

Studiu al aderenței interstraturilor în probe imprimate cu două materiale, prin încorporarea elastomerului termoplastic (TPE) și acidului polilactic (PLA)

A study of interlayer adhesion in multi-material printed specimens by incorporating Thermoplastic Polyether Elastomer (TPE) and Polylactic Acid (PLA)

Gabriel Murariu¹, Matei Marin-Corciu¹, Sergiu-Valentin Galațanu¹

¹Universitatea Politehnica Timișoara, Departamentul de Mecanică și Rezistența Materialelor

Rezumat

Fabricarea aditivă (FA), cunoscută și sub numele de imprimare 3D, a apărut ca o tehnică de fabricație care permite producerea de geometrii complexe utilizând o precizie ridicată și capabilități de personalizare. Printre diversele metodologii din FA, Fabricarea de obiecte cu filamente din materiale diverse se remarcă prin versatilitatea sa în crearea de obiecte cu proprietăți mecanice mixte.

Acest studiu analizează aspectele de aderență a straturilor unor probe realizate din două materiale diferite din punct de vedere mecanic, concentrându-se în special pe încorporarea elastomerului termoplastic (TPE) și a acidului polilactic (PLA). Elastomerii TPE oferă elasticitate și flexibilitate, în timp ce PLA oferă rigiditate și biodegradabilitate, făcându-le o combinație intrigantă pentru o gamă largă de aplicații. Pentru a evalua aderența dintre straturile de TPE și PLA sunt efectuate investigații experimentale asupra proprietăților mecanice, în special rezistențele la tracțiune și compresiune. Înțelegerea interacțiunii dintre aceste materiale este crucială pentru optimizarea procesului de imprimare și îmbunătățirea integrității structurale a pieselor fabricate.

Industria de imprimare 3D a cunoscut o creștere rapidă, găsind aplicații în diverse sectoare, inclusiv în industria aerospațială, industria auto, sănătate sau industria alimentară. Atât TPE, cât și PLA au o relevanță semnificativă în aceste industrii datorită proprietăților lor unice și durabilității mediului, conducând astfel cererea de cercetare menită să îmbunătățească compatibilitatea și performanța acestora în procesele de imprimare cu mai multe materiale. Rezultatele obținute prezintă un comportament diferit a epruvetelor realizate din TPA și celor din TPE. Pentru epruvetele la compresiune realizate din PLA și Mixt, epruvetele de compresiune realizate prin combinarea celor două materiale prezintă un comportament asemănător cu cel de baza al plasticului PLA, sugerând că adăugarea altor materiale nu schimbă răspunsul de bază al plasticului PLA.

Prin analiza experimentală și explorarea aplicațiilor industriale, se dorește înțelegerea potențialului acestor materiale în fabricarea aditivă și conturarea unor direcții viitoare pentru cercetare și dezvoltare în acest domeniu.

Cuvinte cheie

Fabricație aditivă, modelare prin depunere prin topire, PLA, TPE, compresiune, încercări de tracțiune

Abstract

Additive manufacturing (AM), also known as 3D printing, has emerged as a manufacturing technique that enables the production of complex geometries using high precision and customization capabilities. Among various methodologies in AM, Fabrication of objects with filaments from various materials stands out for its versatility in creating objects with mixed mechanical properties.

The study analyses the adhesion aspects of the layers of samples made of two different materials. This focuses on the incorporation of thermoplastic elastomer (TPE) and polylactic acid (PLA). TPE elastomers offer elasticity and flexibility, while PLA offers stiffness and biodegradability, making them an intriguing combination for a wide range of applications. To evaluate the action between the TPE and PLA layers, experimental investigations are carried out on the mechanical property, especially the tensile and compressive

strengths. Understanding the interactions between these materials is crucial for optimizing the printing process and creating the structural integrity of manufactured markets. The 3D printing industry has experienced rapid growth, finding applications in various sectors, including the aerospace, automotive, health and food industries. Both TPE and PLA have significant relevance in these industries due to their unique properties and environmental sustainability, thus driving research demand to improve their compatibility and performance in multi-material printing processes.

The results obtained show a different behaviour of the samples made of TPA and those of TPE. For the compression specimens made of PLA and Mixed, the compression specimens made by combining the two materials show a behaviour similar to that of the base PLA plastic, suggesting that the addition of other materials does not change the response of the base PLA plastic.

Through experimental analysis and exploration of industrial applications, it is desired to understand the potential of these materials in additive manufacturing and outline future directions for research and development in this field.

Keywords

Additive manufacturing, fused deposition modelling, PLA, TPE, compression, tensile tests

1. Introducere

Fabricarea aditivă (FA) este o tehnologie relativ nouă în care obiectele tridimensionale sunt create folosind o depunere treptată a materialului, strat cu strat. FA este cea mai utilizată tehnologie la nivel mondial pentru prototipare cu precizie dimensională ridicată și timp de fabricație extrem de scurt în comparație cu alte tehnologii de fabricație.

Industria de fabricație poate fi împărțită în cinci procese fundamentale: fabricare aditivă, îmbinare (de exemplu sudura), împărțire, transformare și substractivă [1]. Cea mai folosită metodă de fabricație până acum este fabricarea substractivă.

În anii 1980, în America, a avut loc o criză a mașinilor-unelte în momentul în care această tehnologie a apărut din cauza necesității de a crea obiecte cu suprafețe geometrice complexe [2]. Deși a fost acceptată inițial ca un hobby, FA a fost folosită de cercetători pentru realizarea de produse personalizate și, datorită potențialului său, industriile de producție caută acum să crească utilizarea FA în industrie [3].

Această tehnologie se bazează pe un model digital tridimensional al obiectului de fabricat. Fișierul, în format STL al obiectului, este important într-un software de mașină-unelte care secționează obiectul de lucru în straturi, formulând o serie de acțiuni pe care mașina le citește și le transpune în straturi, folosind diverse materiale. O provocare semnificativă în industria FA este limitarea dimensiunii imprimabile, care este determinată de volumul camerei imprimantei [4].

Concurența pe piața globală a produselor realizate prin FA s-a intensificat enorm în ultimii ani. A devenit important, dacă nu vital, ca noi produse să ajungă pe piață cât mai curând posibil înaintea concurenței [5].

1. Introduction

1. Introduction

Additive manufacturing (AM) is a relatively new technology in which three-dimensional objects are created using the gradual deposition of material, layer by layer. AM is the most widely used technology worldwide for prototyping with high dimensional accuracy and extremely short manufacturing time compared to other manufacturing technologies.

The manufacturing industry can be divided into five fundamental processes: additive manufacturing, joining (e.g. welding), splitting, transformation and subtractive [1]. The most used manufacturing method so far is subtractive manufacturing.

In the 1980s in America, there was a machine tool crisis when this technology emerged due to the need to create objects with complex geometric surfaces [2]. Although initially accepted as a hobby, AM has been used by researchers to make customized products, and due to its potential, manufacturing industries are now looking to increase the use of AM in industry [3].

This technology is based on a three-dimensional digital model of the object to be manufactured. The file, in STL format of the object, is important in a machine tool software that slices the workpiece into layers, formulating a series of actions that the machine reads and transposes into layers, using various materials. A significant challenge in the AM industry is the limitation of the printable size, which is determined by the volume of the printer chamber [4].

Competition in the global market for products made by AM has intensified enormously in recent years. It has become important, if not vital, that new products reach the market as soon as possible before the

Crearea de prototipuri sau realizarea de modele în sensul tradițional este o practică veche. Intenția de a avea un prototip fizic este de a realiza conceptualizarea unui design. Procesele de prototipare au trecut prin trei faze de dezvoltare: prototipare rapidă, prototipare virtuală și prototipare manuală.

Prototiparea rapidă (RP) poate fi definită ca fabricarea directă a unui obiect dintr-un model tridimensional prin Fabricarea aditivă. Deoarece acest lucru necesită un efort uman minim, este cea mai flexibilă și directă formă de producție.

În această lucrare a fost utilizată tehnologia de modelare prin depuneri de termoplastic (FDM). Tehnologia FDM se bazează pe extrudarea filamentului pentru funcționarea sa, iar popularitatea sa provine în primul rând din metoda de imprimare 3D rentabilă și comoditatea pe care o oferă în producerea pieselor [6]. FDM este o tehnologie simplă și accesibilă care constă în trecerea unui fir de masă plastică solidă printr-un cap de extrudare, care se deplasează orizontal și vertical, topind filamentul și depunând-l în straturi pe masa de lucru, care se deplasează și el odată cu extruderul, figura 1.

competition [5].

Prototyping or model making in the traditional sense is an old practice. The intention of having a physical prototype is to realize the conceptualization of a design. The prototyping processes went through three phases of development: rapid prototyping, virtual prototyping and manual prototyping.

Rapid Prototyping (RP) can be defined as the direct fabrication of an object from a three-dimensional model through Additive Manufacturing. As this requires minimal human effort, it is the most flexible and direct form of production. In this work, thermoplastic deposition modelling (FDM) technology was used. FDM technology relies on filament extrusion for its operation, and its popularity primarily stems from the cost-effective 3D printing method and the convenience it provides in producing parts [6].

FDM is a simple and affordable technology that consists of passing a wire of solid plastic mass through an extrusion head, which moves horizontally and vertically, melting the filament and depositing it in layers on the worktable, which also moves at once with the extruder, figure 1.

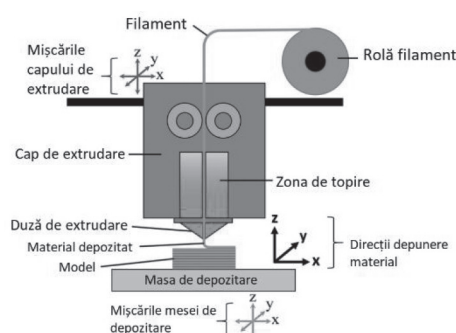


Figura 1. Procesul de modelare prin depuneri de polymer termoplastic [7]

Figure 1. Process of fused deposition modelling of thermoplastic polymer [7]

Pentru această lucrare, materialele alese pentru încercarea experimentală sunt acidul polilactic (PLA) și elastomerul termoplastic (PTE), două materiale diferite, PLA este un plastic rigid și TPE este un amestec între plastic și elastomer, dar principala caracteristică rămâne, elasticitatea.

Pentru încercarea experimentală, în lucrare este prezentat un studiu de încercări la tracțiune și compresiune pe cele două materiale, PLA și TPE, pentru a afla atât comportamentul mecanic al acestor două materiale cât și capacitatea de aderență a probelor realizate din combinarea materialelor. În final, este prezentat un capitol ce însumează și concluzionează asupra rezultatelor.

For this work, the materials chosen for the experimental test are polylactic acid (PLA) and thermoplastic elastomer (PTE), two different materials, PLA is a rigid plastic and TPE is a mixture between plastic and elastomer, but the main characteristic remains, elasticity.

For the experimental test, the paper presents a tensile and compression test study on the two materials, PLA and TPE, to find out both the mechanical behaviour of these two materials and the adhesion capacity of the samples made from the combination of materials.

Finally, a chapter summarizing and concluding the research is presented.

2. Materiale și modele

După cum s-a spus în introducere, materialele utilizate în această lucrare de cercetare, PLA și TPE, sunt diferite în ceea ce privește proprietățile mecanice și chimice. PLA este un poliesther termoplastic biodegradabil produs în urma procesului de condensare a acidului lactic care este prezent prin fermentarea bacteriană a zaharurilor din diferite produse naturale precum porumb, cartofi, trestie de zahăr, produse derivate din lapte sau chiar deșeuri agricole [8]. În ceea ce privește problemele actuale de poluare la nivel mondial, PLA nu este doar biodegradabil, care deja în ceea ce privește deșeurile viitoare este foarte convenabil pentru industrie, ci este și superior polimerilor pe bază de petrol, cum ar fi polietilena (PE), polipropilena (PP) și deci, care sunt utilizate în prezent în societatea contemporană în fiecare aspect al vieții de zi cu zi [9] [10].

În ceea ce privește utilizarea, PLA începe să fie folosit în diferite industrii din întreaga lume, cele mai importante sunt legate de industria alimentară, fiind recunoscut de FDA (The Food and Drug Administration USA) cu o certificare GRAS (Generally Recognized as Safe, recunoscute în general ca fiind sigure). În industria medicală, fiind biocompatibil, utilizarea principală a PLA include suturi degradabile, schele poroase pentru aplicații celulare sau microparticule care eliberează medicamente și chiar implanturi polimerice biodegradabile, unde nu este necesară o a doua intervenție chirurgicală pentru a le îndepărta după ce locul defectului este reparat [11].

Materialul folosit în această lucrare este PLA de la producătorul Creality, un filament alb cu masa de 1 kg. Principalele proprietăți mecanice și de imprimare 3D ale PLA sunt calitatea înaltă a pieselor, rezistența ridicată a stratului și o rezistență mică la impact, figura 2a. Elastomerii termoplastici polieter-poliuretan sunt o clasă de amestec fizic de diferiți polimeri care rezultă într-un material care constă atât din proprietăți termoplastice, cât și din elastomerice [11].

TPE s-a dovedit a fi o alegere bună pentru diferite industrii datorită unui proces de producție mai puțin complicat și mai puțin costisitor în comparație cu elastomerii vulcanizați [12].

Amestecul de proprietăți diferite este rezultatul structurii sale chimice, care conține un lanț multiplu de polimeri care are segmente flexibile alternante derivate din dioli polimeri alifatici liniari și segmente rigide formate din diizocianați cu lanț scurt [13]. Fiecare familie de segmente vine cu proprietăți mecanice diferite, segmentele flexibile conferă elasticitate,

2. Materials and models

As said in the introduction, materials used in this research paper, PLA and TPE are different in terms of mechanical and chemical properties. PLA is a biodegradable thermoplastic polyester produced following the lactic acid condensation process that is present through bacterial fermentation of sugars from various natural products such as corn, potatoes, sugar cane, milk products or even agricultural waste [8].

In terms of current global pollution problems, PLA is not only biodegradable, which is already very convenient for industry, but also superior to petroleum-based polymers such as polyethylene (PE), polypropylene (PP) and therefore, which are currently in contemporary society in every aspect of daily life [9] [10].

In terms of use, PLA is beginning to be used in various industries around the world, the most important being related to the food industry, being recognized by the FDA (The Food and Drug Administration USA) with a GRAS (Generally Recognized as Safe certification).

In the health industry, being biocompatible, the main use of PLA includes degradable sutures, porous scaffolds for cellular applications or drug-releasing microparticles, and even biodegradable polymer implants, where a second surgical intervention is not required to remove the defect site is repaired. [11].

The material used in this work is PLA from the manufacturer Creality, a white filament with a mass of 1 kg. The main mechanical and 3D printing properties of PLA are high part quality, high layer strength and low impact strength, figure 2a.

Polyether-polyurethane thermoplastic elastomers are a class of physical blend of different polymers resulting in a material that consists of both thermoplastic and elastomeric properties [11].

TPE is a good choice for various industries due to a less complicated and less expensive production process compared to vulcanized elastomers [12].

The mixture of different properties is a result of its chemical structure, which contains a multiple polymer chain that has alternating flexible segments derived from linear aliphatic polymer diols and rigid segments formed from short-chain diisocyanates [13].

Each segment family comes with different mechanical properties, flexible segments impart elasticity, long elongation at break and softness, and inflexibil-

alungire lungă la rupere și moliciune, iar rigiditatea afectează duritatea, modulul de elasticitate și așa mai departe [14]. TPE își găsește aplicațiile în principal în industria textilă, utilizat în principal în amestecarea fibrelor pentru a crea diferite proprietăți ale textilului, cum ar fi materiale cu proprietăți de auto-vindecare, textile impermeabile, utilizare în domeniul bio-medical și așa mai departe [15][16][17]. Materialul folosit ca referință este Filaflex 70A Ultra-Soft care este un elastomer termoplastic cu imprimabilitate ridicată. Coeficientul de duritate shore al acestui material se găsește în jur de 80 pe o scară shore A, similar cu duritatea dintre o anvelopă și un toc de pantof. Principalele proprietăți mecanice și de imprimare 3D ale TPE sunt o rezistență bună la impact datorită proprietăților sale elastomerice, precum și durabilitate, o rezistență bună la căldură, dar și o calitate nu mare a imprimării, figura 2b.

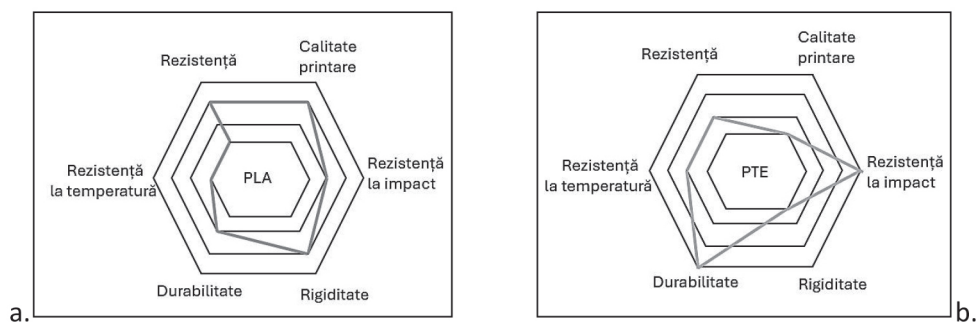


Figura 2. Principalele proprietăți mecanice și de imprimare ale: a. PLA și b. TPE

Figure 2. Main mechanical and printing properties of: a. PLA and b. TPE

Dacă ne uităm separat la cele două materiale prezentate în această lucrare, putem observa că din punct de vedere al proprietăților mecanice acestea sunt foarte diferite, iar scopul acestei lucrări este de a încerca să îmbine rigiditatea materialului PLA cu flexibilitatea și rezistența la impact al materialului TPE.

2.1 Încercarea la tracțiune

Materialele folosite în această investigație sunt PLA de la Creality și TPE de la Filaflex. Investigația experimentală a fost efectuată cu 5 epruvete de tracțiune pentru fiecare material conform D638-14, Metoda de încercare standard internațională pentru proprietățile de tracțiune ale materialelor plastice [18]. Respectiv, 5 epruvete de compresiune conform D695-02a, Metodă de încercare standardizată internațională pentru proprietățile la compresiune a plasticelor rigide [19]. Epruvetele au fost modelate în Autodesk Fusion 360. Software-ul utilizat pentru secționarea și preprocesarea probelor de tracțiune și compresiune este Prusa Slicer. Exemplarele au

ity affects hardness, modulus of elasticity and so on [14].

TPE area finds its applications mainly in the textile industry, use mainly in fiber mixture to create different properties of the textile, such as materials with self-healing properties, waterproof textiles, use in the bio-medical field and so on [15][16][17].

The material used as a reference is Filaflex 70A Ultra-Soft, which is a high print thermoplastic elastomer. The shore hardness coefficient of this material is found around 80 on a shore A scale, similar to the hardness between a tire and a shoe heel.

The main mechanical and 3D printing properties of TPE a good impact resistance is the property of its elastomeric properties, as well as durability, a good heat resistance, but also not high print quality, figure 2b.

If we take a look separately at the two materials presented in this work, we can see that in terms of mechanical properties, they are very different, for these works, to try to combine the rigidity of the rigid PLA material with the flexibility and impact resistance of the material. TPE.

2.1 Tensile testing

The materials used in this investigation are PLA from Creality and TPE from Filaflex. The experimental investigation was carried out with 5 tensile specimens for each material according to D638-14, International Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics [18]. Respectively, 5 compression specimens according to D695-02a, International Standardized Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics [19]. The specimens were modeled in Autodesk Fusion 360.

The software used for sectioning and preprocessing the tensile and compression samples is Prusa Slicer.

fost realizate folosind imprimanta 3D Prusa i3 MK3. Parametrii utilizați în procesul de imprimare au fost diferiți pentru fiecare material, tabel 1.

The specimens were made using the Prusa i3 MK3 3D printer. The parameters used in the printing process were different for each material, table 1.

Tabelul 1. Proprietăți folosite pentru imprimare

Table 1. Properties used for printing

Proprietăți imprimare PLA/TPE Printing properties PLA/TPE	PLA	TPE
Înălțime strat [mm] Layer height [mm]	0,2	0,2
Număr pereți verticali [-] Number of vertical shells [-]	2	2
Densitatea de umplere [%] Filling density [%]	100	100
Viteză [mm/s] Speed [mm/s]	40	5
Viteza ventilator [%] Fan speed [%]	100	40
Retragere material [-] Retraction of material [-]	DA YES	NU NO
Diametru filament [mm] Filament diameter [mm]	1,75	1,75
Temperatura pat imprimare [°C] Printing bed temperature [°C]	55	60
Temperatura cap extrudare [°C] Extruder temperature [°C]	210	230

După imprimare, atât probele de compresiune, cât și cele de tracțiune au fost măsurate cu ajutorul unui șubler digital conform standardului de precizie a trei măsurători consecutive efectuate de același operator cu același instrument.

Încercările de tracțiune au fost efectuate pe mașina universală de tracțiune/compresiune, Zwick/Roell Z005 [20], figura 3. Mașina a fost echipată cu două dispozitive de prindere, unul fix și celălalt mobil pentru a determina rezistența la rupere a materialului și modulul de elasticitate al materialelor testate. Aplicând o sarcină de întindere progresivă F în axa longitudinală a probei, aceasta introduce tensiune de-a lungul fibrelor și introduce deformări treptate și, în final, rupe epruveta.

After printing, both compression and tension samples were measured using a digital caliper to the standard of accuracy of three consecutive measurements by the same operator with the same instrument.

Tensile tests were performed on the universal tensile/compression machine, Zwick/Roell Z005 [20], figure 3. The machine was equipped with two clamps, one fixed and the other movable, to determine the breaking strength of the material and the modulus of elasticity of the tested materials. By applying a progressive tensile load F in the longitudinal axis of the specimen, it introduces tension along the fibers and introduces gradual deformations and finally breaks the specimen.

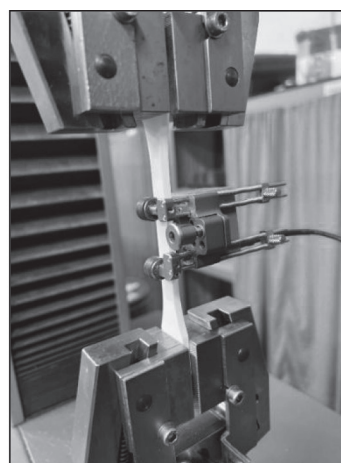


Figura 3. Proba de încercare la tracțiune prinsă pe mașina de universală Zwick/Roell Z005

Figure 3. Tensile specimen fixed in the universal testing Zwick/Roell Z005

Parametrii de încercare și prelucrarea datelor au fost efectuate folosind software-ul profesional TextExpert (V3, Zwick/Roell Group, Ulm, Germania). Condițiile de încercare pentru probele de tracțiune cu materiale PLA și PTE au fost efectuate în conformitate cu standardele. Pentru epruvetele PLA, epruveta a fost preîncărcată cu o forță de 0,1 N și o viteză de 10 mm/min. Controlul poziției mașinii a fost efectuat cu o viteză de 5mm/min. Pentru probele TPE, parametrii utilizați în încercarea de tracțiune au fost diferiți din cauza comportamentului elastomeric al epruvetelor.

Pentru a determina alungirea epruvetelor pentru ambele materiale, s-a utilizat un extensometru cu clipsare manuală (clip-on extensometer) cu suprafață activă de 10 mm și deschidere inițială de 30 mm. Toate testele au fost efectuate în aceleași condiții standard pentru a elimina eventualele erori.

2.2 Încercarea la compresiune

Epruvetele de compresiune au fost fabricate folosind parametrii identici cu cei conturați în secțiunea epruvetei de tracțiune, în afară de epruvetele de compresiune cu materialele combinate. În acest caz, procesul de fabricație a implicat alternarea materialelor strat cu strat, păstrând în același timp viteza de imprimare a TPE. Decizia de a utiliza aceeași viteză de imprimare a TPE a fost determinată de preocupările privind aderența stratului, astfel încât a fost selectată o viteză de imprimare mai mică pentru a evita potențialele probleme.

Din cauza acestei preocupări, a fost efectuată o analiză microscopică a aderenței dintre straturile celor două materiale pe epruveta de compresiune de rezervă pentru a valida parametrii de imprimare.

Test parameters and data processing were performed using the professional software TextExpert (V3, Zwick/Roell Group, Ulm, Germany). The test conditions for the tensile tests with PLA and PTE materials were performed in accordance with the standards. For the PLA specimens, the specimen was preloaded with a force of 0.1 N and a speed of 10 mm/min. The machine position control was performed at a speed of 5mm/min.

For the TPE samples, the parameters used in the tensile test were different due to the elastomeric behaviour of the samples. In order to calculate the displacement of the specimens for both materials under the action of force, a clip-on extensometer with an active surface of 10 mm and an initial opening of 30 mm was used for the test.

All tests were performed under the same standard conditions to eliminate possible errors.

2.2 Compression testing

The compression specimens were manufactured with identical parameters with respect to the section of the tensile specimen, except for the compression specimens with the combined materials.

In this case, the manufacturing process involved alternating the materials layer by layer while maintaining the printing speed of the TPE. The decision to use the same TPE print speed was driven by concerns about layer adhesion, so a lower print speed was selected to avoid potential problems.

Because of this concern, a microscopic analysis of the adhesion between the layers of the two materials on and proven compression backup was performed to validate the printing parameters.

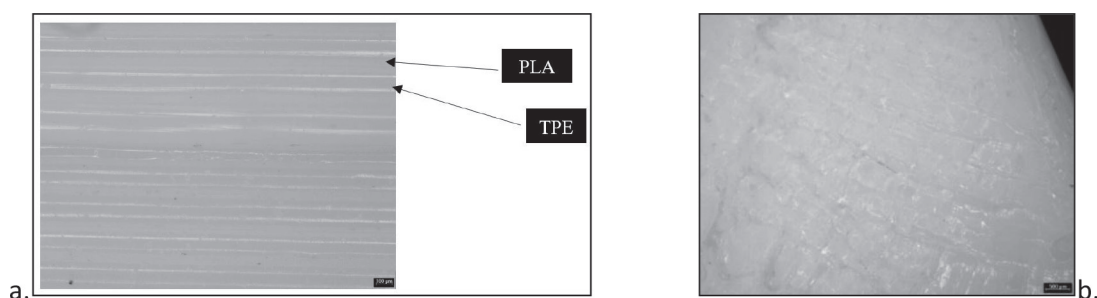


Figura 4. Vedere laterală a epruvetei de compresiune cu mai multe materiale (a.) și vedere în secțiune a epruvetei de compresiune cu mai multe materiale (b.)

Figure 4. Side view of multi-material compression specimen (a.) and cross-sectional view of multi-material compression specimen (b.)

Diferența de material poate fi observată datorită naturii lucioase a PLA. Datorită procesului de fabricare a acestor epruvete (FDM) și incapacității sale de a produce piese omogene, am căutat să vedem dacă parametrii de imprimare aleși pentru epruvetele de compresiune

The difference in material can be seen due to the glossy nature of PLA. Due to the manufacturing process of these samples (FDM) and its inability to produce homogeneous parts, we sought to see if the printing parameters chosen for the multi-material

cu mai multe materiale au dat cele mai bune rezultate în atenuarea golurilor și a imperfecțiunilor de imprimare. În figura 4 putem observa că nu există spații între liniile de straturi cu o suprapunere a liniilor de straturi suficientă pentru a continua cu parametrii de imprimare aleși.

3. Rezultate și discuții

Pentru a putea analiza posibilele beneficii ale alternării pieselor cu materiale combinate produse prin FDM, a trebuit să analizăm performanța materialelor individual. Prin urmare, au fost produse și testate epruvete de tracțiune și compresie.

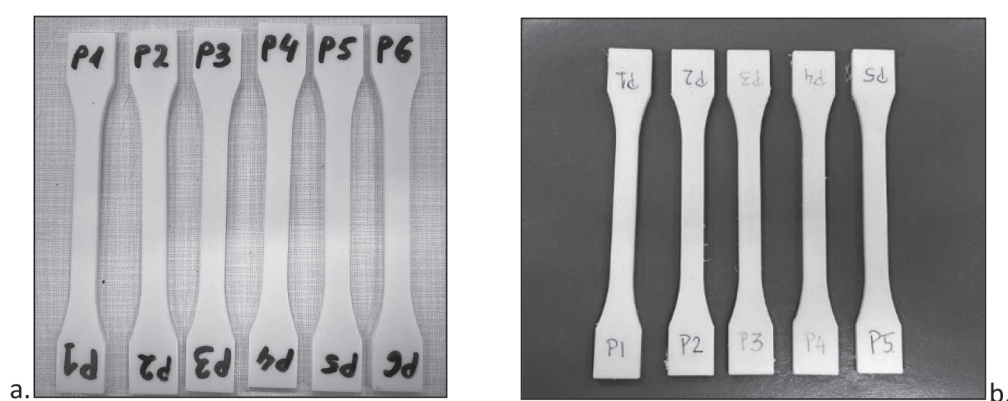


Figura 5. Epruvete de încercare de tracțiune PLA (a.) și epruvete de încercare de tracțiune TPE (b.)
Figure 5. PLA tensile test specimens a.) and TPE tensile test specimens (b.)

În timpul încercărilor de tracțiune ale elastomerului, nu a avut loc nicio defecțiune, iar probele au atins distanța maximă de deplasare a mașinii de încercare Zwick/Roell.

During tensile tests of the elastomer, no failure occurred and the samples reached the maximum travel distance of the Zwick/Roell testing machines.

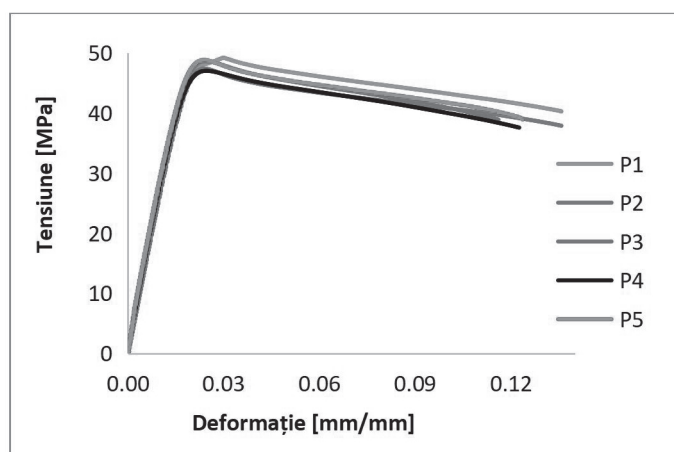


Figura 6. Curbele caracteristice tensiune-deformație pentru epruvetele încercate din materialul PLA
Figure 6. Engineering stress-strain curves for the PLA samples

În figura 6 se pot observa curbele caracteristice tensiune-deformație pentru epruvetele încercate la tracțiune din materialul PLA. Curbele rezultate arată un comportament similar pentru probele la tracțiune

In figure 6, you can see the characteristic stress-strain curves for the tensile tested specimens made of PLA material. The resulting curves show a similar behaviour for the tensile samples of the PLA material.

al materialului PLA. Toate cele cinci probe de tracțiune PLA prezintă o curbă Tensiune-Deformație previzibilă, având o tensiune caracteristică medie de 48 MPa la o deformație medie de 0,12 mm/mm. Acest răspuns uniform pe mai multe epruvete subliniază repetabilitatea proprietăților mecanice observate în condiții de încărcare la tracțiune. În timpul încercărilor de tracțiune ale elastomerului, probele au atins distanța maximă de deplasare a mașinii de încercare Zwick/Roell, figura 6a, în jur de 330 mm deplasare.

All five PLA tensile samples show a predictable Stress-Strain curve, having an average characteristic stress of 48 MPa at an average strain of 0.12 mm/mm. This uniform response across multiple specimens underscores the repeatability of the mechanical properties observed under tensile loading conditions. During tensile tests of the elastomer, the samples reached the maximum displacement distance of the Zwick/Roell testing machine, figure.6a, around 330mm displacement.

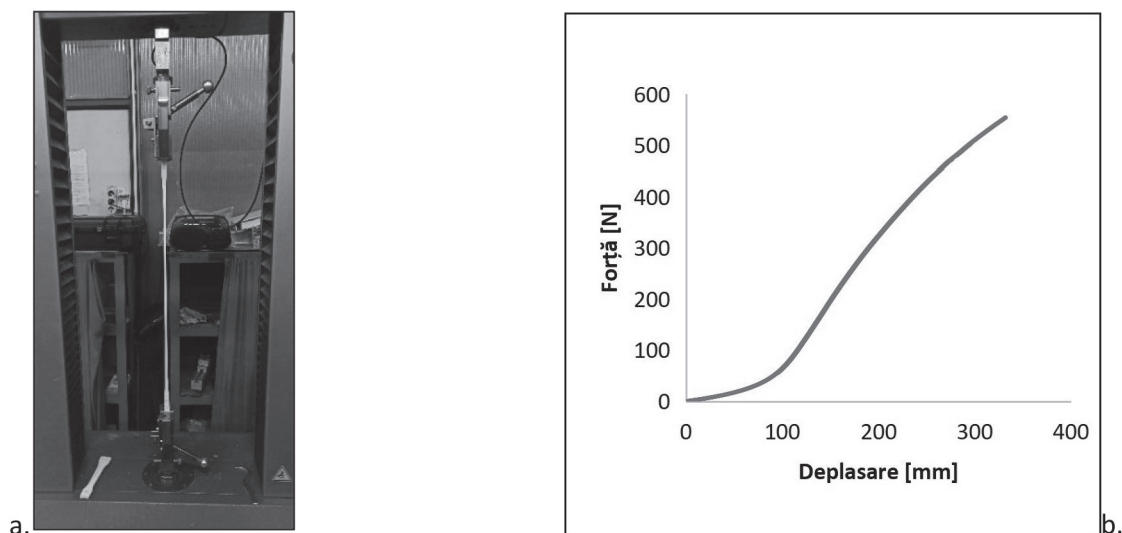


Figura 7. Imagine din timpul încercării experimentale la tracțiune a materialului PTE și curba Forță-Deplasare aferentă încercării
Figure 7. Image of the experimental tensile test of the PTE material and the related Force-Displacement curve of the test

Toate probele de tracțiune din elastomer prezintă un comportament previzibil și produc curba așteptată, figura 7, datorită proprietăților inerente ale materialelor elastomerice și condițiilor experimentale controlate.

All elastomeric tensile specimens show predictable behaviour and produce the expected curve, figure 7, due to the inherent properties of the elastomeric materials and the controlled experimental conditions.

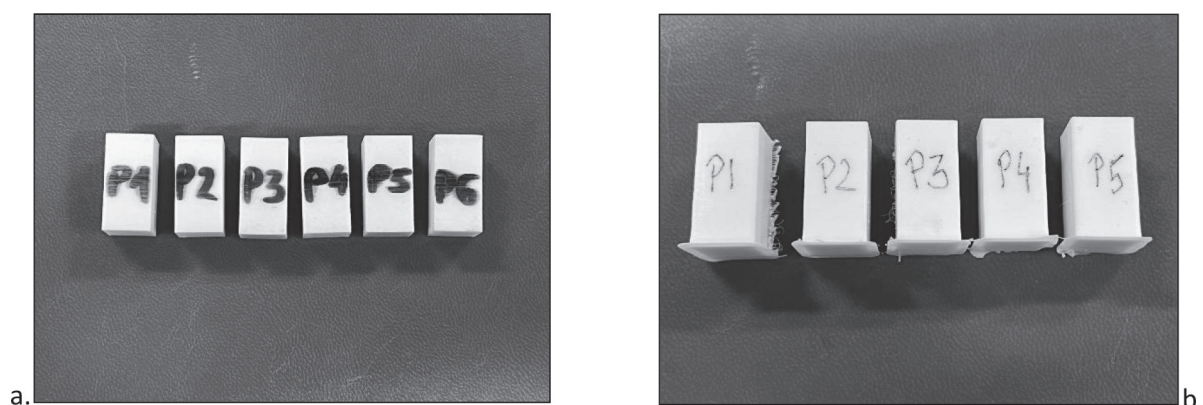


Figura 8. Epruvete pentru compresiune din PLA (a.) și TPE (b.)
Figure 8. Specimens for compression test, PLA (a.) and TPE (b.)

În figura 9 se poate observa în graficele forță-deplasare rezultatele la încercarea de compresiune pentru probele din cele două materiale, PLA și PTE. Încercarea a fost considerată terminată în momentul în care deplasarea bacului de compresiune a atins valoarea de 15 mm. Din câte se poate observa, datorită proprietăților

In figure 9 it can be seen in the force-displacement graphs after the compression test for the samples from the two materials, PLA and PTE. The test was considered finished when the displacement of the compression tank reached the value of 15mm. As far as can be seen, due to the different

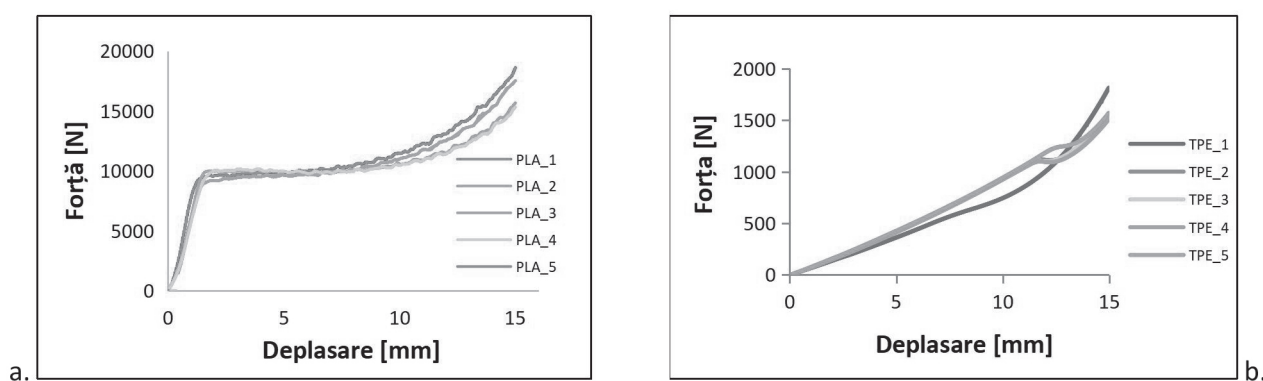


Figura 9. Grafice forță-deplasare pentru epruvetele la compresiune din PLA (a.) și grafice forță-deplasare pentru epruvetele la compresiune din TPE (b.)

Figure 9. Force-displacement plots for PLA compression specimens (a.) and force-displacement plots for TPE compression specimens (b.)

diferite a celor două materiale rezultă și diferite forțe de compresiune, dar și curbe diferite. Pe parcursul încercării, epruvetele la compresiune din TPE au urmat în mod constant curbe aproape identice. Cu toate acestea, este de remarcat faptul că extrapolarea unei valori de forță maximă nu este fezabilă, deoarece epruvetele nu au prezentat ruperi, în schimb, și-au recăpătat pe deplin forma inițială după încercare.

properties of the two materials, different compression forces result, but also different curves. In the tests, the TPE compression specimens consistently followed almost identical curves. However, it is worth noting that extrapolation of a maximum force value is not feasible, as the specimens did not fracture, instead, they fully recovered their original shape after the test.

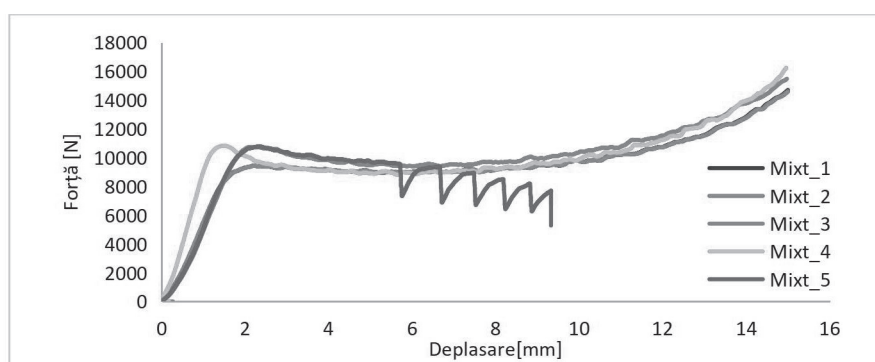


Figura 10. Grafic forță-deplasare pentru epruvetele testate la compresiune din mixt-ul dintre PLA și TPE

Figure 10. Force-displacement graph for the compression tested specimens from the PLA and TPE mix

Similitudinea în comportamentul probelor dintre epruvetele de compresie TPE și epruvetele realizate din îmbinarea celor două materiale sugerează că adăugarea altor materiale nu a modificat în mod semnificativ răspunsul mecanic general al componentei TPE. Această consistență implică faptul că epruvetele cu material mixt păstrează caracteristicile de dorire ale TPE, oferind în același timp funcționalități sau proprietăți suplimentare furnizate de materialele suplimentare. Excepție este proba Mixt_5, figura 10, care după limita de curgere a alunecat succesiv pe bacul de compresiune până la oprirea testului, însă având aceeași pantă în zona liniar elastică, probabilitatea curbei rezultate să se regăsească în zona celorlalte patru epruvete este foarte mare.

Prin urmare, folosirea compozițiilor cu mai multe ma-

The similarity in the behaviour of the specimens between the TPE compression specimens and the specimens made from the joint of the two materials suggests that the addition of other materials did not significantly change the overall mechanical response of the TPE component. This consistency implies that the mixed material specimens retain the desirable characteristics of TPE while providing additional functionalities or properties provided by the additional materials. The exception is the sample Mixt_5, figure 10, which after the yield limit slid successively on the compression tank until the test stopped, but having the same slope in the linear elastic zone, the probability of the resulting curve to be found in the area of the other four samples is very high.

Therefore, the use of multi-material compositions

teriale ar putea oferi un avantaj strategic, permițând personalizarea și îmbunătățirea proprietăților materialului fără a compromite atributele de bază ale materialului depus. Această versatilitate face ca abordările cu mai multe materiale să fie benefice pentru aplicațiile care necesită performanțe mecanice adaptate și versatilitate funcțională.

4. Concluzii

În concluzie, acest studiu a investigat cuprinzător proprietățile mecanice ale celor două materiale, prin teste de tracțiune și compresiune. Rezultatele demonstrează un comportament consistent între epruvete, PLA prezentând o forță de tracțiune maximă de 2000 N și TPE prezentând rezistență fără cedare, dar atingând limita de deplasare a mașinii. Uniformitatea comportamentului subliniază fiabilitatea procedurilor experimentale și proprietățile intrinseci ale materialelor. Mai mult decât atât, examinarea epruvetelor de compresiune cu mai multe materiale a dezvăluit rezultate promițătoare, cu o forță maximă medie de 15000 N și o curbă forță-deplasare comparabilă cu epruvetele TPE pur.

Acest lucru sugerează că adăugarea altor materiale nu modifică în mod semnificativ răspunsul mecanic de bază al TPE, evidențiind beneficiile potențiale ale abordărilor cu mai multe materiale pentru performanța mecanică personalizată și versatilitatea funcțională. În general, acest studiu contribuie cu informații valoroase asupra comportamentului mecanic al materialelor de fabricație aditivă, oferind implicații pentru diverse aplicații din industrii.

could provide a strategic advantage by allowing the customization and enhancement of material properties without compromising the core attributes of the deposited material. This versatility makes multi-material approaches beneficial for applications that require tailored mechanical performance and functional versatility.

4. Conclusions

In conclusion, this study comprehensively investigated the mechanical properties of the two materials through tensile and compression tests. The results demonstrate consistent behavior between specimens, showing a maximum tensile force of 2000 N and TPE showing strength without failure, but reaching the machine travel limit. The uniformity of the behavior emphasizes the reliability of the experimental procedures and the intrinsic properties of the materials. Additionally, the examination of compression samples composed from the combination of the two materials, PLA and TPE, revealed promising results, with an average maximum force of 15000 N and a force-displacement curve comparable in behavior to PLA samples.

This suggests that the addition of other materials does not significantly alter the basic mechanical response of PLA, highlighting the potential benefits of addressing engineering problems by combining the two materials for customized mechanical performance and functional versatility. Overall, this study provides valuable insights into the mechanical behavior of additive manufacturing materials, offering implications for various industrial applications.

Bibliografie/References

- [1] Abdulhameed, O., Al-Ahmari, A., Ameen, W., & Mian, S. H., 2019. Additive manufacturing: Challenges, trends, and applications. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(2), 1-27. doi: 10.1177/1687814018822880
- [2] Rapid Prototyping Association of the Society of Manufacturing Engineers, 1997. International Technology Research Institute- European and Japanese Development, Rapid Prototyping in Europe and Japan
- [3] Abusaleh Md Nayeem, Mir Md Nasim Hossain, 2023. Usage of additive manufacturing in the automotive industry: A review, *Bangladesh Journal of Multidisciplinary scientific research*, E-ISSN 2687-8518
- [4] S. Hongyao, P. Lingnan, Q. Jun, 2019. Research on large-scale additive manufacturing based on multi-robot collaboration technology, doi:10.1016/j.addma.2019.100906
- [5] Chee, Kai, Chua; Kah, Fai, Leong; Chu, Sing, Lim, 2010. *Rapid Prototyping – principles and applications*, World Scientific, Singapore, ISBN 981-238-117-1
- [6] L. Marsavina, M.P. Mărghițaș, E. Vălean, 2022. Size effect in PLA and PETG specimens obtained using FDM, doi: 10.1016/j.prostr.2022.12.160
- [7] Tessa, Jane; Gordelier, Philipp Rudolf, Thies; Louis, Turner; Lars, Johanning, 2019. Optimising the FDM additive manufacturing process to achieve maximum tensile strength: a state-of-the-art review, *Rapid Prototyping Journal*, doi: 10.1108/RPJ-07-2018-0183
- [8] Drumright, Ray E.; Gruber, Patrick R.; Henton, David E, 2000. Poly(lactic Acid) Technology, *Advanced Materials*, doi: 10.1002/1521-4095(200012)12:23<1841::AID-ADMA1841>3.0.CO;2-E
- [9] Andrady AL, Neal MA, 2009. Applications and societal benefits of plastics, doi:10.1098/rstb.2008.0304

- [10] Thodhal Yoganandham Suman, Wei-Guo Li, Shaji Alif, Valappil Rahman Panangala Faris, Duvvuru Joshua Amarnath, Jun-Guo Ma & De-Sheng Pei, 2020. Characterization of petroleum-based plastics and their absorbed trace metals from the sediments of the Marina Beach in Chennai, Environmental Sciences Europe, doi: 10.1186/s12302-020-00388-5
- [11] Ramzi A Abd Alsaheb, Azzam Aladdin, Nor Zalina Othman, Roslinda Abd Malek, 2015. Recent applications of polylactic acid in pharmaceutical and medical industries, Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 2015, 7(12):51-63
- [11] Hu, S.; Shou, T.; Guo, M.; Wang, R.; Wang, J.; Tian, H.; Qin, X.; Zhao, X.; Zhang, L., 2020. Fabrication of New Thermoplastic Polyurethane Elastomers with High Heat Resistance for 3D Printing Derived from 3,3-Dimethyl-4,40-diphenyl Diisocyanate, doi: 10.1021/acs.iecr.0c01101
- [12] Andrzej Puszka, 2018. Thermal and Mechanical Behavior of New Transparent Thermoplastic Polyurethane Elastomers Derived from Cycloaliphatic Diisocyanate, doi:10.3390/polym10050537
- [13] Puszka, A.; Kultys, A., 2017. The influence of soft segments on some properties of new transparent segmented polyurethanes, doi:10.1002/pat.4083
- [14] Kwiatkowski, K.; Nachman, M., 2017. The Abrasive Wear Resistance of Segmented Linear Polyurethane Elastomers Based on Variety of Polyols as Soft Segments, doi:n10.3390/polym9120705
- [15] Chen, Z.; Sun, Y.-c.; wang, j.; Qi, H. J.; Wang, T. J.; Naguib, H. E., 2020. Interfaces, Flexible, Reconfigurable, and Self-healing TPU/Vitrimer Polymer Blend with Copolymerization Triggered by Bond Exchange Reaction. ACS Appl. Mater. Interfaces, doi:10.1021/acsami.9b21411
- [16] Li, Y.; Zhu, Z.; Yu, J.; Ding, B., 2015. Interfaces, Carbon nanotubes enhanced fluorinated polyurethane macroporous membranes for waterproof and breathable application. ACS Appl. Mater. Interfaces, doi:10.1021/acsami.5b02848
- [17] Vogels, R. R. M.; Lambertz, A.; Schuster, P.; Jockenhoevel, S.; Bouvy, N. D.; Disselhorst-Klug, C.; Neumann, U. P.; Klinge, U.; Klink, C. D., 2017. Biocompatibility and biomechanical analysis of elastic TPU threads as new suture material, doi:10.1002/jbm.b.33531
- [18] D638–14; ASTM International Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM: West Conshohocken, 2014
- [19] D695–02a; ASTM International Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics. ASTM: West Conshohocken, 2014
- [20] Information on <https://www.zwickroell.com/products/static-materials-testing-machines/universal-testing-machines-for-static-applications/proline/>

Pentru citare:

Murariu, G., Marin-Corciu, M., Galațanu, S. V., A study of interlayer adhesion in multi-material printed specimens by incorporating Thermoplastic Polyether Elastomer (TPE) and Polylactic Acid (PLA), Sudura, nr. 2 (2024), year XXXIV, 20-31



Asociația de Sudură din România



EWI



**Curs pentru calificarea de
Specialist Sudor Internațional/European**

Asociația de Sudură din România organizează cu începere din luna noiembrie o a personalului de coordonare a sudării pentru obținerea diplomei de **specialist**. Cursurile se desfășoară în sistem de videoconferință (orele de curs fiind programate de la 20.00, iar miercuri și joi de la 17.00 la 21.00) independent fiecare cursant.

Condițiile de acces la curs: Absolvent școală vocațională tehnică (4 ani), 2 ani de experiență în sudării și vârsta min. 20 ani.

Perioada de desfășurare a cursului: 07.10.2024-31.01.2025

Prețul cursului (fără TVA): 6000 lei

Preț special curs pentru membrii ASR (fără TVA): 5400 lei

Examenul final va fi organizat de SC ASR CertPers SRL (taxa de examinare nu este inclusă în prețul cursului).

Oferta detaliată a cursurilor este disponibilă la adresa www.asr.ro.

