities of the ultrasonic equipments for flow activation of polymeric media, in the extrusioninjection processes*”, Rev. BID, nr. 4/2008;
- [7]. Stan D., Șerban I., Tulcan L., Turc C., Tulcan A., “*Thermoplastics Extrusion Die with Ultrasonic Thermo-Pellicular Effect*”, Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Energy, Environment, Ecosystems & Sustainable Development, 2010.