



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POS DRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
CERCETĂRII
TINERETULUI
ȘI SPORTULUI
OIPOSDRU



lea
a din

Investește în oameni

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013

Axa prioritară nr. 1: „Educația și formarea profesională în sprijinul creșterii economice și dezvoltării societății bazate pe cunoaștere”

Domeniul major de intervenție 1.5.: „Programe doctorale și post-doctorale în sprijinul cercetării ”

Titlul proiectului: Integrarea cercetării românești în contextul cercetării europene-burse doctorale

Cod Contract: POSDRU/88/1.5/S/60370

Beneficiar: Universitatea „Lucian Blaga” din Sibiu

Ing. Mihaela Emilia OLESIK

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND COMPORTAREA MECANICĂ A MATERIALELOR COMPOZITE CU SUPTOR TEXTIL

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:
PROF. DR. ING. NICOLAE FLORIN COFARU

Sibiu
-2014-

CUPRINS - REZUMAT

1. INTRODUCERE	3
2. STADIUL ACTUAL ÎN DOMENIUL MATERIALELOR COMPOZITE ARMATE CU ȚESĂTURI. OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT	4
3. COMPORTAREA MECANICĂ A ȚESĂTURILOR UTILIZATE LA REALIZAREA COMPOZITELOR CU STRUCTURĂ TEXTILĂ	6
4. SIMULAREA COMPORTĂRII MECANICE A MATERIALELOR COMPOZITE CU SUPORT TEXTIL	7
5. METODOLOGIA CERCETĂRII EXPERIMENTALE ȘI INSTALAȚIILE EXPERIMENTALE UTILIZATE	11
6. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND COMPORTAREA MATERIALELOR COMPOZITE CU SUPORT TEXTIL	13
7. CONCLUZII FINALE. PRINCIPALELE CONTRIBUȚII ORIGINALE ALE LUCRĂRII	21

1. INTRODUCERE

Prezenta teză de doctorat își propune un studiu, din punct de vedere al comportării mecanice, asupra materialelor compozite care au ca suport țesătura de poliamidă PA 6.6 cunoscută și sub denumirea comercială de nylon și influența materialului cu care aceasta se impregnează (siliconul în cele mai multe situații) asupra proprietăților mecanice ale acestor materiale. Aceste materiale compozite sunt materialele care sunt utilizate cel mai des la realizarea airbagurilor autovehiculelor. Cunoscând importanța pe care producătorii de autovehicule o dau siguranței, am considerat că este necesară elaborarea unui astfel de studiu cu privire la comportarea lor din punct de vedere mecanic dar și oferirea de soluții noi în ceea ce privește materialele care se pot utiliza în viitor. Așa cum este deja cunoscut producătorii de airbaguri ar dori schimbarea siliconului cu alte materiale iar teza de față studiază și comportarea din punct de vedere mecanic a altor materiale nanocompozite care au la bază tot țesătura de poliamidă PA 6.6 dar sunt realizate prin depunerea de nanoparticule de diferiți oxizi pe fibrele care compun firele de poliamidă. Tot în cadrul cercetărilor cuprinse în această teză se dorește stabilirea influenței pe care o au concentratorii de tensiune (diferitele orificii perforate) asupra comportării mecanice ale materialului din care este realizat airbagul. Pentru a pune în evidență comportarea mecanică a acestor materiale compozite au fost realizate încercări nu doar asupra materialelor țesute acoperite sau neacoperite ci și asupra firelor de poliamidă din care sunt realizate țesăturile.

La ora actuală în procesul de proiectare, utilizarea computerului este indispensabilă, reușindu-se reducerea timpului dintre proiectarea unui model de autovehicul și realizarea fizică a lui la 6 luni față de 6 ani cât erau necesari nu mai departe de sfârșitul secolului trecut. Desigur, în acest proces activitățile de desenare cu ajutorul calculatorului (CAD) sunt deosebit de importante, avantajele utilizării unui astfel pachet de programe fiind binecunoscute. Nu trebuie însă diminuată importanța celorlalte componente care compun un sistem integrat de proiectare asistată și mai ales importanța utilizării programelor de simulare numerică în procesul de verificare. Cea mai cunoscută și totodată cea mai utilizată dintre metodele numerice implementate este metoda elementului finit. Dacă programele de simulare numerică de acum câțiva ani permiteau realizarea doar a unor simulări statice cu un număr de noduri limitate, acum, odată cu apariția calculatoarelor puternice cu procesoare cu mai multe nuclee și cu memorie RAM suficientă, este posibilă rularea în timpi decenti a unor analize dinamice explicite sau implicite care să permită evidențierea

comportării în timp nu doar din punct de vedere mecanic ci și termic, electric etc. Așa cum spuneam, producătorii de autoturisme pun la ora actuală accentul din ce în ce mai mult pe siguranță iar acest lucru se observă și prin utilizarea acestor programe de simulare având la bază metoda elementului finit în studiile de crash. Ori în toate aceste studii este necesară simularea comportării airbagurilor. Pentru a beneficia de rezultate cât mai aproape de adevăr în urma acestor analize este necesară definirea cu precizie a proprietăților de material și a comportării acestor materiale.

Teza de față își propune și stabilirea unei metode, eficiente și cât mai rapide, pentru determinarea datelor de material ale airbagurilor utilizate în simulările numerice dinamice explicite, element de mare importanță în momentul de față. La baza acestei metode a stat analiza inversă aplicată tot cu ajutorul metodei elementului finit.

2. STADIUL ACTUAL ÎN DOMENIUL MATERIALELOR COMPOZITE ARMATE CU ȚESĂTURI. OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Capitolul 2 prezintă stadiul actual în domeniul materialelor compozite armate cu țesături. Un prim subcapitol prezintă tipurile de materiale care intră în componența acestor materiale compozite. Sunt apoi prezentate într-un subcapitol distinct modurile macro și mezo de deformare ale materialelor țesute. Cele patru moduri numite macro-nivele de deformare moduri pentru materialele compozite armate cu țesături sunt: compresiunea transversală, întinderea plană, forfecarea și încovoierea. Nivelul macro studiază deformațiile privind materialul compozit ca pe un întreg. Mezo-nivelul de deformare există datorită interacțiunii interne a firelor care compun țesătura. Cele opt moduri de deformare de pe nivelul mezo sunt: frecarea între fire, forfecare între fire, încovoierea între fire, flambajul firului, frecare internă (între fibre), întinderea din fir, compresiunea firului și răsucirea firului. Deoarece prezenta teză de doctorat are ca scop studiul materialelor compozite armate cu țesături care intră în componența airbag-urilor, un procent important din stadiul actual este destinat acestor tipuri de materiale compozite. După o scurtă prezentare a istoricului airbagurilor, sunt trecute în revistă tehnologiile de realizare a acestor componente care garantează siguranța pasagerilor în autovehicule.

Sunt prezentate cerințele tehnice pe care trebuie să le îndeplinească airbag-urile, și anume: capacitate bună de împăturire, reziliență, rezistență la temperaturi ridicate, permeabilitate scăzută la aer, rezistență ridicată la solicitări dinamice, greutate scăzută a țesăturii, rezistență ridicată a țesăturii, rezistență bună la abraziune și stabilitate la îmbătrânire. Este prezentat în continuare un istoric al utilizării firelor de poliamidă la realizarea airbagurilor dar și al utilizării siliconului ca și

material de acoperire. Într-un subcapitol distinct sunt prezentate modelele mecanice reprezentative ale țesăturilor, respectiv modelul lui Pierce și modelul lui Kawabata. Două subcapitole distincte ale stadiului actual sunt destinate identificării principalelor cercetări în domeniul simulării prin metoda elementului finit al comportării materialelor compozite utilizate la realizarea airbagurilor și ale principalelor cercetări experimentale pentru aceleași materiale. Stadiul actual se încheie cu un subcapitol care stabilește obiectivele tezei de doctorat.

Pe baza stadiului actual în domeniu am stabilit obiectivele tezei de doctorat după cum urmează:

1. Sintetizarea informațiilor prezente în stadiul actual în vederea identificării: tipurilor de țesături utilizate la realizarea airbag-urilor, a proprietăților mecanice și funcționale pe care acestea trebuie să le îndeplinească în scopul utilizării lor la fabricarea airbag-urilor și a materialelor utilizate la realizarea acestor țesături;
2. Elaborarea unui studiu teoretic privind comportarea mecanică a țesăturilor folosite la realizarea airbag-urilor la solicitările la care acestea sunt supuse în mod convențional în funcționare: solicitarea la întindere uniaxială, solicitarea la întindere biaxială și solicitarea la forfecare;
3. Modelarea geometrică tridimensională la nivel mezosopic a mai multor tipuri de țesături și verificarea comportării mecanice pe baza unor simulări numerice folosind metoda elementului finit în domeniul static a acestora la diferite tipuri de solicitări (întindere uniaxială și biaxială);
4. Realizarea unor simulări numerice dinamice explicite pentru solicitări la întindere uniaxială și forfecare la nivel macroscopic pentru materiale compozite realizate din țesături impregnate;
5. Conceperea unei metode noi, bazate pe analiza inversă și metoda elementului finit, în scopul identificării cu o precizie cât mai ridicată a caracteristicilor mecanice ale materialelor compozite realizate din țesături impregnate;
6. Proiectarea și realizarea unor standuri experimentale dar și modificarea unor standuri existente care să contribuie la realizarea cercetărilor experimentale pe materialele compozite impregnate sau pe țesăturile neimpregnate;
7. Realizarea de cercetări experimentale pentru identificarea caracteristicilor mecanice a firelor care stau la baza materialelor compozite armate cu țesături la diferite viteze de încercare și temperaturi diferite de încercare;
8. Elaborarea unor studii comparative bazate pe cercetări experimentale privind comportarea materialelor textile țesute acoperite și neacoperite și privind influența concentratorilor de tensiune asupra acestor materiale;
9. Realizarea unui studiu bazat pe cercetări experimentale privind posibilitatea înlocuirii siliconului ca material de acoperire cu alte tipuri de oxizi la fabricarea airbag-urilor.

3. COMPORTAREA MECANICĂ A ȚESĂTURILOR UTILIZATE LA REALIZAREA COMPOZITELOR CU STRUCTURĂ TEXTILĂ

Capitolul trei prezintă tipurile de țesături care sunt utilizate la fabricarea materialelor compozite care au ca suport materiale textile. Țesătura este un produs textil care se obține prin încrucișarea sub unghi drept a două sisteme de fire, urzeala și bătătura, într-o anumită ordine. Modul în care se încrucișează firele de urzeală cu cele de bătătură se numește legătură. Tot în cadrul acestui capitol este prezentată clasificarea țesăturilor după mai multe criterii: după natura materiei prime, după destinație, după procesul tehnologic de țesere sau finisare și după lățimea mașinii de țesut.

Un alt subcapitol al tezei de doctorat prezintă proprietățile țesăturilor utilizate la realizarea airbagurilor și anume: proprietățile fizice, mecanice și funcționale. Un al treilea subcapitol este destinat tipurilor de legături fundamentale utilizate la materialele țesute folosite drept suport pentru airbaguri.

Legăturile fundamentale sunt legături la care, în limitele raportului de legare, fiecare fir de urzeală are un singur punct de legare cu firele de bătătură și fiecare fir de bătătură are un singur punct de legare cu firele de urzeală.

Legătura este definită prin două elemente importante: raportul de legare și deplasarea. Deplasarea reprezintă distanța punctului de legare a unui fir în raport cu punctul de legare a firului precedent.

Legăturile fundamentale prezentate în teza de față sunt:

- legătura pânză, cu raportul 2/2;
- legătura diagonal, cu cel mai mic raport: 3/3;
- legătura atlas, cu cel mai mic raport: 5/5.

Subcapitolul patru al acestui capitol sunt prezentate teoriile care descriu raporturile neliniare dintre tensiune și deformație ale țesăturilor, concentrându-se asupra materialelor țesute în detrimentul celor tricotate.

După cum se știe, comportamentul mecanic al țesăturilor și tricotelor este, în general, un comportament neliniar. Trebuie observat faptul că țesăturile și tricotelorile sunt alcătuite din fire și inițial au o mare flexibilitate. Există două motive care explică această flexibilitate. Primul este flexibilitatea firului însuși, a cărui structură constă din fibre paralele subțiri la care mișcarea fibrelor individuale este limitată doar de frecarea dintre fibre în timpul solicitării. Celălalt motiv îl constituie faptul că structura țesăturilor și tricotelorilor constă din fire împletite fără vre-un tip de fixare în locurile unde se intersectează. Aceasta înseamnă că deplasarea fibrelor și firelor în această structură în timpul aplicării solicitării este complexă și că proprietățile mecanice ale acestora trebuie considerate ca un ansamblu structural, și nu ca un continuum de material. Pentru o mai bună înțelegere a comportării mecanice a țesăturilor în teză, este prezentat modelul matematic al lui Kawabata, model care este implementat și în

programele comerciale de simulare prin metoda elementului finit. Acest model are la bază teoria alungirii biaxiale a firelor.

Procesul de solicitare al țesăturilor este divizat în două etape. Prima etapă este cea de încovoiere, în care firul este solicitat la încovoiere pură, fără a fi solicitat și la întindere. Cea de-a doua etapă e cea în care firul încovoiat este solicitat la întindere în punctele de legătură dintre urzeală și bătătură. Din combinarea celor două tipuri de solicitări și pe baza tensiunilor apărute în firele țesăturii se obține relația completă tensiune-deformație pentru aceste materiale textile. Sunt luate în considerare două cazuri și anume: cazul firului incompresibil și cel al firului compresibil. În final este introdusă în model și teoria deformării prin forfecare. Principala caracteristică a teoriei deformării prin forfecare este dată de momentul de torsiune care apare la intersecția firelor țesute. Acesta apare în procesul țeserii ca urmare a necesității schimbării unghiului dintre bătătură și urzeală.

Ultimul subcapitol al acestui capitol este destinat concluziilor. Studiul mecanicii materialelor țesute a fost aplicat la studiul la orice de la dirijabile la protecții antiglonț. Metoda celulei unitare a lui Kawabata s-a dovedit a fi eficientă în a evalua comportarea mecanică la încercarea la tracțiune a țesăturilor, dar predicția comportării la forfecare a avut mai puțin succes. Abordările de tip continuu sunt ușor de implementat pentru analiza structurilor, dar necesită un mare volum de încercări pentru a reda natura anizotropică și neliniară a țesăturii. Modele de element finit 3D oferă cele mai multe detalii privind comportarea mecanică a țesăturii, dar sunt foarte solicitante din punct de vedere al necesarului de calcul pentru a modela structuri mari. Tehnicile de vârf actuale oferă un compromis favorabil între metodele cu celulă unitară mecanicistă și analiza cu element finit, care oferă precizie și detaliu fără o calibrare extensivă a constantelor elastice.

4. SIMULAREA COMPORTĂRII MECANICE A MATERIALELOR COMPOZITE CU SUPORT TEXTIL

Capitolul patru este destinat simulărilor numerice prin metoda elementului finit. În prima parte a acestui capitol au fost realizate analize numerice folosind metoda elementului finit aplicată la nivel mezosopic (la nivelul firelor care compun țesătura) iar în a doua parte analize la nivel macroscopic, considerând materialul compozit ca un tot unitar.

Pentru studiul comportării mecanice a diferitelor tipuri de țesături am preferat să folosesc metoda elementelor finite, într-o primă etapă, aplicată la o analiză statică, la nivel mezosopic. Am ales această metodă deoarece îmi permite realizarea unui studiu comparativ între diferitele tipuri de țesături în ceea ce privește valorile

deplasărilor nodale, a deformațiilor specifice și a tensiunilor prezente la aceeași valoare a solicitării. În acest scop au fost modelate patru tipuri de țesături de poliamidă 6.6 și anume țesătura de tip pânză, țesătura coș, țesătura satin și țesătura picior de cocoș. Discretizarea modelului în elemente finite s-a efectuat folosind metoda "free mesh" dar au fost controlate mărimea maximă a elementului precum și modul în care se face tranziția de la elementele de dimensiune mare la cele de dimensiune mică.

Toate analizele derulate au fost analize de tip static, la care sarcinile și constrângerile aplicate sunt independente de timp. S-a ales acest tip de analiză deoarece analizele dinamice necesitau o cantitate de timp mult mărită dar și o cantitate de memorie considerabilă din partea sistemului de calcul. Analizele realizate au fost: patru analize de întindere uniaxială pentru cele patru tipuri de țesături (fără defecte), patru analize de întindere biaxială pentru cele patru tipuri de țesături (tot fără defecte), trei analize de întindere uniaxială pentru trei tipuri de țesături cu defecte (fără țesătura picior de cocoș). Defectele realizate constau în întreruperea unuia sau a mai multe fire aflate pe o direcție perpendiculară pe direcția de solicitare.

Rezultatele care au fost evaluate pentru fiecare tip de țesătură din cele patru menționate anterior la analizele de tip static la nivel mezosopic au fost: tensiunea echivalentă Von Mises [MPa], deformația echivalentă Von Mises [mm/mm] și deplasările nodale [mm]. Succesiunea de figuri 1 ... 4 prezintă rezultatele deplasărilor nodale pentru analiza de întindere biaxială pentru cele patru tipuri de țesături analizate.

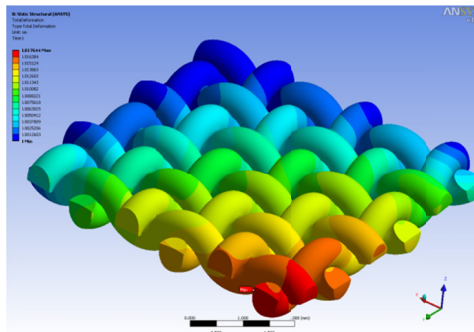


Fig. 1 Variația deplasărilor nodale la o țesătură pânză supusă solicitării de întindere biaxială [mm]

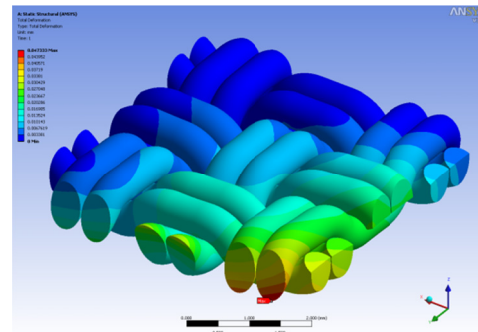


Fig. 2 Variația deplasărilor nodale la o țesătură coș supusă solicitării de întindere biaxială [mm]

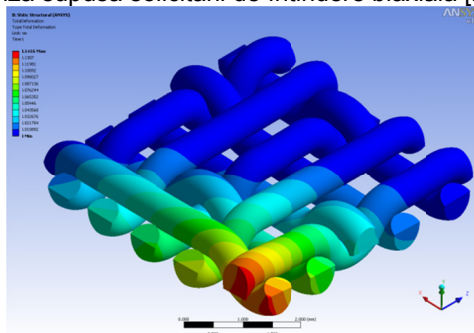


Fig. 3 Variația deplasărilor nodale la o țesătură satin supusă solicitării de întindere biaxială [mm]

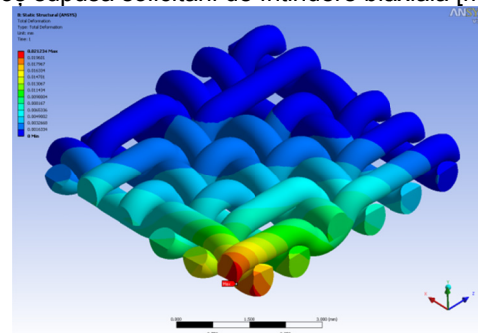


Fig. 4 Variația deplasărilor nodale la o țesătură picior de cocoș supusă solicitării de întindere biaxială [mm]

În urma derulării analizelor statice pentru solicitarea la întindere uniaxială, se pot trage următoarele concluzii: valoarea maximă a tensiunii echivalente Von Mises apare în cazul țesăturii de tip picior de cocoș, 61.34 MPa, fiind urmată de țesătura tip coș cu 53.17 MPa, satin cu 38.08 și pânză 26.69, valorile cele mai reduse ale deplasărilor le întâlnim în cazul țesăturilor de tip pânză (0.023 mm) și picior de cocoș (0.024 mm).

În urma derulării analizelor statice pentru solicitarea la întindere biaxială, se pot trage următoarele concluzii: valoarea maximă a tensiunii echivalente Von Mises apare în cazul țesăturii satin – 128.9 MPa, fiind urmată de țesătura tip coș cu 67.11 MPa, de tip picior de cocoș, 61.92 MPa și pânză 37.35, valorile cele mai reduse ale deplasărilor le întâlnim în cazul țesăturilor de tip pânză (0.012 mm) și picior de cocoș (0.020 mm).

Analizele la nivel macroscopic au fost analize dinamice explicite și pe baza lor a fost elaborată o metodă de identificare la proprietăților de material care sunt introduse ca date de intrare în programele de simulare bazată pe analiza inversă.

Studiul comportării la nivel mezosopic este desigur foarte util atunci când se studiază comportamentul unei celule unitare sau a câtorva astfel de celule. Datorită modului în care este construit modelul suntem limitați însă de numărul de elemente finite. De asemenea nu se pot studia decât comportări statice sau cvasistatice tot din cauza numărului mare de elemente necesar. În cazul cel mai des întâlnit, al studiului comportării pieselor complexe este necesară o altă abordare și anume cea macroscopică. Această abordare presupune modelarea geometrică a întregii piese și discretizarea ei cu elemente de tip solid sau shell care să reflecte comportamentul țesăturii la scară macroscopică.

Într-o primă fază au fost realizate două analize dinamice explicite cu scopul simulării încercării la întindere uniaxială și pentru simularea testului Bias. Testul Bias este un test prin care se dorește punerea în evidență a comportării la forfecare a materialelor țesute sau a materialelor compozite care conțin în structura lor țesături. Specific acestui test este faptul că epruveta, de formă rectangulară, este prelevată pe o direcție la 45° față de direcția firelor de urzeală și implicit și față de direcția firelor de bătătură. O altă particularitate a acestui test este aceea că epruveta trebuie să aibă lățimea egală cu jumătate din lungimea liberă a epruvetei (lungimea dintre bacuri).

Faza de analiză se realizează, pentru ambele simulări, de către programul Ls-Dyna 971. Pentru materialul epruvetei a fost utilizat modelul de material Composite Fabric (materialul nr. 34 din biblioteca de materiale a Ls-Dyna). Tipul de element finit a fost Thin Shell 163 cu un număr de 7 puncte de integrare pe grosimea elementului.

Pentru anumite noduri din rețea se stabilesc condiții de frontieră, în cazul de față cu referire la fixarea epruvetei în zona bacului fix sau la impunerea condițiilor de deplasare în zona bacului mobil. Pentru aceasta au fost create două componente

nodale (denumite "fix" și "mobil". Se precizează în continuare evoluția temporală a procesului de încercare, prin definirea valorii incrementului de timp și a numărului necesar de incremente. În figurile 5 și 6 sunt prezentate rezultatele obținute pentru cele două simulări pentru deformația principală ε_1 (pentru încercarea la întindere uniaxială) respectiv deformația echivalentă Von Mises ε_{VM} (pentru testul Bias).

Comparând valoarea maximă a deformației principale ε_1 la finalul cursei (34 mm) pentru încercarea la întindere uniaxială cu valoarea obținută în urma încercării experimentale la tracțiune uniaxială pe direcția bătăturii a unei epruvete acoperite cu silicon se observă o bună concordanță în ceea ce privește rezultatul: 26.97% – simulare respectiv 27.23% obținut experimental. Aceleași lucruri se pot spune și despre testul Bias.

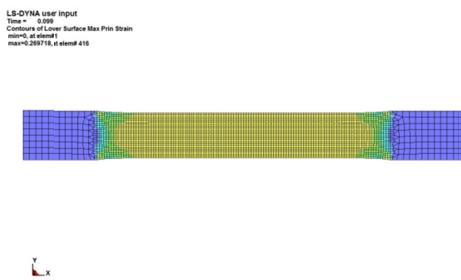


Fig. 5 Deformația principală ε_1 pentru încercarea la întindere uniaxială

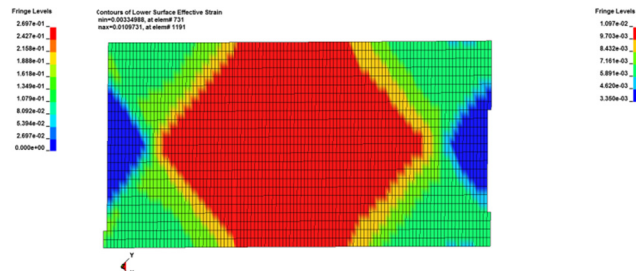


Fig. 6 Deformația echivalentă Von Mises ε_{VM} pentru testul Bias

În continuare a fost rulată o analiză inversă pentru determinarea parametrilor de material introduși în programele de simulare pentru materialele compozite cu suport textil. Originalitatea metodei de determinare a parametrilor care definesc legea de comportare prin analiză inversă, constă în aceea că, în locul metodelor clasice de determinare a factorilor care stabilesc comportarea materialelor, metode care nu țin seama de condițiile reale la care este supus materialul semifabricatului, metoda propusă ține cont de starea de solicitare care este prezentă în material și determină parametrii cu o eroare cât mai mică.

Analiza inversă constă practic în modelarea geometrică prin metoda elementului finit a modelului fizic pe care urmează să se realizeze cercetările, și simularea procesului real. În paralel cu aceasta, modelul fizic este solicitat în condiții identice cu cele aplicate modelului geometric discretizat măsurându-se anumiți parametri de răspuns. Principiul identificării parametrilor (P) care definesc legile de comportare este de determinare a coeficienților de comportament ce micșorează o funcție "cost" (Q) care exprimă de fapt diferența dintre valoarea calculată pe baza simulării numerice și cea măsurată în cercetarea experimentală.

În prezenta analiză de optimizare am dorit identificarea valorilor corecte ale datelor de material pe baza testului la întindere echibiaxială. Astfel, ca și metodă de

optimizare a fost aleasă metoda suprafeței de răspuns (response surface methodology) iar ca funcții obiectiv au fost alese două criterii și anume un criteriu pentru forță și unul pentru deformația principală ε_1 .

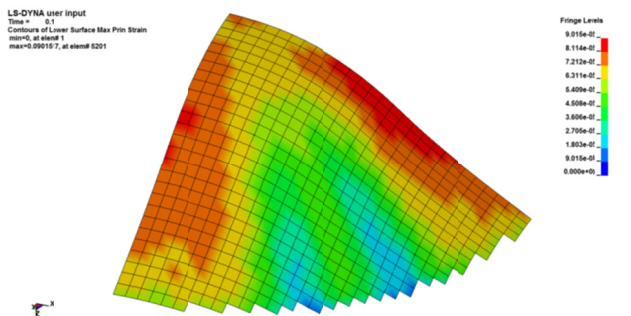


Fig. 7 Deformația principală ε_1 la finalul cursei de lucru obținută pe baza simulării numerice cu datele de material corectate în urma analizei de optimizare

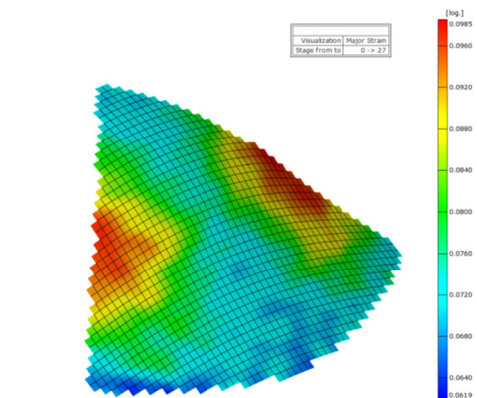


Fig. 8 Deformația principală ε_1 la finalul cursei de lucru obținută experimental cu ajutorul analizorului optic Aramis

Parametrii care urmează să fie optimizați sunt așa cum am menționat datele de material ale modelului de material 34 (Fabric) din Ls-Dyna. Mai exact, acești parametri sunt: modulele de elasticitate longitudinale pe direcția firelor de urzeală și de bățatură, modulul de elasticitate transversal, coeficientul contracției transversale și coeficientul de frecare dintre epruveta din țesătură de poliamidă și poansonul metalic. Am obținut pe baza analizei de optimizare următoarele valori optime pentru datele de material și coeficientul de frecare: modulul de elasticitate pe direcția firelor de urzeală $E_A = 4020$ MPa, modulul de elasticitate pe direcția firelor de bățatură $E_B = 4910$ MPa, modulul de elasticitate transversal $G_{AB} = 891$ MPa, coeficientul contracției transversale $\nu_{AB} = 0.356$ iar coeficientul de frecare $\mu = 0.11$.

În figurile 7 și 8 sunt prezentate rezultatele obținute pentru testul de întindere echibiaxială cu datele de material obținute în urma analizei de optimizare și rezultatele obținute pentru aceeași încercare experimentală.

Se poate observa cu ușurință faptul că rezultatele sunt foarte apropiate nu numai din punct de vedere al valorilor maxime ale mărimilor măsurate ci și în privința distribuției deformațiilor pe suprafața epruvetei.

5. METODOLOGIA CERCETĂRII EXPERIMENTALE ȘI INSTALAȚIILE EXPERIMENTALE UTILIZATE

Cercetările experimentale prezentate în teza de față pot fi defalcate pe două direcții și anume: cercetări experimentale care au ca scop determinarea caracteristicilor reale de material pentru firele de poliamidă PA 6.6 utilizate atât la simularea numerică (analiza prin metoda elementului finit) cât și la etapa a doua a

studiului experimental și anume a cercetărilor experimentale legate de comportarea mecanică a țesăturilor de poliamidă PA 6.6 neacoperite sau acoperite cu silicon sau alți oxizi care au apărut mai recent în industria textilă.

Metodologia de cercetare experimentală elaborată are în vedere compararea rezultatelor obținute teoretic cu cele determinate experimental în vederea validării rezultatelor teoretice obținute prin analiză numerică, prin metoda elementelor finite, în ceea ce privește comportarea materialelor compozite cu structură textilă.

Încercările s-au realizat utilizându-se instalații experimentale aflate în dotarea Universității "Lucian Blaga" din Sibiu, a Universității din Debrecen sau în urma unor colaborări cu firme de profil de pe platforma industrială din Sibiu. Acestea au fost:

- Mașină de încercat la tracțiune de tip Instron 5587;
- Mașină de încercat la tracțiune de tip Instron 4303;
- Sistemul optic de măsurare al deformațiilor - Aramis;
- Microscop electronic SEM pentru determinarea comportării microstructurale.

Mașinile universale de încercat la tracțiune, compresiune și flambaj Instron 5587 și 4303 sunt niște instrumente universale de testare compuse din două sisteme principale: o traversă mobilă și sistemul de control, care aplică sarcinile de întindere sau compresiune materialului. Sistemul optic de măsurare Aramis permite determinarea deformațiilor atât la încercările de întindere uniaxială sau la testul Bias cât și la încercările de întindere echibiaxială. Un microscop electronic cu scanare (Scanning Electron Microscope – SEM) este un microscop electronic care produce imagini ale unei probe studiate prin scanarea acesteia cu ajutorul unui fascicol focalizat de electroni. Astfel, electronii din fascicol sunt focalizați și interacționează cu atomii probei studiate producând astfel semnale care pot fi detectate optic și care pot conține informații despre topografia suprafeței probei studiate, dar și despre compoziția acesteia.

Pentru realizarea practică a experimentărilor a fost necesară proiectarea mai multor standuri experimentale care să permită aplicarea diferitelor variante de lucru. Dintre standurile proiectate, unul este pentru determinarea caracteristicilor mecanice ale țesăturilor supuse la întindere uniaxială și este folosit și pentru testul tip Bias, altul este utilizat la determinarea comportării la forfecare a materialelor de acest tip iar cel de-al treilea este destinat încercărilor la întindere echibiaxială.

Standul utilizat la încercările la întindere uniaxială și testul Bias (Fig. 9) este conceput din două părți identice. Partea superioară se montează pe traversa superioară a mașinii Instron (1) care culisează pe coloanele de ghidare (2). Partea superioară (4) este fixată de captorul de forță (3) prin intermediul unei flanșe de prindere. Partea inferioară a standului (5) se montează tot cu ajutorul unei flanșe pe masa cu canale "T" (6) prin intermediul a șase șuruburi M10. La rândul ei, masa cu

canale "T" se fixează pe batiul mașinii (7) tot prin intermediul unor șuruburi. Standul este conceput de așa natură încât odată cu deplasarea traversei mobile să nu se desfacă epruveta textilă de pe rola pe care a fost prinsă.

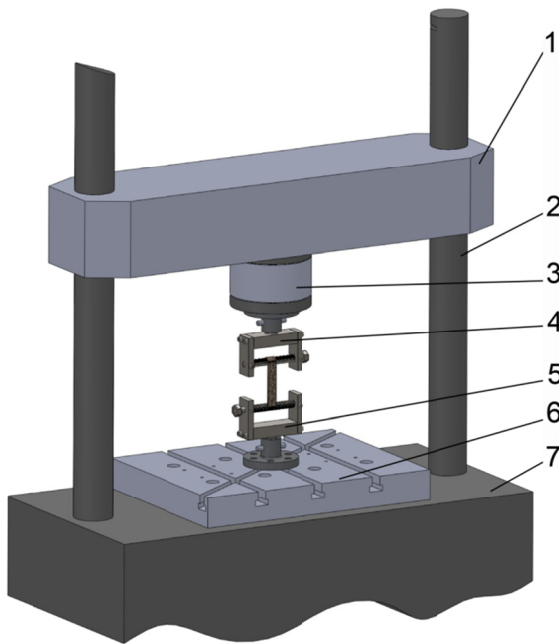


Fig. 9 Standul pentru realizarea încercării la tracțiune și a testului Bias montat pe mașina de încercare la tracțiune, compresiune și flambaj Instron 5587

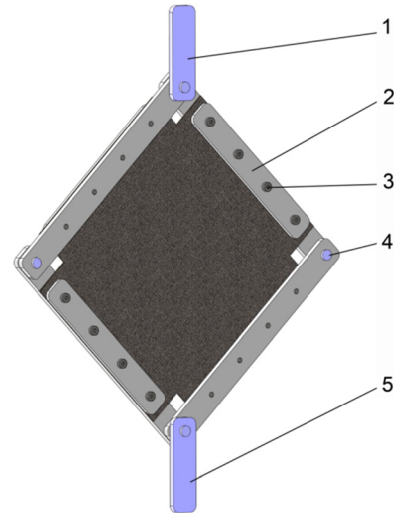


Fig. 10 Stand pentru determinarea comportării la forfecare

Un alt test, care folosește standul din figura 10, este testul pentru încercarea la forfecare a materialelor compozite cu suport textil. În cadrul acestui test, un cadru metalic din patru brațe de lungime egală (2) este montat pe o mașină de încercare la întindere uniaxială prin prinderea capătului liber superior (1) în bacul superior (bacul mobil) iar a capătului inferior (5) în bacul inferior (bacul fix). Prinderea epruvetei din material compozit textil se realizează între perechile de brațe (2) pe care, pentru evitarea strivirii materialului, au fost lipite benzi de cauciuc care ajută totodată și la creșterea aderenței între epruvetă și sistemul de fixare. Fiecare latură a epruvetei este fixată prin intermediul a patru șuruburi M5 (3). Pentru a se evita suprapunerea materialului epruveta este decupată în cele patru colțuri. Pe cealaltă diagonală a epruvetei se regăsesc și două articulații cilindrice (4) care permit rotirea brațelor.

6. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND COMPORTAREA MATERIALELOR COMPOZITE CU SUPORT TEXTIL

Cercetările experimentale prezentate în prezenta teză de doctorat sunt structurate pe două direcții importante, și anume: comportarea materialelor care intră

în componența materialelor compozite cu suport textil și comportarea materialelor compozite care au în structură țesături.

În vederea realizării cercetărilor experimentale referitoare la caracteristicile mecanice ale firelor de poliamidă PA 6.6, s-a stabilit un algoritm de cercetare experimentală care conține următoarele etape: evidențierea și ierarhizarea factorilor semnificativi, alegerea modelelor matematice ale caracteristicilor considerate, programarea experimentului, alegerea condițiilor de experimentare, efectuarea experimentelor, determinarea coeficienților modelelor, verificarea adecvănței modelelor determinate, verificarea semnificației coeficienților și determinarea intervalelor de încredere.

În acest caz, s-a folosit un program experimental factorial de tipul 3^2 în care variabilele independente (viteza de încercare și temperatura de încercare) au fost modificate pe trei niveluri de variație. Acest program conține nouă experimente, dar pentru determinarea erorii experimentale în fiecare punct experimental s-a repetat de cinci ori întregul program obținând astfel un număr de 45 experimente.

Din graficele obținute pentru testele de tracțiune pentru poliamidă PA 6.6 se poate observa că există două regiuni distincte pe curbele tensiune reală-deformație reală. Prima regiune este zona de început care definește comportamentul hiperelastic al poliamidei PA 6.6. Cea de-a doua zonă este caracterizată de scăderea bruscă a valorii tensiunii ceea ce indică scăderea capacității la tracțiune suportată de fir. Ultima regiune conține și zona de rupere a materialului

În graficele din figurile 11 respectiv 12 sunt prezentate dependențele tensiunii reale și alungirii reale în funcție de cei doi parametri analizați.

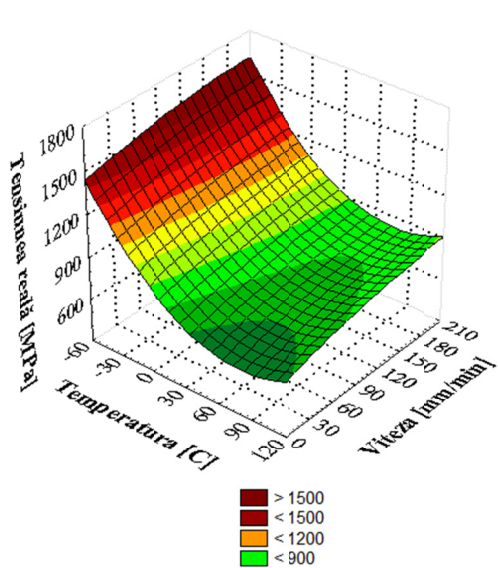


Fig. 11 Graficul de dependență al tensiunii reale maxime maxime în funcție de T și v

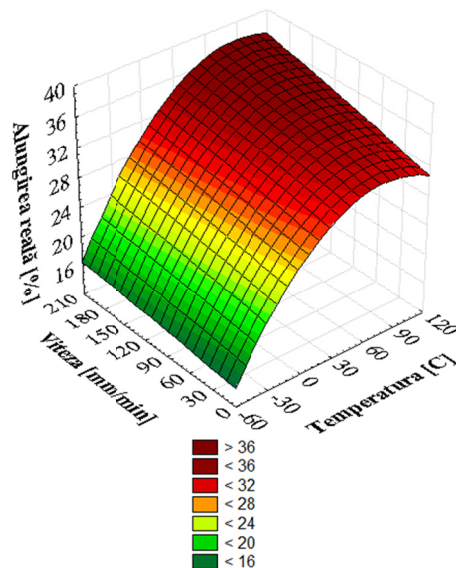


Fig. 12 Graficul de dependență al alungirii reale maxime maxime în funcție de T și v

Principala concluzie care se poate trage este aceea că rezistența la rupere a firelor de poliamidă 6.6 scade odată cu creșterea temperaturii și crește odată cu creșterea vitezei de deformație.

Pentru a determina comportarea materialelor compozite care au la bază țesături din punct de vedere macrostructural (având în vedere necesitatea introducerii datelor de material în programele de simulare numerică) am apelat la câteva tipuri de încercări mecanice cum ar fi: încercarea la întindere uniaxială, încercarea la întindere echibiaxială, testul Bias și încercarea la forfecare.

Cea mai veche metodă de testare a comportării materialelor este încercarea la întindere uniaxială. Epruveta este fixată la ambele capete și deformată la o viteză constantă (sau nu), pe o mașină de încercat la tracțiune, până la rupere. Forța aplicată este măsurată cu ajutorul unui captor de forță iar deformația cu ajutorul unui extensometru. Pentru derularea cercetărilor am folosit standul experimental proiectat pentru evitarea strivirii firelor, mașina de încercare la tracțiune, compresiune și flambaj Instron 5587 și sistemul optic de măsurare a deformațiilor Aramis (fig. 13). Datele obținute pot fi reprezentate grafic direct în coordonatele forță-deplasare (fig. 14).

Pentru derularea încercărilor s-au prelevat seturi de câte cinci epruvete pentru fiecare tip de material adică pentru țesătură crudă (neacoperită) de poliamidă PA 6.6 și pentru același tip de țesătură acoperită cu silicon atât pe direcția firelor de urzeală cât și pe direcția firelor de bătătură. Forma epruvetelor a fost cea standard pentru acest tip de încercare.

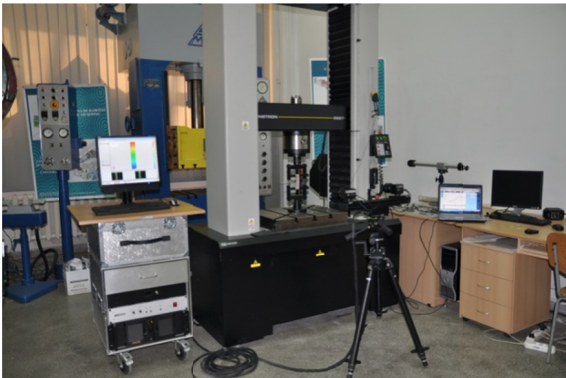


Fig. 13 Mașina de încercare Instron 5587 cu sistemul optic de măsurare Aramis utilizat la încercările la întindere uniaxială

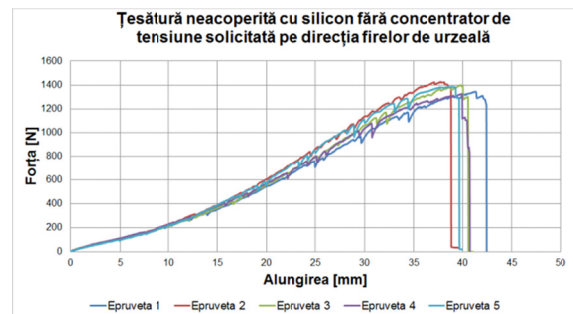


Fig. 14 Curba caracteristică forță – alungire pentru epruvete neacoperite cu silicon, fără concentrator de tensiune solicitate pe direcția firelor de urzeală

Principalele concluzii care se pot trage după încercările experimentale de întindere uniaxială pentru țesături acoperite sau neacoperite cu silicon, prelevate pe direcția firelor de urzeală sau de bătătură sunt:

- la solicitarea la întindere uniaxială, forța maximă prezintă valori mai mari dacă solicitarea se realizează pe direcția urzelii comparativ cu cazul în care solicitarea se realizează pe direcția bătăturii;

- la solicitarea la întindere uniaxială, alungirea maximă prezintă valori mai mari dacă solicitarea se realizează pe direcția bătăturii comparativ cu cazul în care solicitarea se realizează pe direcția urzelii;

Deoarece aceste materiale compozite cu suport textil sunt materiale care se utilizează la fabricarea airbag-urilor ele nu se vor regăsi în componența airbag-urilor în forma în care provin din războaiele de țesut ci vor suferi o serie de perforări de diametre diferite necesare la montaj, la introducerea capselor pirotehnice etc. Din această cauză am considerat util un studiu comparativ între comportarea acestor materiale acoperite și neacoperite cu silicon în cazul existenței sau inexistenței unui concentrator de tensiune. Forma epruvetelor a fost cea standard pentru acest tip de încercare dar în plus fiecărei epruvete i s-a realizat o perforare cu diametrul Φ 10 mm în mijlocul ei. Figura 15 prezintă modul de rupere al unei epruvete cu concentrator de tensiune solicitată pe direcția firelor de bătătură iar figura 16 prezintă valorile deformației principale pentru aceeași epruvetă.

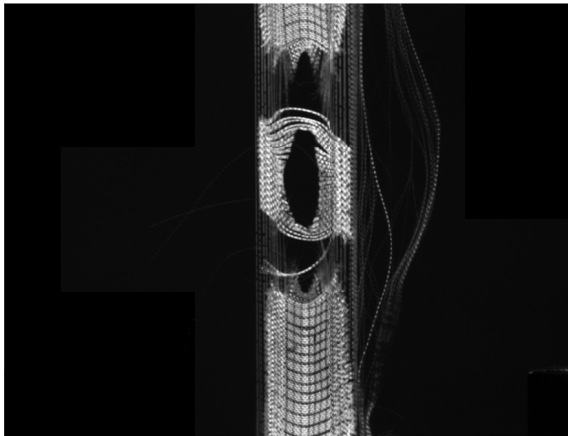


Fig. 15 Modul de rupere pentru o epruvetă țesută din poliamidă PA 6.6 acoperită cu silicon cu concentrator de tensiune solicitată pe direcția firelor de bătătură

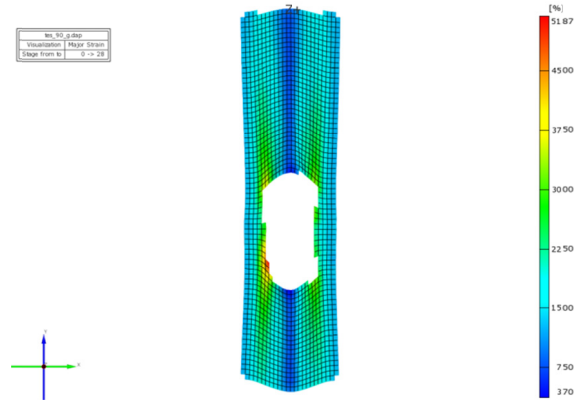


Fig. 16 Valorile deformației principale ϵ_1 pentru o epruvetă țesută din poliamidă PA 6.6 neacoperită cu silicon și cu concentrator de tensiune solicitată pe direcția firelor de bătătură

Concluziile care se pot trage în urma acestor încercări sunt:

- la solicitarea la întindere uniaxială, pentru epruvete cu concentrator de tensiune, atât valoarea forței maxime cât și a alungirii corespunzătoare ei scad comparativ cu cazul epruvetelor fără concentrator de tensiune;

- la solicitarea la întindere uniaxială, pentru epruvete cu concentrator de tensiune, unghiurile de forfecare determinate optic prezintă valori specifice solicitării de forfecare atât pentru epruvete acoperite cât și neacoperite dar și pentru epruvete solicitate pe direcția urzelii sau a bătăturii;

Airbag-urile nu sunt însă solicitate în funcționare la întindere uniaxială ci mai degrabă la o întindere biaxială. Din această cauză un subcapitol își propune să evidențieze comportarea materialelor compozite cu suport textil la o solicitare

echibiaxială. Am utilizat pentru această încercare un stand din dotarea Universității "Lucian Blaga" din Sibiu împreună cu analizorul optic Aramis.

Pentru testarea la întindere echibiaxială epruvetele fixate într-un sistem de prindere sunt solicitate prin intermediul unui poanson cu cap semisferic. Atât forța destinată fixării materialului cât și cea activă necesară acționării poansonului sunt realizate de două circuite hidraulice distincte. Desigur, din punct de vedere al cercetării din prezenta teză am fost interesată de determinarea curbei forță – deplasare pentru poanson. Cu ajutorul unor senzori de presiune și a unui sistem de achiziție și a pachetului software Matlab (prezentate și ele în capitolul 5) presiunea este transformată în tensiune electrică iar mai apoi în forță. Folosind o viteză constantă și achiziționând pe un alt canal variabila timp am putut determina perechile de puncte forță – deplasare pentru patru tipuri de epruvete: acoperite cu silicon și neacoperite, cu concentrator de tensiune și fără concentrator de tensiune. Datele obținute pot fi reprezentate grafic direct în coordonatele forță-deplasare.

Prin cuplarea standului de încercare cu sistemul optic de măsurare am putut determina și deformațiile principale, secundare, echivalente și mărimea calotei formate înaintea ruperii.

Pentru a putea determina deformațiile cu ajutorul sistemului optic de măsurare Aramis (fig. 17), epruvetele au fost pregătite în prealabil prin depunerea de data aceasta de stropi fini de vopsea neagră aplicați peste o vopsea albă mată aplicată anterior.



Fig. 17 Standul experimental cu sistemul optic de măsurare Aramis utilizat la încercările de întindere echibiaxială

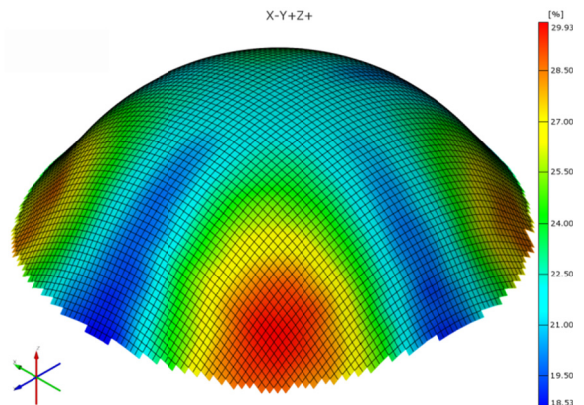


Fig. 18 Valorile deformației principale ϵ_1 pentru o epruvetă țesută din poliamidă PA 6.6 acoperită cu silicon și fără concentrator de tensiune solicitată la întindere echibiaxială

Au fost realizate atât încercări pe epruvete cu concentrator de tensiune cât și epruvete fără concentratori de tensiune acoperite sau neacoperite cu silicon. Figura 18 prezintă variația deformației principale pentru o epruvetă acoperită cu silicon fără

concentrator de tensiune. Principalele concluzii care se pot trage în urma încercării la întindere echibiaxială sunt:

- la solicitarea la întindere echibiaxială, atât forța necesară ruperii epruvetei cât și înălțimea maximă obținută a calotei sunt mai mari în cazul țesăturii acoperite cu silicon;

- la solicitarea la întindere echibiaxială valorile maxime ale deformației principale apar pe direcția firelor de bătătură dar se obțin apropiate de acestea și pe direcția firelor de urzeală;

- la solicitarea la întindere echibiaxială prezența concentratorului de tensiune conduce la scăderea rezistenței cu 45% iar a alungirii cu 24%.

Un alt test consacrat aplicat materialelor compozite care au în componența lor țesături este testul Bias. Denumirea acestui test provine de la modalitatea care stă la baza prelevării epruvetelor și anume la un unghi de 45° față de direcția firelor de urzeală și evident același unghi și față de direcția firelor de bătătură. De fapt testul Bias este tot un test de tracțiune dar care pune în evidență, datorită modului în care este prelevată epruveta, comportamentul la forfecare a materialului compozit sau a țesăturii. Testul este mai simplu decât alte teste specifice forfecării deoarece nu necesită utilizarea unor standuri speciale ci doar a mașinilor de încercare clasice. Specific acestui tip de test este faptul că deformațiile locale de la suprafața epruvetei nu sunt deloc omogene și există zone diferite pe suprafața epruvetei așa cum este prezentat în figura 19. Figura 20 prezintă valorile deformației echivalente Von Mises pentru o epruvetă acoperită cu silicon supusă testului Bias.

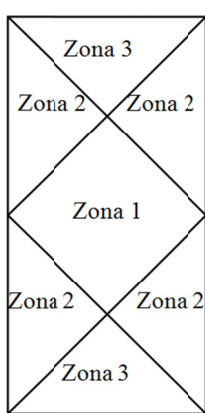


Fig. 19 Zonele de deformare care apar pe epruvetele compozite cu suport textil la testul Bias

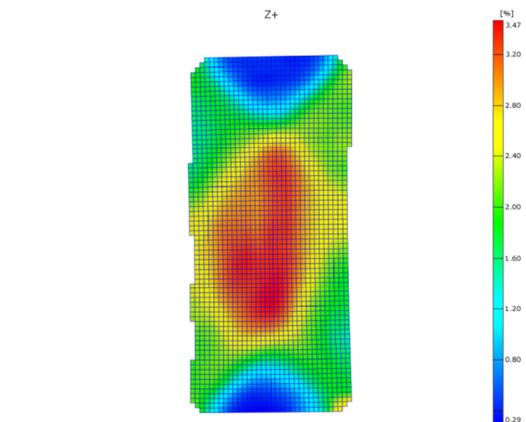
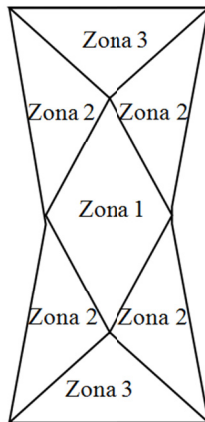


Fig. 20 Valorile deformației echivalente Von Mises ϵ_{VM} pentru o epruvetă din poliamidă PA 6.6 acoperită și fără concentrator de tensiune solicitată la testul Bias

Principalele concluzii care se pot trage în urma testului Bias sunt:

- valorile mai ridicate ale forței maxime care apare în încercare apar în cazul țesăturilor acoperite cu silicon față de cazul țesăturilor neacoperite;

- alungirea corespunzătoare forței maxime are valori mai mari în cazul țesăturilor acoperite cu silicon față de cazul țesăturilor neacoperite.

Testul care se utilizează cel mai des pentru evidențierea comportării la forfecare a materialelor compozite este așa numitul test cadru (*frame test*). Acest test presupune realizarea unui stand experimental. Standul este construit în așa fel încât prin translatarea capătului mobil al acestuia (fixat de traversa mobilă a mașinii de încercare) datorită celor două articulații, epruveta care este prinsă prin intermediul șuruburilor de fixare între brațele cadrului să fie solicitată la forfecare. Placa de achiziție a mașinii de încercare Instron permite determinarea unei curbe formate din perechile de puncte deplasare-forță aplicată. Prin calcule simple care au la bază legi trigonometrice sau mecanice se transformă această curbă într-o curbă în coordonatele unghi de forfecare – sarcină de forfecare (fig. 21).

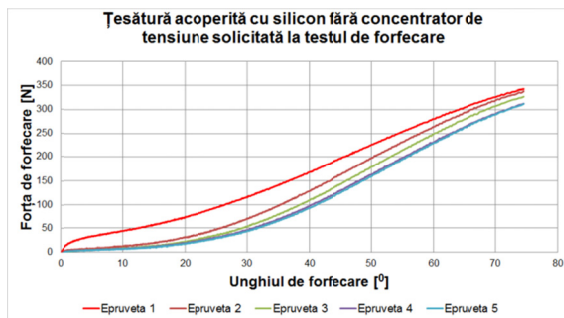


Fig. 21 Curba caracteristică forță de forfecare – unghi de forfecare pentru epruvete acoperite cu silicon, fără concentrator de tensiune solicitate la testul de forfecare

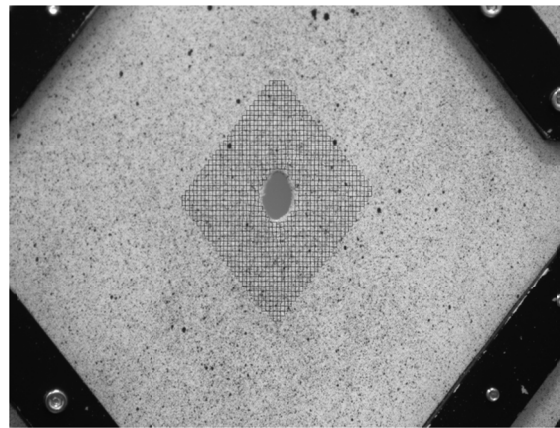


Fig. 22 Zona măsurată cu ajutorul analizorului optic în stadiu final

La fel ca și în cazul celorlalte încercări, au fost realizate încercări pentru epruvete cu concentrator de tensiune și fără concentrator de tensiune. La solicitarea de forfecare se observă că prezența concentratorului nu este atât de importantă, valoarea maximă a forței de forfecare a epruvetei cu concentrator fiind foarte apropiată de cea a epruvetei fără concentrator de tensiune. Și diferențele obținute între epruvetele acoperite cu silicon și cele neacoperite sunt destul de mici, desigur valoarea maximă fiind obținută pentru cele acoperite.

Se constată în ultima perioadă la nivel mondial încercarea de a înlocui siliconul la fabricarea airbagurilor. Acest lucru se datorează faptului că acesta îmbătrânește și fiind expus la perioade destul de îndelungate la temperaturi extreme (ridicate sau scăzute) își pierde din proprietățile mecanice pentru care este utilizat. Cele mai noi cercetări în acest domeniu sunt reprezentate de folosirea nanocompozitelor la

fabricarea nu doar a țesăturilor pentru airbaguri dar și într-o serie întreagă de alte ramuri ale industriei auto sau producătoare de bunuri de larg consum.

Primele cercetări referitoare la utilizarea nanotehnologiilor aplicate fibrelor textile sunt de dată foarte recentă, respectiv în anul 2009. În teza de față m-am limitat la obținerea a patru materiale nanocompozite care au la bază țesătura de poliamidă PA 6.6 utilizată și la celelalte cercetări pe care au fost depuse nanoparticule de WO_3 , SnO_2 , MnO și ZnO , datorită costurilor ridicate și greutăților întâmpinate la realizarea acestor materiale. Pentru o bună reproductibilitate a rezultatelor am realizat câte 5 epruvete pentru întindere uniaxială doar pe direcția firelor de urzeală (tot din considerente economice) și câte 5 epruvete pentru realizarea încercărilor la întindere echibiaxială.

Figurile 23 și 24 prezintă imaginile realizate pentru țesătura de poliamidă neacoperită (fig. 23) și materialul nanocompozit realizat din țesătură de poliamidă PA 6.6 și nanoparticule de ZnO (fig. 24) la magnificări de 1000X respectiv 1500 X.

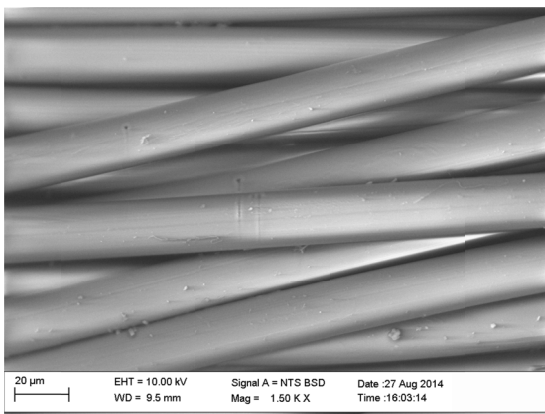


Fig. 23 Imagine surprinsă cu microscopul SEM pentru țesătura de poliamidă PA 6.6 neacoperită la o magnificare 1500 X

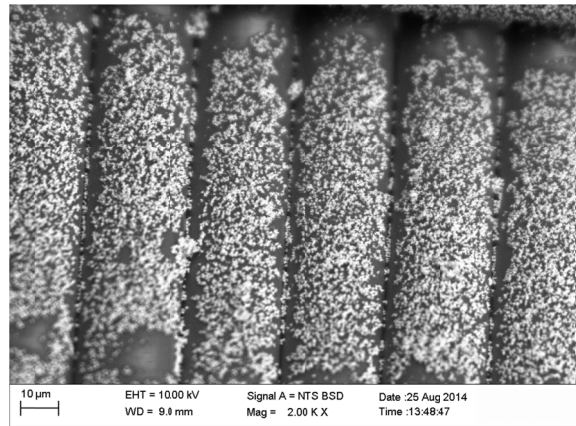


Fig. 24 Imagine surprinsă cu microscopul SEM pentru material nanocompozit format din țesătura de poliamidă PA 6.6 și nanoparticule de ZnO la o magnificare 2000 X

Concluziile care se pot trage în urma acestor încercări sunt:

- atât din punct de vedere al comportării uniaxiale cât și din punct de vedere al comportării echibiaxiale compozitele cu nanoparticule de ZnO și MnO se comportă cel mai bine în timp ce cele cu SnO_2 și WO_3 au un comportament apropiat de cel al țesăturii neacoperite;

- se poate spune că materialul nanocompozit cu nanoparticule de ZnO ar putea cu succes înlocui siliconul într-un viitor nu foarte îndepărtat, în condițiile în care costurile de fabricație vor putea fi reduse.

7. CONCLUZII FINALE. PRINCIPALELE CONTRIBUȚII ORIGINALE ALE LUCRĂRII

Prin teza de față s-au adus o serie de contribuții originale în ceea ce privește cunoașterea comportării mecanice a materialelor compozite cu suport textil acoperit cu silicon sau alte tipuri de oxizi, contribuții publicate de autoare în țară și străinătate, sau aflate în curs de publicare, după cum urmează:

Din punct de vedere teoretic:

- s-au sintetizat sub forma unui studiu bibliografic, majoritatea rezultatelor științifice și tehnice publicate în legătură cu materialele compozite armate cu țesături sau tricoturi;
- s-a elaborat o clasificare originală a materialelor textile care intră în componența materialelor compozite;
- au fost identificate mecanismele de deformare ale materialelor compozite armate cu țesături sau tricoturi;
- s-a elaborat stadiul actual în ceea ce privește metodele și tehnicile folosite în simularea numerică a materialelor compozite armate cu țesături sau tricoturi;
- s-a sintetizat stadiul actual al cercetărilor experimentale pentru aceste tipuri de materiale, identificându-se tipurile de solicitări și implicit încercările mecanice la care aceste materiale pot fi supuse;
- a fost elaborat un studiu privind modelarea comportării mecanice a materialelor compozite armate cu țesături, punându-se în evidență modelele mecanice reprezentative de celule elementare;
- au fost construite modelele geometrice tridimensionale pentru patru tipuri de țesături (pânză, satin, coș și picior de cocoș) în scopul exportării acestor modele într-un program de analiză prin metoda elementului finit;
- au fost realizate simulări numerice prin metoda elementului finit în domeniul elastic, la nivel mezosopic, pentru patru tipuri de țesături urmărindu-se determinarea tensiunii echivalente von Mises, a deformației echivalente și a deplasărilor nodale pentru cele patru tipuri de țesături. În baza acestor simulări numerice a fost realizat un studiu comparativ privind comportarea diferitelor tipuri de țesături la întindere uniaxială și biaxială;
- a fost realizată o analiză dinamică explicită prin metoda elementului finit în domeniul neliniar, la nivel macroscopic, pentru identificarea comportării mecanice la încercarea la întindere uniaxială a materialelor compozite care au în structura lor țesături;

- a fost realizată o analiză dinamică explicită prin metoda elementului finit în domeniul neliniar, la nivel macroscopic, pentru identificarea comportării mecanice la încercarea de tip Bias a materialelor compozite care au în structura lor țesături;
- s-a realizat modelul unei simulări dinamice explicite, parametrizate din punct de vedere al datelor de material pentru încercarea la întindere echibiaxială;
- a fost realizată o analiză dinamică explicită prin metoda elementului finit în domeniul neliniar, la nivel macroscopic, pentru identificarea comportării mecanice la încercarea la întindere echibiaxială a materialelor compozite care au în structura lor țesături;
- a fost elaborată o analiză inversă, bazată pe simularea în domeniul dinamic a testului de întindere echibiaxială, cu ajutorul căreia au fost identificate cu un grad de precizie cât mai ridicată, datele de material care contribuie la definirea comportării mecanice a materialele compozite care au în structura lor țesături;

Din punct de vedere experimental:

Cercetările experimentale au fost canalizate pe două direcții: una pentru determinarea caracteristicilor reale de material pentru firele de poliamidă PA 6.6 utilizate la simularea numerică (analiza prin metoda elementului finit) și cea de-a doua direcție, cea a cercetărilor experimentale legate de comportarea mecanică a țesăturilor de poliamidă PA 6.6 neacoperite sau acoperite cu silicon sau alți oxizi care au apărut mai recent în industria textilă.

Cercetările experimentale legate de determinarea caracteristicilor reale de material pentru firele de poliamidă 6.6 au cuprins următoarele contribuții originale:

- s-au efectuat, într-o primă fază, pe baza unor planuri experimentale bine stabilite, încercări la tracțiune pentru trei temperaturi diferite de încercare și cu, trei viteze diferite de încercare;
- a fost proiectat programul experimental pentru realizarea încercărilor la tracțiune a firelor de poliamidă 6.6;
- a fost elaborat, de către autoare, în programul Visual C++ un produs software care să permită determinarea tuturor tipurilor de date necesare pentru încercările care se pot realiza pe mașina de încercare;
- s-a efectuat prelucrarea statistică a datelor experimentale prin aplicarea testelor Student, Cochran și Fisher-Snedecor.

Cercetările experimentale strict legate de comportarea mecanică a țesăturilor de poliamidă 6.6 neacoperite sau acoperite cu silicon sau alți oxizi, cu sau fără concentratori de tensiune au cuprins următoarele activități:

- s-au elaborat strategii de experimentare pentru fiecare din direcțiile de cercetare experimentală luată în considerare;

- s-au realizat două standuri experimentale, unul pentru realizarea încercărilor la întindere uniaxială și a testului Bias și unul pentru determinarea comportării la forfecare, ambele standuri fiind în așa fel concepute încât să poată fi montate pe mașina de încercare la tracțiune din dotarea Facultății de Inginerie;
- s-a adaptat un stand din dotarea Facultății de Inginerie folosit pentru determinarea curbelor limită de deformare astfel încât să se poată realiza pe el încercările la întindere echibiaxială pentru materialele compozite care au ca suport țesături din poliamidă 6.6;
- s-a realizat etalonarea traductorului de presiune utilizat pentru determinarea forței la încercarea la întindere echibiaxială
- s-au realizat două instrumente virtuale, unul pentru achiziția de semnal și unul pentru filtrarea acestuia pentru determinarea forței la încercarea la întindere echibiaxială în programul Matlab;
- s-au efectuat cercetări experimentale pentru determinarea comportării materialelor țesute din poliamidă 6.6 acoperite sau neacoperite cu silicon, cu sau fără concentratori de tensiune la încercarea la întindere uniaxială pentru epruvete prelevate pe direcția firelor de urzeală și pe direcția firelor de bătătură;
- s-au efectuat cercetări experimentale pentru determinarea comportării materialelor țesute din poliamidă 6.6 acoperite sau neacoperite cu silicon, cu sau fără concentratori de tensiune la testul Bias;
- s-au efectuat cercetări experimentale pentru determinarea comportării materialelor țesute din poliamidă 6.6 acoperite sau neacoperite cu silicon, cu sau fără concentratori de tensiune la încercarea la forfecare;
- s-au efectuat cercetări experimentale pentru determinarea comportării materialelor țesute din poliamidă 6.6 acoperite sau neacoperite cu silicon, cu sau fără concentratori de tensiune la încercarea la întindere echibiaxială;
- au fost realizate analize cu ajutorul unui microscop SEM pentru țesături din poliamidă 6.6 impregnate cu diverși oxizi;
- s-au efectuat cercetări experimentale pentru determinarea comportării materialelor țesute din poliamidă 6.6 acoperite cu alți oxizi, fără concentratori de tensiune la încercarea la întindere uniaxială;
- s-au efectuat cercetări experimentale pentru determinarea comportării materialelor țesute din poliamidă 6.6 acoperite cu alți oxizi, fără concentratori de tensiune la încercarea la întindere echibiaxială.

Direcții de cercetare ulterioare

Problematica abordată în prezenta teză de doctorat contribuie la o mai bună cunoaștere a comportării mecanice a materialelor compozite care au în componență țesături. Având în vedere tendințele actuale la nivel mondial în domeniul materialelor

compozite, se întrevăd noi preocupări legate de aceste materiale, în continuare rămânând deschise spre abordare direcții de cercetare precum:

- înlocuirea poliamidei ca material care stă la baza țesăturilor cu alte materiale polimerice;
- modificarea tipului țesăturii (legătura de tip pânză) cu alte tipuri de țesături;
- studiul influenței altor oxizi utilizați ca materiale de acoperire nu doar asupra comportării mecanice ci și termice a acestor materiale mai ales că utilizarea siliconului se pare că devine incertă datorită faptului că procedeele de depunere sunt neecologice;
- elaborarea unor modele matematice mai apropiate de comportarea reală a acestor materiale decât cele existente în momentul de față;
- realizarea unor subrutine de material specifice fiecărui tip de țesătură și acoperire care să țină cont de toate solicitările la care sunt supuse aceste materiale;
- realizarea de studii reologice care să pună în evidență comportarea la frecare a acestor materiale.