

SIMULATION DE RÉSISTENCE À LA TRACTION ET COMPRESSION DANS UN COMPOSITE MACROMOLÉCULAIRE

Maria Cristiana ENESCU¹

Nanoparticulele, ca de exemplu dioxidul de siliciu au fost utilizate pe scară largă pentru ranforsarea sistemelor polimerice. Fabricarea de nanocompozite și incorporarea nanoparticulelor în matricea de polimer oferă o metodă de obținere a materialelor hibride care să integreze caracteristicile fiecărui component în materialul final obținut. Amestecul de substanțe organice și anorganice conduce la obținerea unui material nou cu proprietăți superioare componentelor separate. Studiul prezintă simularea analizei rezistenței la tracțiune, respectiv compresiune a unui compozit macromolecular ranforsat cu particule anorganice de silice. Simularea se realizează utilizând programul Soldworks și CosmosWorks.

Nanoparticles such as silica have been widely used for reinforcing polymer systems. Incorporation of nanoparticles in the manufacture of nanocomposite polymer matrix provides a method for obtaining hybrid materials that integrate the characteristics of each component in the final material obtained. The mixture of organic and inorganic substances has lead to a new material with superior properties separate components. The study performs the analysis simulation of tensile strength, compression respectively of a reinforced macromolecular composite with silica inorganic particles. Simulation has been performed by the program Soldworks and CosmosWorks.

Nanoparticules telles que la silice ont été largement utilisées pour renforcer des polymères. La fabrication des systèmes nanocomposites et l'incorporation de nanoparticules dans une matrice polymère fournit une méthode pour obtenir des matériaux hybrides qui intègrent les caractéristiques de chaque composant dans le matériau final obtenu. Le mélange de substances organiques et inorganiques, conduit à un nouveau matériau avec des propriétés supérieures a les éléments distincts. L'étude présente une simulation de la résistance à la traction et aussi à la compression d'un composite macromoléculaire renforcée avec des particules inorganique de silice. La simulation est fait en utilisant le programme Soldworks et COSMOSWorks.

Mots-clés: polyimide, nanocomposites, traction, compression, composites macromoléculaires

¹ Chargée de cours, Département des Matériaux, Equipements, Installations et Robotique, Université "Valahia" de Targoviste, e-mail : cristiana_enescu@yahoo.com

1. Introduction

Nanoparticules telles que la silice ont été largement utilisés pour renforcer les systèmes de polymères et fabriquer des nanocomposites [1, 2]. Le mélange de matières organiques et inorganiques dans les matériaux composites conduit à fabrication de nanocomposites. L'ajout de très petites quantités de produits complémentaires fait une amélioration notable sur les propriétés mécaniques, physiques et thermiques. Ces propriétés caractéristiques se réfère à une force élastique élevée, résistance au fluage, la rigidité donnée par les nano-filler, la résistance thermique, un coefficient d'expansion faible. La matrice de polymère constitue la base de ténacité, la ductilité et la résistance à l'usure du matériau[3-8]. La mise en valeur des propriétés est maximisée avec une dispersion nanométrique, lorsque la plaquette d'argile est exfoliée et l'efficacité de renforcement des nanocomposites peuvent grandement améliorer grâce à la grande surface [9, 10]. La dispersion effective des particules anisotropes tels que les fibres courtes et des plaquettes dans la matrice polymère avec une adhérence interfaciale entre charge et polymère, peut grandement améliorer le renforcement de la matrice de polymère. D'ailleurs, la dispersion des couches simples dépend grandement des techniques de transformation, comme le mélange de solution, fusion du composé et polymérisation [11, 12].

Les matériaux composites constitués de deux matériaux de natures différentes, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont l'ensemble des performances est supérieur a celui des composants pris séparément. Dans le cas des matériaux composites macromoléculaire, la matrice est un matériau organique comme les polymères ou copolymères. En tant que renfort on peut utiliser les particules inorganiques, les fibres, les matières textiles, les fibres ligneuses. etc. Les composites à matrice polymère possèdent des caractéristiques mécaniques remarquables. C'est l'effet d'énergies de collage élevée entre les atomes différents, issues de la chaîne macromoléculaire. Au fil du temps, sur les forces de différents produits finis pourrait agir, telles que les forces de traction, le cisaillement, de flexion, de compression et de traction [13]. Les contraintes mécaniques supportées par ces matériaux composites donner lieu à des déformations.

Celles-ci pourraient être les suivantes:

- déformation élastique, entre la force et la déformation; il y a une dépendance linéaire, la dernière étant réversible et ne dépendant pas du temps;
- déformations élastiques - retardée, la déformation est réversible, mais dépend du temps;
- déformation plastique, qui est permanente.

Une caractérisation précise des propriétés mécaniques des matériaux polymères composites permet à la fois de projeter d'une manière précise des produits finis et d'anticiper la connaissance du comportement entre eux dans les processus de service en cours.

Dans ce qui suit, l'auteur propose une méthode pour la simulation des essais de traction, est de compression pour un polymère de type polyimides (PI), renforcé avec des particules de silice. La simulation a été réalisée utilisant l'analyse par éléments finis, qui consiste à diviser la structure en petits segments, chaque segment ayant des propriétés physiques spécifiques.

2. Matériaux utilisés

Les polyimides (PI) sont utilisés comme matières organiques dans les matériaux composites macromoléculaires. Notre étude utilise un composite PI - silice, d'un diamètre de 50 nm pour les particules inorganiques. On a utilisé trois familles de matériaux composites, avec des pourcentages différents de l'agent de renforcement, PI - 5% silice, PI - 10% silice et PI - 15% silice, de respectivement. Le composite avec le plus haut pourcentage de silice (15%) a été le plus performant avec le meilleur comportement. On a pris en compte pour la simulation de la traction et aussi l'analyse de résistance à la compression. Dans le tableau no.1, sont présentés les propriétés mécaniques des matériaux utilisés.

Tableau no. 1

Les propriétés mécaniques des matériaux composites utilisés

Densité (kg/dm ³)	Module d'élasticité (GPa)	Résistance à la traction (MPa)	Allongement à la rupture (%)	Temperature (°C)
1,5	15	40	<1	210

3. Resultats et Discussion:

a. essais mécaniques

Les essais de traction ont été réalisés à température ambiante, sur une machine universelle de traction, équipé d'une cellule de 5kN. Pour la famille PI-silice les essais ont été effectués sur des éprouvettes haltères de $L = 80 \text{ mm}$ et $10 \times 4 \text{ mm}^2$ section. La vitesse de déformation initiale a été fixée à $0.1\% \text{ s}^{-1}$.

Les essais de compression ont été effectués à température ambiante, sur une machine Instron équipée d'une cellule de 50kN et d'une cage de compression. La géométrie des éprouvettes de la famille PI-silice consiste en des cubes de 6 mm de côté. Ils ont été soumis à une vitesse de déformation initiale de $0.5\% \text{ s}^{-1}$.

Dans les essais de compression réalisés sur les nanocomposites étudiés, l'étude du seuil d'écoulement est relativement peu entravé par des phénomènes d'endommagement. Leur influence est néanmoins visible aux plus grandes déformations. En traction, tous les mécanismes activés par la pression hydrostatique positive naissant dans le matériau composite entrent en compétition. En particulier, la cohésion du renfort (l'agrégat de silice) et celle de la matrice vont alors potentiellement jouer un rôle non négligeable.

Comme la fraction volumique intervient sur la traction ductile/quasi-fragile des polymères chargés, l'état de dispersion ou la taille du renfort jouent en fait dans le même sens. C'est ce qui est illustré sur la Fig. 1, où le comportement en traction du composite PI 15% est confronté à celui de la matrice. Dans la Fig. 2 sont illustrés les résultats des essais de traction sur les composites PI 10% et PI 15% et aussi sur la matrice PI.

En accord avec les résultats des essais de compression (fig.2), la contrainte associée au seuil d'écoulement du composite renforcé par les particules de silice les plus agrégées est celle du composite PI 15%

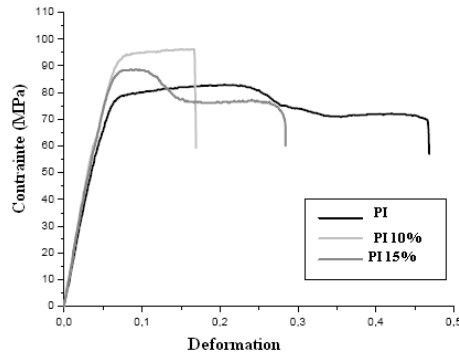


Fig. 1. Essais de traction à température ambiante sur les composites PI-silice

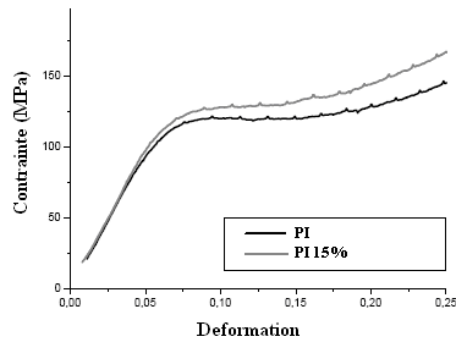


Fig. 2. Essais de compression à température ambiante sur les composites PI-silice

Par ailleurs, la rupture du système PI 10% intervient pendant le développement de l'instabilité plastique au sein de l'éprouvette. On notera qu'elle survient alors que la striction est déjà en train de se propager au sein du composite PI 10%.

Dans leur étude portant sur les mécanismes d'endommagement, Kim et al. [14] observent aussi la déformation sous traction d'agrégats de silice dans une matrice de polyéthylène. Ils remarquent la naissance des mécanismes d'endommagement de ces structures complexes: ils en déduisent que, malgré la

présence d'entités inorganiques rigides, l'agrégat doit être considérable dans son ensemble comme une particule molle.

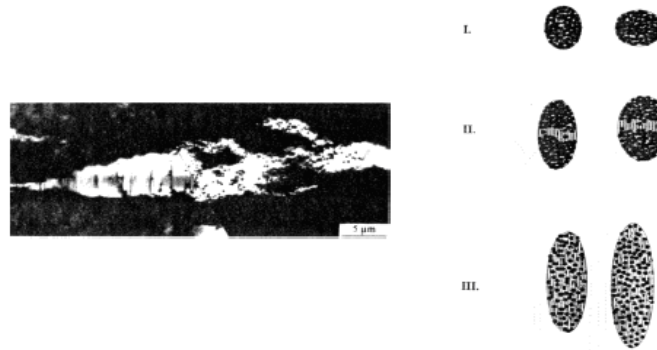


Fig.3. Micrographie d'un composite PE/Silice déformé et mécanisme correspondant

De leurs observation, illustrées par la micrographie de la Fig. 3, Kim et al. suggèrent que l'état de contraintes autour de l'agrégat peut être tel qu'il conduit à son éclatement en entités plus petites. Si le polymère n'a pu mouiller entièrement les particules prises dans l'agrégat, la décohésion s'en trouve facilitée. Par ailleurs, les distances entre particules étant fortement réduites dans l'agrégat, les mécanismes de déformation plastique de la matrice sont largement activés dans cet état.

Sous l'application d'une déformation croissante, des cavités peuvent prendre naissance au sein de cette matrice piégée dans la structure inorganique agrégée, ils peuvent se développer et coalescer pour conduire à une fracture transparticulaire de l'agrégat. Si la concentration de ces fractures ou leur taille devient critiques, elles seront l'amorce de la ruine microscopique du polymère chargé.

b. Simulation des essais de traction et compression

La simulation des essais a été réalisée en utilisant le programme de modélisation SolidWorks [15] et d'analyse par éléments finis du programme Cosmos Works [16, 17]. Les éprouvettes expérimentales étudiées ont été axialement chargées avec une charge de 500 N et les résultats obtenus sont présentés dans les Figs. 4, 5 et 6. Dans le cas d'analyse par éléments finis: il faut diviser la structure en petits segments, chaque segment ayant des propriétés physiques spécifiques.

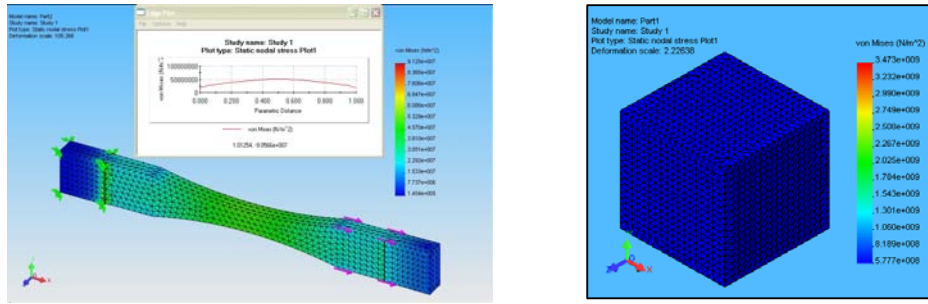


Fig. 4. La répartition des tensions von Misses dans l'éprouvette testée :

a. traction

b. compression

La répartition des tensions équivalentes de von Mises est représentée dans le schéma central de la fig.4, pour les nœuds de la structure situés aux bords arrondis de l'éprouvette. Ces tensions ont des valeurs entre 24 et 50 MPa. Les flèches vertes représentent les points de fixation de l'éprouvette et les flèches roses représentent le chargement de charges externes de 500 N.

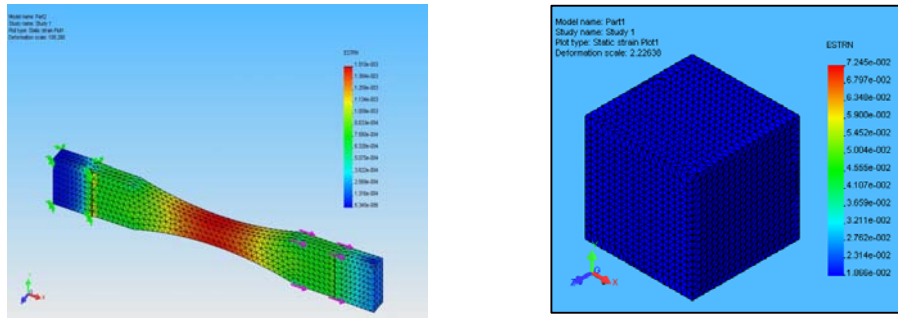
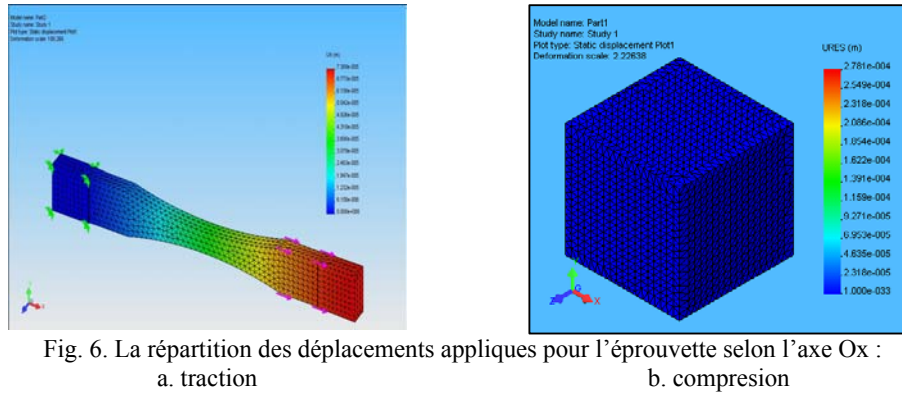


Fig. 5. La répartition des déformations équivalentes spécifiques ESTRN dans l'éprouvette testée :

a. traction

b. compression

La répartition des déformations spécifiques ESTRN est représentée dans la diagramme de la fig.5, et leur valeurs sont entre $6.34 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}/\text{mm}$ et $1,51 \mu\text{m}/\text{mm}$. Les valeurs maximales de $1,51 \mu\text{m}/\text{mm}$ représentent la zone de serrage de l'éprouvette.



La répartition du déplacement selon l'axe Ox est représentée en Fig. 6 et ils sont entre 0 mm dans la zone de serrage et 73, 89 μm . Les valeurs maximale calculées correspondent à la zone d'action de la traction.

4. Conclusion

Les résultats de cette étude comparative conduit à l'idée que les mécanismes de déformation plastiques qui se développant au sein du polyimide se manifestant par un chargement de volume du matériau. Néanmoins, on observe que l'introduction de charges rigides dans la matrice entraîne des phénomènes de cavitation supplémentaires. Par ailleurs, dans cet essai à nouveau, les composites PI – silice se différencient l'un de l'autre, bien qu'ils contiennent des pourcentages différents de l'agent renforcé.

Prenant en considération les données expérimentales obtenues et les résultats de la simulation avec le programme SolidWorks on peut constater que le renforcement de polyimide avec des particules inorganiques, conduit à des meilleures propriétés mécaniques d'améliorées des matériaux obtenus, élargissant ainsi leur utilisation industrielle. Ces matériaux peuvent être souvent utilisés dans l'électronique, pour les câbles flexibles et aussi dans l'aéronautique

BIBLIOGRAPHIE

- [1] T.J. Pinnavia, G.W. Beall, Polymer-clay nanocomposites, John Wiley & Sons Ltd., New York, 2000
- [2] M.S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, P. Avouris, Carbon nanotubes: synthesis, structure, properties and applications, Springer, 2001, p. 447
- [3] T.S. Srivatsan, M. Al-Hajri, C. Smith., M. Petraroli, The tensile response and fracture behavior of Al alloy metal matrix composite, Mater Sci.Eng A 2003, 346:91-100
- [4] H.W. Nam, G.A. Aggag, K. Takahashi, K.S. Han, The dynamic behavior of metal matrix composites under low-velocity impact, Compos Sci. Technol 2000, 60:817-23

- [5] *N. Clawla., Y.L. Shen*, Mechanical behavior of particle reinforced metal matrix composites, *Adv.Eng Mater* 2001, 3(6): 356-70
- [6] *T.J.A. Doel, P. Bowen*, Tensile properties of particulate metal-matrix composites, *Compos Part A* 1996, 27A:655-66
- [7] *T.J.A. Doel, M.H. Loretto, P. Bowen*, Mechanical properties of Al- based particulate metal-matrix composites. *Composites* 1993, 24 (3):270-5
- [8] *D.L. McDanel*s, Analysis of stress-strain, fracture and ductility behavior of Al matrix composites containing discontinuous silicon carbide reinforcement, *Metall Trans A* 1985, 16A:1105-15
- [9] *T.Y. Tsai, G.W. Beall, T.J. Pinnarain*, Polyethylene terephthalate-clay nanocomposites, *Polymer-clay nanocomposites*, John Wiley & Sons, New York, 2000. p.173-83.
- [10] *M. Alexandre, P. Dubois*, Polymer - layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials, *Mater Sci. Eng Reports*, 2000; 28:1-63
- [11] *H.S. Katz, J.V. Mile Ski*, Handbook of fillers for plastics.Van Nostrand Reinhold Publ, New York, 1997
- [12] *Jin-Chein Lin*, Investigation of impact behavior of various silica-reinforced polymeric matrix nanocomposites, *Composites Structures*, 84 (2008) 125-13
- [13] *G. Comeleata, C. Enescu, M. Zaharia*, Matériaux composites à matrice organique, (en Roumain), **vol. I**, Ed. Printech, Bucuresti, 2006
- [14] *G.M. KimMichle*, Micromechanical deformation processes in toughened and particle-filled semicrystalline polymer: Part 1. Characterization of deformation processes in dependence on phase morphology. *Polymer*, 1998, vol.39, no.23, p.5689-5697
- [15] *C. Marin, A. Hadar, F. Popa, L. Albu*, La modélisation par éléments finis de structures mécaniques (en Roumain), Ed. Academiei și Agir, București, 2002
- [16] *C. Marin, A. Hadar*, Methodes numériques en génie mécanique (en Roumain), Ed. Politehnica Pres București, 2003
- [17] * * * TUTORIAL - Solidwoks 2006.