



CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA UNOR MOTOARE ȘI ACTUATOARE FOLOSITE ÎN ENERGETICĂ

TEZĂ DE DOCTORAT
DOMENIUL INGINERIE ELECTRICĂ

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:
Prof.univ.dr.ing. Dan Laurențiu MILICI

DOCTORAND:
GROSU OANA VASILICA

Mulțumiri

Cu recunoștință și respect îi mulțumesc coordonatorului meu de doctorat, domnului profesor universitar dr. ing. Dan Laurențiu Milici pentru valoroasa sa îndrumare și susținerea continuă pe parcursului perioadei doctorale, precum și pentru onoarea de a vedea în dumnealui un model atât la nivel profesional, cât și uman. Doresc să îi mulțumesc în special pentru șansa de al avea ca și îndrumător, pentru profesionalismul, tactul și răbdarea de care a dat dovadă.

Totodată aș dori să îmi exprim cele mai bune gânduri către distinșii membrii din comisia mea de îndrumare formată din domnul profesor universitar dr. ing. Cezar Popa, domnul profesor universitar dr. ing. Radu Dumitru Pentiuc și domnul conferențiar universitar dr. ing. Mihai Rață care cu răbdare și generozitate m-au încurajat permanent și mi-au oferit sfaturi menite să mă ajute la îmbunătățirea tezei de doctorat.

Deosebite mulțumiri se îndreaptă către doamna șef lucrări dr. ing. Pavăl Mihaela și domnul dr. ing. Ilie Nițan pentru sprijinul continuu și ghidarea în definitivarea tezei.

Mulțumesc întregului colectiv de cadre didactice și tehnicieni ai Facultății de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor din Cadrul Universității "Ștefan cel Mare" din Suceava cu care am avut șansa să colaborez în această perioadă, precum și personalului Școlii Doctorale de Științe Aplicate și Inginerești pentru promptitudine și eficiență.

Le mulțumesc pentru sprijinul acordat membrilor colectivului Facultății de Economie, Administrație și Afaceri, cu ajutorul cărora lucrarea a beneficiat de suport financiar pe o perioadă de 12 luni prin accesarea proiectului "DECIDE - Dezvoltare prin educație antreprenorială și cercetare inovativă doctorală și postdoctorală", cod proiect POCU/380/6/13/125031, proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Capital Uman 2014 – 2020".

De asemenea, aduc mulțumiri colegilor și colaboratorilor mei, actuali și foști doctoranzi în domeniului Ingineriei Electrice pentru încurajarea oferită la perfecționarea și finalizarea acestui demers științific.

Nu aș fi nimic fără Dumnezeu și familia mea, cărora le sunt recunoscătoare pentru că mi-au fost alături pe parcursul anilor de studiu și m-au impulsionat cu răbdare, credință și dragoste pe acest drum.

*Oana - Vasilica GROSU
Suceava, 2025*

CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA UNOR MOTOARE ȘI ACTUATOARE FOLOSITE ÎN ENERGETICĂ

CUPRINS

INTRODUCERE	6
Capitolul I.MOTOARE ȘI ACTUATOARE SPECIALE FOLOSITE ÎN INGINERIA ELECTRICĂ	9
I.1. CARACTERISTICI ȘI PERFORMANȚE ALE MOTOARELOR ȘI ACTUATOARELOR.....	9
I.1.1. Caracteristici și performanțe ale motoarelor	9
I.1.2. Actuatoare	10
I.1.1. Funcționarea ciclică a unui actuator	15
I.2. MOTOARE ȘI ACTUATOARE SPECIALE FOLOSITE ÎN ENERGETICĂ.....	16
I.2.1. Motoare speciale folosite în energetică	16
I.2.2. Actuatoare speciale folosite în energetică	19
I.3. CONCLUZII.....	23
Capitolul II.ANALIZA BIBLIOMETRICĂ A ACTUATOARELOR SPECIALE FOLOSITE ÎN INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ	25
II.1. ANALIZA BIBLIOMETRICĂ A MOTOARELOR ȘI ACTUATOARELOR CU POLIMERI	25
II.1.1. Analiza motoarelor polimerice folosind hărți bibliometrice 25	
II.1.2. Analiza actualelor polimerice folosind hărți bibliometrice	31
II.2. CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE REFERITOARE LA NOI ACTUATOARE CU NITINOL.....	33
II.2.1. Stadiul actual al soluțiilor în dezvoltarea echipamentelor care utilizează Nitinol	33
II.2.2. Clasificări	34
II.2.3. Analiza Nitinolului prin bibliometrie	37

CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA UNOR MOTOARE ȘI ACTUATOARE FOLOSITE ÎN ENERGETICĂ

Capitolul III.CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND TESTAREA MATERIALELOR POLIMERICE ÎN CONSTRUCȚIA ACTUATOARELOR.....	39
III.1. SCURT ISTORIC	39
III.2. DISPOZITIVE CU POLIMERI DEZVOLTATE INTERNAȚIONAL	40
III.2.1. Șenilată polimerică.....	40
III.3. DISPOZITIVE CU POLIMERI DEZVOLTATE ÎN UNIVERSITATEA ȘTEFAN CEL MARE DIN SUCEAVA	42
III.3.1. Vibromotor cu polimeri electrostrictivi și sens de rotație reversibil	42
III.3.2. Micromotor electrochimic cu rotor excentric	43
III.4. MATERIALE POLIMERICE.....	44
III.4.1. Pad termic cu conținut de grafit sintetic	44
III.4.2. Folie cu pastă de grafit - ARSYLID.....	46
III.4.3. Bandă polimerică impermeabilă din Policlorură de vinil	46
III.5. STUDIUL ȘI TESTAREA PERFORMANȚELOR MATERIALELOR POLIMERICE	47
III.5.1. Stand pentru testarea deplasării policlorurii de vinil la variații de temperatură.....	47
III.5.2. Concluzii	50
Capitolul IV.STUDIUL UNUI ACTUATOR UNGHIULAR CU ARC DIN NITINOL	52
IV.1. INTRODUCERE	52
IV.2. PREZENTAREA NITINOLULUI.....	53
IV.3. DESCRIEREA CONSTRUCTIVĂ A ACTUATORULUI UNGHIULAR CU ARC DIN NITINOL	53
IV.4. DESCRIEREA FUNCȚIONĂRII ACTUATORULUI.....	54
IV.5. DATE EXPERIMENTALE	55
IV.6. CONCLUZII	57
Capitolul V.STUDIUL UNUI SISTEM DE SIGURANȚĂ PENTRU PRIZĂ	58

Capitolul I. MOTOARE ȘI ACTUATOARE
SPECIALE FOLOSITE ÎN INGINERIA ELECTRICĂ

V.1.	INTRODUCERE	58
V.2.	ARCURILE DE NITINOL ÎNCHISE	58
V.3.	PREZENTARE CONSTRUCTIVĂ	59
V.4.	PREZENTAREA STANDULUI EXPERIMENTAL	59
V.5.	DATE EXPERIMENTALE	60
V.6.	CONCLUZII	62
Capitolul VI. STUDIUL UNUI ACTUATOR PENTRU SISTEMELE DE SIGURANȚĂ UTILIZATE ÎN DOMENIUL ENERGETIC		64
VI.1.	INTRODUCERE	64
VI.2.	PLACA DE NITINOL ONDULATĂ	64
VI.3.	Prezentare constructivă	65
VI.4.	Prezentarea standului experimental	65
VI.5.	Date experimentale	66
VI.6.	Concluzii	67
Capitolul VII. CONCLUZII ALE CONTRIBUȚIILOR TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND DEZVOLTAREA UNOR MOTOARE ȘI ACTUATOARE FOLOSITE ÎN ENERGETICĂ		69
VII.1.	CONCLUZII	69
VII.2.	DIRECȚII DE DEZVOLTARE ULTERIOARĂ	71
Capitolul VIII. BIBLIOGRAFIE		72

INTRODUCERE

Tendențele actuale cu privire la soluțiile tehnice din domeniul motoarelor și actuatorilor utilizate atât în energetică cât și în robotică, medicină, industria spațială, mecatronică, industria auto, electromecanică, agricultură sau altele, se îndreaptă către înlocuirea resurselor neregenerabile cu unele care să le poată suplini pe termen lung și care să ajute la protejarea planetei. Aceste materiale sunt tot mai inovative prin caracteristicile prin care se evidențiază și prin actualitatea pe care o oferă. Se tinde spre reutilizarea materialelor deja existente, prin reciclare și recondiționare, pentru a dezvolta procese sustenabile.

Din această categorie de materiale fac parte materialele inteligente, acestea având capacitatea de a-și schimba forma sub acțiunea unor stimuli externi precum: câmpuri magnetice, electrice, termice, ele devenind astfel materiale active. Există mai multe tipuri de materiale inteligente printre care se numără cele piezoelectrice, cu memoria formei, cromoactive, magnetoreologice, fotoactive, electroreologice, electrooptice, electroacustice, piro-sensibile, polimeri electroactivi, etc. Multe dintre acestea deja pot fi regăsite în aplicații ca: îmbrăcăminte antiglonț, adezivi impermeabili, piele artificială pentru arsuri, înlocuitori de materiale plastice, baterii cu grafenă, mușchi artificiali, roboți pentru misiuni spațiale, micropompe, ambalaje, adezivi și nu numai. Stanena de exemplu este un material care poate deveni în viitor un supercondensator de succes, dioxidul de vanadiu, cu aplicabilitate în electronică, este un material care are capacitatea de a tranzita electricitatea fără a emite căldură.

Motoarele și actuatorii care au ca element central materiale inteligente deja se regăsesc în viața de zi cu zi. Varietatea de caracteristici pe care acestea le oferă ajută la dezvoltarea de dispozitive tot mai performante și eficiente care ușurează munca omului și îmbunătățește nivelul de trai. Am pornit această lucrare cu intenția de a utiliza materiale noi, mai puțin cercetate pentru a dezvolta noi motoare și actuatori. Cele două materiale evidențiate în această lucrare sunt cele polimerice și aliajul cu memoria formei denumit Nitinol. Am ales aceste materiale datorită proprietăților pe care le au și a faptului că încă sunt noi pe piață.

Capitolul I include o perspectivă de ansamblu asupra motoarelor și actuatorilor speciale și subliniază rolul lor esențial în sistemele electrice moderne. De la cele de nivel industrial și până la cele de uz casnic multiple motoare și actuatori sunt utilizate în aplicații specifice, fiind

adaptate și reglate corespunzător. Evoluția continuă din acest domeniu ajută la creșterea eficienței și fiabilității motoarelor și actuatoarelor.

Capitolul II cuprinde analiza bibliometrică a motoarelor și actuatoarelor cu polimeri. Acestea au fost identificate în articole și lucrări selectate de pe site-ul IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) și prelucrate cu ajutorul programului VOSviewer pentru a genera multiplele hărți. Hărțile bibliometrice oferă o nouă perspectivă asupra elementelor importante din procesul de producție și funcționare a actuatoarelor polimerice. Clasificările integrate în acest capitol le-am realizat utilizând informații din articolele prelucrate și în programul precizat.

Capitolul III are în componența sa descrieri a multiple dispozitive dezvoltate la nivel internațional, dar și la nivelul Universității noastre. Urmat de prezentarea materialelor polimerice achiziționate și răspunsul lor în urma multiplelor încercări efectuate. În ultima parte a capitolului este prezentat un stand experimental construit pentru a testa deplasarea policlorurii de vinil la variații de temperatură.

Capitolul IV introduce aliajul cu memoria formei, Nitinol, care este utilizat în structuri la scară mică și mare în mai multe domenii, cum ar fi robotica, ingineria, dispozitivele medicale, automobilele, aeronautica, industria aerospațială, ingineria mecanică, centralele electrice și domeniile biomedicale (microsenzori, stenturi, mușchi artificiali, microactuatori, manipulator bionic etc.). Nitinolul sub formă de arc l-am utilizat în construcția unui actuator unghiular montat pe un stand de măsurare a deplasării la variația temperaturii lichidului în care este submersat.

Capitolul V prezintă un sistem de siguranță pentru priză utilizând arcuri de Nitinol închise, poziționate circular în jurul lamelelor contactelor. În momentul în care priza monofazăată suportă un curent mai mare materialul din care sunt construite lamelele se dilată, iar în urma dilatării contactul dintre lamelele prizei și tijele ștecherului devine imperfect, astfel favorizează apariția arcului electric și încălzirea contactelor. În acest moment intervin arcurile circulare din Nitinol, acestea se contractă datorită temperaturii ridicate realizând strângerea lamelelor pe tijele consumatorului, se compensează dilatarea lamelelor și rezultă un contact ferm.

Capitolul VI detaliază plăcile de Nitinol, compuse dintr-un aliaj de nichel-titan, care sunt renumite pentru memoria excepțională a formei și pentru proprietățile lor superelastice. Aceste caracteristici provin din transformările de fază unice ale aliajului: faza martensitică și faza austenitică. Duritatea și modulul de elasticitate variază în funcție de

CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA UNOR MOTOARE ȘI ACTUATOARE FOLOSITE ÎN ENERGETICĂ

compoziția specifică a aliajului și de tratamentul termic, dar sunt în general mai scăzute decât cele ale metalelor tradiționale, ceea ce le face mai flexibile și mai rezistente la stres. Am utilizat o secțiune dintr-o placă de Nitinol, obținută prin secționarea plăcii de Nitinol memorate în formă de val și am măsurat deplasarea, respectiv cuplul pe un stand experimental.

Concluziile din capitolul VII subliniază importanța dezvoltării de noi echipamente și dispozitive eficiente și fiabile pentru industrie, dar și pentru uzul de zi cu zi. Evoluția în domeniul energetic va constitui o preocupare continuă a industriilor și a științei deoarece acestea sunt soluția pentru a ajuta la menținerea resurselor existente și la identificarea de noi materiale.

Bibliografia este capitolul final al acestei lucrări și conține articolele, brevetele și cercetările care mi-au fost necesare în scrierea acestei teze.

Capitolul I.

MOTOARE ȘI ACTUATOARE SPECIALE FOLOSITE ÎN INGINERIA ELECTRICĂ

I.1. CARACTERISTICI ȘI PERFORMANȚE ALE MOTOARELOR ȘI ACTUATOARELOR

Performanțele și caracteristicile motoarelor și actuatoarelor sunt foarte importante în selectarea echipamentului potrivit pentru o anumită aplicație. Fiecare motor și actuator este conceput pentru a satisface necesitățile cerute într-o situație concretă. Performanțele sistemelor depind de caracteristicile și performanțele fiecărui element component, precum și de compatibilitatea lor. Fiecare motor sau actuator vine în completarea necesităților din industrie satisfăcând astfel cererea pieței. Unele dintre ele pot fi modificate și adaptate să suplinească multiple cerințe.

În momentul de față cercetarea este capabilă să acopere majoritatea cerințelor. Unul dintre obiectivele principale este optimizarea sistemelor și îmbunătățirea performanțelor lor.

I.1.1. Caracteristici și performanțe ale motoarelor

Un motor electric este un dispozitiv electromecanic ce transformă energia electrică în energie mecanică. Transformarea în sens invers, a energiei mecanice în energie electrică, este realizată de un generator electric. Nu există diferențe de principiu semnificative între cele două tipuri de mașini electrice, același dispozitiv putând îndeplini ambele roluri în situații și scheme de conectare diferite.

Clasificarea motoarelor electrice: [1]

- după tipul curentului electric ce le parcurge:
 - Motoare de curent continuu:
 - Cu excitație derivație;
 - Cu excitație serie;
 - Cu excitație mixtă;
 - Cu excitație separată.
 - Motoare de curent alternativ:
 - Motoare sincrone;

- Motoare asincrone:
 - Motoare cu inele de contact (rotorul bobinat);
 - Motoare cu rotorul în scurtcircuit. Tipuri speciale de motoare cu rotorul în scurtcircuit:
 - ✓ Motoare cu bare înalte;
 - ✓ Motoare cu dublă colivie Dolivo-Dobrovolski.
- în funcție de numărul fazelor curentului cu care funcționează:
 - Motoare monofazate;
 - Motoare polifazate (cu mai multe faze).

I.1.2. Actuatore

Actuatorele sunt dispozitivele sau mecanismele care controlează acțiunile sistemelor. Ele necesită un semnal de intrare și o sursă de energie. Sursa semnalului de intrare poate fi de tip electric, termic, magnetic, optic, chimic. Când primește semnalul actuatorul răspunde prin convertirea energiei în mișcare mecanică. [3]

Conversia energiei de intrare (electrice, termice, magnetice, optice, chimice) în energie de acționare se realizează prin intermediul câmpurilor (electrice, magnetice, termice, etc), ca urmare a unor fenomene fizice: fenomenul piezoelectric, magnetostrictiv, de memorie a formei, de dilatare a corpurilor cu creșterea temperaturii, a efectului electro-reologic, electrohidrodinamic, de diamagnetism. Mecanismul actuatorului transformă, amplifică și transmite mișcarea.

Actuatorul hidraulic

Actuatorul hidraulic utilizează puterea hidraulică pentru a facilita operațiunile mecanice. Mișcarea mecanică produce o mișcare liniară, rotativă sau de oscilație. Datorită faptului că lichidele sunt aproape imposibil de comprimat, actuatorul hidraulic poate exercita o forță foarte mare. Dezavantajul acestei abordări este accelerarea limitată. [3]



Figura I.2. Exemplu de actuator hidraulic rotativ – reprodus după [4]

Cilindrul hidraulic este alcătuit dintr-un tub cilindric pe lungimea căruia pistonul poate aluneca. Acest lucru este folosit când presiunea este aplicată doar pe o parte a pistonului. Pistonul se mișcă într-o singură direcție, un arc fiind adesea folosit să dea pistonului o forță de întoarcere. Termenul de dublă acțiune corespunde situației în care presiunea este aplicată pe ambele părți ale pistonului; orice diferență de forță între cele două capete ale pistonului mută pistonul într-o parte sau în cealaltă. [3]

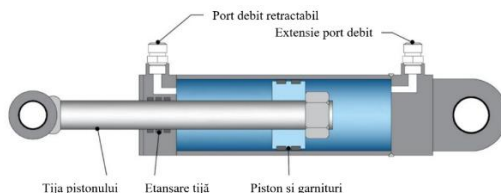


Figura I.3. Exemplu de actuator hidraulic liniar – reprodus după [4]

Cilindrii hidraulici își obțin puterea din fluidul hidraulic presurizat, care este de obicei ulei. Un cilindru hidraulic este partea de acționare a acestui sistem. Partea „generator” a sistemului hidraulic este pompa hidraulică care furnizează un debit fix sau regulat de ulei către cilindrul hidraulic, pentru a deplasa pistonul. Pistonul împinge uleiul din cealaltă cameră înapoi în rezervor. Dacă presupunem că uleiul intră de la capătul capacului, în timpul cursei de prelungire, iar presiunea uleiului în capătul tijei / capătul capului este aproximativ zero, forța (F) pe tija pistonului este egală cu presiunea (P) din cilindru ori aria pistonului (A).[3]

Actuatorul pneumatic

Actuatoarele pneumatice sunt dispozitivele care transformă energie, de obicei sub formă de aer comprimat, în mișcare mecanică.

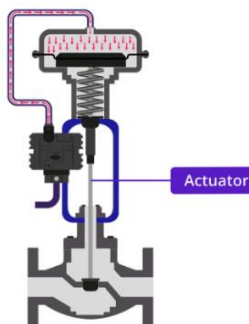


Figura I.4. Exemplu de actuator pneumatic – reprodus după [5]

Acesta convertește energia formată prin vacuum sau aer comprimat la presiune ridicată în mișcare de rotație sau liniară. Energia pneumatică este preferată pentru controlul motoarelor principale deoarece oferă un răspuns rapid la pornire și oprire ca rezultat al faptului că nu este necesară stocarea suplimentară de energie. Aceste forțe sunt utilizate la valve pentru mutarea diafragmelor pentru a afecta fluxul de aer prin supapă. [3]

Actuatorul electric

Actuatorul electric este dispozitivul utilizat pentru controlul mișcării sau poziției unui sistem mecanic. Acestea funcționează convertind energia electrică în energie mecanică. Acestea sunt de mai multe tipuri, precum: liniare, rotative, cu mai multe axe, pentru sarcini grele, etc.

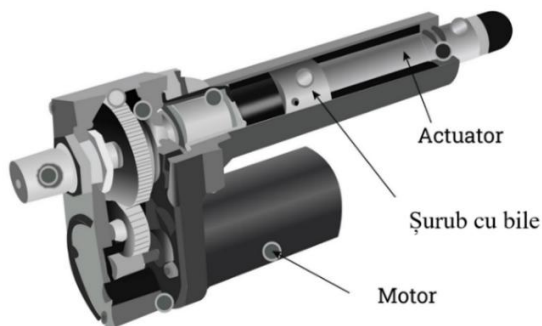
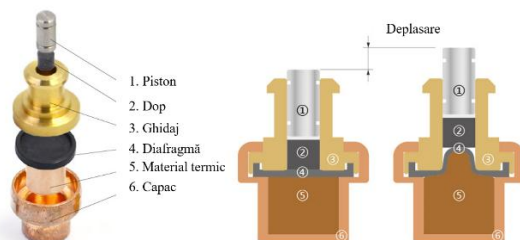


Figura I.5. Exemplu de actuator electric – reprodus după [6]

Actuatoarele electrice oferă funcționare ridicată, fiabilitate excelentă, speranță de viață lungă și întreținere redusă, sunt furnizate de comutatoare suplimentare, regulatoare de viteză, potențiometre, transmițătoare de poziție, poziționare, și stații de control locale. Aceste opțiuni pot fi adăugate la unitățile fabricate din fabrică sau furnizate sub formă de kit. [3]

Actuatorul termic sau magnetic

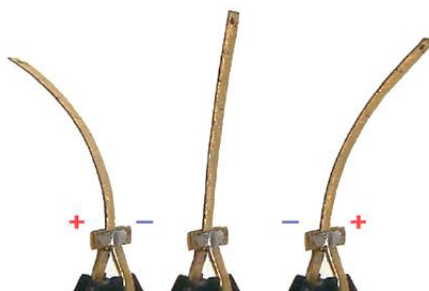
Actuatorul termic poate fi acționat prin aplicarea unei energii magnetice sau termice unui material în stare solidă. Acestea folosesc temperatura sau căldura obținută prin efectul Joule și tind să fie ușoare, compacte, au cost redus și o densitate mare de putere. Ele folosesc materiale cu memoria formei sau aliaje magnetice cu memorie a formei [7].



*Figura I.6. Exemplu de actuator termic tip diafragmă
- reprodus după [8]*

Actuatorul polimeric

Actuatoarele polimerice pot fi acționate cu ajutorul tensiunii electrice. Ele arată precum un arc elicoidal. Acestea sunt asemănătoare cu mușchii, oferind răspuns la o gamă de stimuli precum: schimbări de câmp magnetic sau electric, de lumină, pH, umiditate sau căldură. Pot avea dezavantaje precum timp ridicat de răspuns, oboseală, dar acestea au fost eliminate în timp prin introducerea materialelor inteligente sau combinații ale diferitelor materiale, dar și datorită tehnologiei de fabricație avansate.[9]



*Figura I.7. Exemplu de actuator polimeric ionic electromecanic activ de
îndoire – reprodus după [10]*

Necesitatea de greutate redusă sau biocompatibilitate în actuatoarele din robotică a influențat cercetătorii să realizeze actuatoare pneumatice moi, datorită abilității lor de a reproduce tensiunea musculară. Polimerii asemenea elastomerului dielectric, compozitului metal ionic polimeric, geluri polielectrolite, polimer ionic electroactive și compozite gel - metal sunt materiale des folosite pentru a forma straturile structurilor 3D care pot fi modificate pentru a fi utilizate ca actuatori moi. [9]

Pentru a evita aspectele consumatoare de timp ale modului de producție actual, cercetătorii explorează o nouă metodă a procesului de fabricație a actuatorilor soft. Acum pot fi fabricate printr-un singur pas, prin printarea 3D; acestea sunt utilizate pentru a completa golul dintre proiectarea și implementarea actuatorilor soft, făcând procesul mai rapid, mai simplu și mai ieftin. De asemenea se elimină necesitatea de a folosi alte elemente externe precum legături, adeziv etc. [9]

Actuatoarele piezo

Acestea sunt utilizate în prezent deoarece au un comportament bun și un timp de răspuns mic. Până în prezent, în dispozitivele de acționare piezo au fost de obicei inserate elementele care reduc rigiditatea, cum ar fi arcurile, pentru a îmbunătăți flexibilitatea. Adăugarea altor componente s-a dovedit a fi dezavantajoasă deoarece complexitatea actuatorilor piezo crește semnificativ. [9]

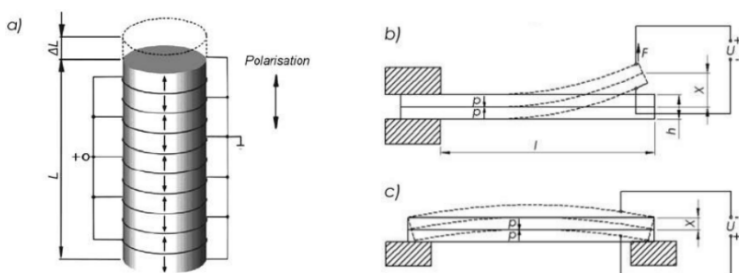


Figura 1.8. Diferite tipuri de actuatori piezoelectrice: a) stivă; b) cantilever și c) arbaletă – reprodus după [11]

Dezavantaje suplimentare sunt costurile crescute și greutatea crescută. În special, materialele precum piezoceramica și metalele sunt foarte grele. În plus, există dezavantajul că, pe de o parte, este necesară rigiditatea ridicată a sistemului, a dispozitivului de acționare piezo necesară pentru reglarea puterii și, pe de altă parte, această rigiditate ridicată este, la rândul ei, redusă de alte elemente. [9]

Prin urmare, dispozitivele de acționare piezo și dispozitivele de acționare de nivel superior sunt inefficiente. În plus, procesul de fabricație pentru actuatorii piezo este complex. Componentele individuale ale dispozitivelor de acționare piezo trebuie să fie conectate cu mai multe puncte de sudură sau pot fi înfășurate pentru a crea o conexiune mecanică.[9]

Actuatorul mecanic

Actuatoarele mecanice funcționează pentru a executa mișcarea prin convertirea unui tip de mișcare, precum mișcarea de rotație, în alt tip, precum cea liniară. Un exemplu este cremalieră – pinion. Funcționarea actuatoarelor mecanice se bazează pe combinații de componente cu structură precum dinți și șine sau lanțuri și scripete. [12]

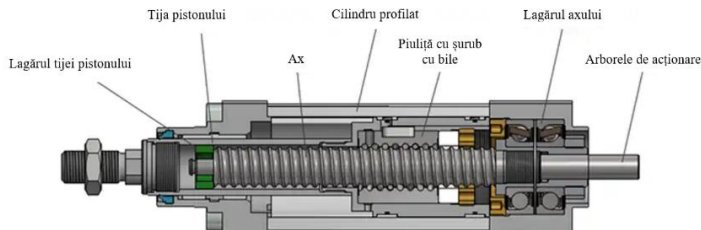


Figura I.9. Exemplu de actuator mecanic – reproduș după [13]

I.1.1. Funcționarea ciclică a unui actuator

Unele actuatoare sunt intrinsec bine potrivite pentru funcționarea ciclică. Aliaje de memoria formei, solenoizii și mușchii organici oferă de obicei o singură acțiune și necesită un sistem extern de resetare pentru funcționarea ciclică. În aliajele cu memoria formei forța de resetare asigură o limitare severă a funcționării ciclice. Curbele $\sigma - \epsilon$ sunt aproximative pentru funcționarea ciclică la producerea de lucru mecanic maxim pe unitate de volum pe ciclu. Pentru simplitate, curbele pentru sistemele cu acțiune simplă se bazează pe acțiunea unei perechi de dispozitivele de acționare care funcționează antagonic. [14]

Curbele se referă la funcționarea cu frecvență joasă, unde efectele inerțiale și de viteză sunt neglijabile. În acest regim de funcționare, lucrul mecanic disponibil pe ciclu este $4 \cdot C_c \cdot \sigma_{\max} \cdot \epsilon_{\max}$, unde C_c este un coeficient de lucru ciclic adimensional definit în ciclul de funcționare cu putere maximă de lucru pe ciclu prin:

$$C_c = \frac{1}{4} \oint \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} d\left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{\max}}\right) \quad (\text{I.1})$$

Coeficientul C_c se află în intervalul zero până la o unitate și este o măsură de eficiență a forma curbei $\sigma - \epsilon$ în funcționare ciclică.

În cazul în care un actuator trebuie să funcționeze ciclic, se iau în considerare frecvența, puterea și eficiența, care devin relevante. Eficiența

scăzută a actuatorelor acționate termic, cum ar fi dispozitivele de expansiune termică și aliajele cu memoria formei, este semnificativă acolo unde consumul de energie trebuie minimizat. [14]

I.2. MOTOARE ȘI ACTUATOARE SPECIALE FOLOSITE ÎN ENERGETICĂ

Acționările electrice din industriile producătoare (dar nu numai) lucrează deseori în condiții grele: funcționare continuă (24/7), în medii cu temperaturi ridicate, cu umezeală, abur și impurități. Astfel, motoarele și actuatorele electrice trebuie să-și mențină eficiența, să reziste la apă, coroziune, șocuri și vibrații.

Preocupările specialiștilor cu privire la dezvoltarea unor echipamente care să răspundă nevoilor din producție, au condus la dezvoltarea unui număr mare de soluții de motoare și actuatore speciale.

I.2.1. Motoare speciale folosite în energetică

Motor electric răcit direct din materiale polimerice – Demil

Fabricarea unor mașini electrice mai ușoare implică și reducerea greutateii motorului. O modalitate de a face acest lucru este construirea acestuia din materiale polimerice ranforsate cu fibre (figura I.11). A fost dezvoltat un nou concept de răcire care va permite utilizarea polimerilor ca materiale de carcasă a motorului (figura I.11), crescând densitatea de putere și eficiența motorului în comparație cu cele de ultimă generație. [16]

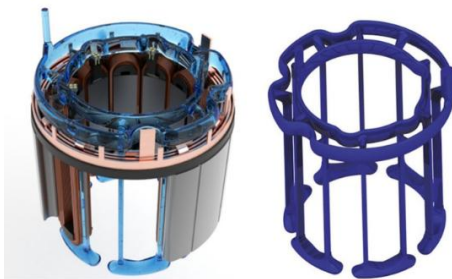


Figura I.11. Circuit de răcire în stator construit din polimer ranforsat cu fibre (Fraunhofer ICT) – reprodus după [16]

Noua abordare încorporează răcirea directă a statorului și a rotorului. Motoarele electrice au un randament de peste 90 %, ceea ce înseamnă că o mare parte din energia electrică este transformată în energie mecanică. Restul de 10 procente din energia electrică se pierde sub formă de căldură. Pentru a preveni supraîncălzirea motorului, căldura din stator este în condusă printr-o carcasă metalică către un manșon de răcire umplut cu apă rece.

În noua abordare, firul rotund a fost înlocuit cu un fir plat dreptunghiular care poate fi înfășurat mai strâns în stator. Astfel, se creează mai mult spațiu pentru canalul de răcire de lângă fazele de înfășurare a firului plat. În acest design optimizat, pierderile de căldură pot fi disipate prin canalul de răcire din interiorul statorului, eliminând necesitatea de a transporta căldura prin carcasa metalică către un manșon de răcire exterior. Aceasta oferă și alte beneficii, inclusiv o inerție termică mai mică și o putere mai mare a motorului. În plus, noul design încorporează o soluție de răcire a rotorului care permite, de asemenea, ca pierderile de căldură ale rotorului să fie disipate în interiorul motorului. [16]

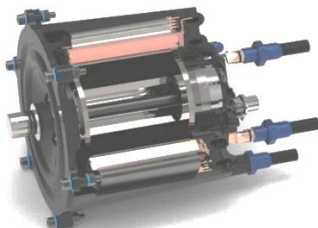


Figura I.12. Vedere în secțiune a motorului electric.
– reprodus după [16]

Prin dispariția căldurii în apropierea locului în care este generată, cercetătorii au reușit să construiască întregul motor și carcasa din materiale polimerice. Carcasele din polimeri sunt ușoare și mai ușor de produs decât cele din aluminiu și se pretează la geometrii complexe, fără a necesita post-procesare. Metalul necesar în prezent ca și conductor de căldură poate fi înlocuit cu materiale polimerice, care au o conductivitate termică scăzută în comparație cu metalele. Au fost alese materiale plastice termorezistente întărite cu fibre, care oferă rezistență la temperaturi ridicate și rezistență ridicată la agenți de răcire agresivi. Spre deosebire de materialele termoplastice, cele termorezistente nu se umflă atunci când intră în contact cu substanțe chimice.

Carcasa polimerică este produsă printr-un proces automatizat de turnare prin injecție, folosind compusul fenolic de turnare Vyncolit X7700. Durata ciclului de fabricație a prototipurilor este în prezent de patru minute. Statoarele sunt suprastampate cu un compus de turnare din rășină epoxidică termoconductivă (Sumikon EME-A730E) într-un proces de turnare prin transfer. [16]

Motoare minuscule pentru a alimenta o rețea de nanomașini

Cercetătorii de la Cockrell School of Engineering din cadrul The University of Texas at Austin au creat recent primul nanomotor optic în stare solidă (figura I.16). Aceste motoare minuscule ar putea alimenta o rețea de nanomașini și ar putea înlocui unele dintre sursele de energie utilizate în prezent în dispozitive.

Toate versiunile anterioare ale acestor motoare acționate de lumină se află într-un fel de soluție, ceea ce a împiedicat utilizarea lor pentru majoritatea aplicațiilor din lumea reală. "Viața a început în apă și, în cele din urmă, s-a mutat pe uscat", a declarat Yuebing Zheng, profesor asociat în cadrul Departamentului Walker de Inginerie Mecanică. "Noi am făcut ca aceste micro nanomotoare care au trăit întotdeauna în soluție, să funcționeze pe uscat, în stare solidă". [20]

Noul motor are o lățime mai mică de 100 de nanometri și se poate roti pe un substrat solid sub flux luminos. Acesta poate servi drept motor fără combustibil și fără angrenaje pentru a converti lumina în energie mecanică pentru diverse sisteme micro/nanoelectromecanice cu stare solidă. [13]

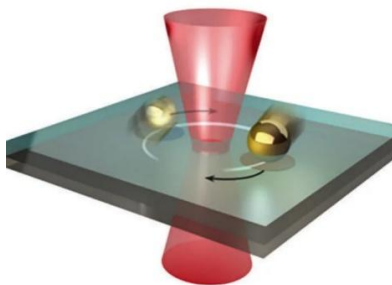


Figura I.13. Motoarele rotative au o lățime de 100 nanometri și se pot roti pe un substrat solid sub iluminare.– reprodus după [20]

Aducerea acestor nanomotoare pe uscat și în afara apei, evită mișcarea browniană, unul dintre cele mai mari obstacole care împiedică punerea în aplicare a acestor dispozitive. Aceasta se întâmplă atunci când moleculele de apă împing aceste mici motoare prin rotația lor. Cu cât motorul este mai mic, cu atât mai puternică devine această mișcare. Eliminarea soluției din ecuație reduce complet această problemă.

Prin eliminarea acestor motoare din soluție și plasarea lor pe cipuri, acestea au potențialul de a înlocui bateriile în unele cazuri, folosind doar lumina pentru a genera mișcare mecanică și a alimenta dispozitivele. Această descoperire rezultă dintr-un design nou: un strat subțire de material cu schimbare de fază pe substrat. Filmul subțire poate suferi o schimbare locală și reversibilă de la faza solidă la o fază cvasi-lichidă atunci când este expus la lumină. Această schimbare de fază poate reduce forța de frecare a nanomotoarelor și determină rotația.

Aceasta a fost prima demonstrație dintre motoare care utilizează nanoparticule. În continuare, cercetătorii vor continua să îl îmbunătățească, lucrând la sporirea performanțelor, făcându-le mai stabile și controlabile, ceea ce duce la convertirea luminii în energie mecanică la rate mai mari. [20]

I.2.2. Actuatoare speciale folosite în energetică

Actuatori moi și senzori cu polimer flexibil cu eficacitate piezoelectrică robustă

O echipă interdisciplinară de cercetători condusă de Penn State a dezvoltat un polimer cu o eficacitate piezoelectrică robustă, ceea ce a dus la o producție de energie electrică cu 60% mai mare decât în cazul variantelor anterioare.

Potrivit lui Qiming Zhang, profesor în domeniul inginerie electrică la Penn State, cuplarea electromecanică a polimerilor a fost foarte scăzută, astfel că și-au propus să îmbunătățească acest lucru deoarece plasticitatea relativă a polimerilor îi face candidați excelenți pentru senzori și actuatori moi într-o varietate de domenii, inclusiv biosenzori, sonare, mușchi artificiali și altele.

Pentru a crea materialul, cercetătorii au implementat în mod deliberat impurități chimice în polimer. Acest proces, cunoscut sub numele de dopaj, permite cercetătorilor să regleze proprietățile unui material pentru a genera efecte dezirabile - cu condiția să integreze numărul corect de impurități. Adăugarea unei cantități prea mici de

dopant ar putea împiedica inițierea efectului dorit, în timp ce adăugarea unei cantități prea mari ar putea introduce trăsături nedorite care să împiedice funcționarea materialului. [25]

Doparea modifică distanța dintre sarcinile pozitive și negative în cadrul componentelor structurale ale polimerului. Distorsiunea segregă sarcinile opuse, permițând componentelor să acumuleze o sarcină electrică externă mai eficient. Această acumulare îmbunătățește transferul de electricitate în polimer atunci când acesta este deformat.

Pentru a spori efectul de dopaj și a asigura alinierea lanțurilor moleculare, cercetătorii au întins polimerul. Aceasta favorizează un răspuns electromecanic mai puternic decât cel al unui polimer cu lanțuri aliniate aleatoriu.

Această performanță electromecanică robustă, care este mai frecventă în cazul materialelor ceramice rigide, ar putea permite o varietate de aplicații pentru polimerul flexibil. Deoarece polimerul prezintă o rezistență la undele sonore similară cu cea a apei și a țesuturilor umane, acesta ar putea fi utilizat în imagistica medicală, hidrofoanele subacvatice sau senzorii de presiune. De asemenea, polimerii tind să fie mai ușori și mai ușor de configurat decât ceramica, astfel încât acest polimer ar putea oferi oportunități de explorare în domeniul imagisticii, al roboticii și nu numai. [18] Astfel de materiale, polimerice, cu proprietăți electrice sau magnetice pot constitui, prin înglobarea lor în unii actuatori, sisteme foarte utile în domeniul energetic. [25]

Actuator termomecanic cu bimetal

Actuatorul termomecanic bimetal (figura I.22) include o structură bimetalică multistrat 22 care conține o multitudine de structuri bimetalice 22. Fiecare structură bimetalică cuprinde o pereche de metale, un metal structural 14 și un metal motor 16 care sunt legate împreună de-a lungul unei interfețe lipite, perechea de metale formând un singur strat. O interfață glisantă 20 este între fiecare pereche de metale. [26]

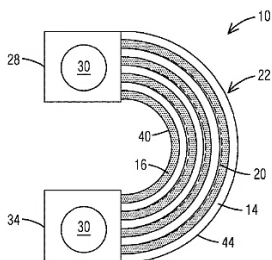


Figura I.22. Vedere laterală a unui actuator termo-mecanic cu bimetal - reprodus după [19]

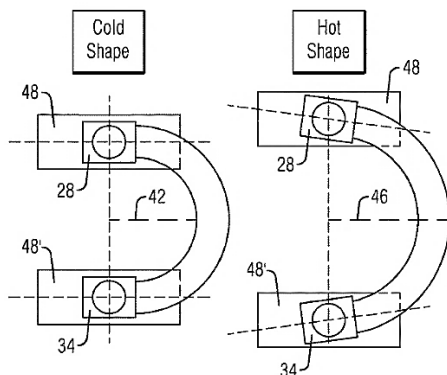


Figura I.23. Vedere laterală prezentată într-un cadru de sârmă simplificat al unui actuator termo-mecanic bimetal la diferite temperaturi - reprodus după [19]

Structura bimetalică multistrat 22 (figurile I.22, I.23 și I.24), are o forma unui arc și include un prim capăt 34 și un al doilea capăt 28, o margine interioară 40 și o rază interioară 42, o margine exterioară 44 și o rază exterioară 46. Un prim cap pivotant 28 este conectat la primul capăt și un al doilea cap pivotant 34 este conectat la cel de-al doilea capăt al structurii bimetalice multistrat 22. Fiecare cap pivot include o gaură de trecere 30 situată aproximativ în centru. Structura bimetalică multistrat 22 se extinde și se contractă odată cu modificările de temperatură.[19]

Actuator cu polimer care este deformat prin aplicarea căldurii și particule de hidrotalcit

Actuatorul (figura I.25) este prevăzut cu un material polimeric fibros care este deformat prin aplicarea căldurii și particule de hidrotalcit. Particulele de hidrotalcit sunt dispersate în materialul de polimer fibros sau într-un film de rășină dispersat pe suprafața materialului polimeric fibros. "Dispersat în material polimeric fibros" înseamnă dispersat în suprafața și în interiorul materialului. [20]

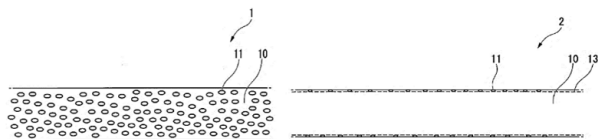


Figura I.25. Material polimeric care se deformează prin încălzire, acoperit cu un film de rășină 13 - reprodus după [27]

Figura I.26 prezintă o vedere schematică care include un material de polimer fibros 10, care este deformat prin încălzire și particule de hidrotalcit 11, dispersate în materialul de polimer fibros 10. Actuatorul poate asigura o operație de răsucire (adică o acțiune de rotație) prin încălzire externă și poate oferi o acțiune de rotație inversă prin returnarea torsiunii prin răcire naturală (răcire cu aer). Deoarece dispozitivul de acționare 1 include particulele de hidrotalcit 11 într-o stare dispersată, răcirea materialului de polimer fibros 10 poate fi accelerată și viteza de răspuns a dispozitivului de acționare 1 poate fi îmbunătățită. [27]

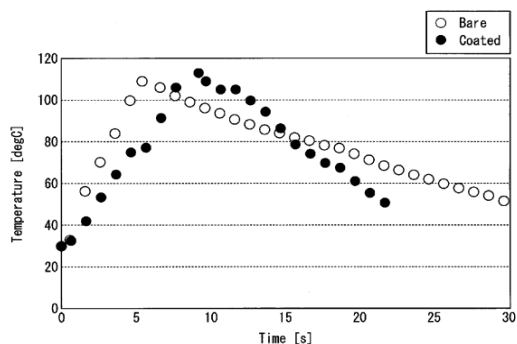


Figura I.26. Rezultatele evaluării ratei de răcire - reprodus după [27]

Mecanismul de acționare 2 (figura I.26) are un material polimeric fibros 10 care este deformat prin încălzire, acoperit cu o peliculă de rășină 13, iar particulele de hidrotalcit 11 sunt dispersate în pelicula de rășină 13. Mecanismul de acționare 2 poate asigura o operație de torsiune (de exemplu, acționare prin rotație) prin încălzire externă, și poate oferi o acțiune de rotație inversă prin returnarea torsiunii prin răcire naturală (răcire cu aer). Pelicula de rășină 13 funcționează ca un strat radiant de căldură, acesta poate accelera răcirea materialului de polimer fibros încălzit 10 și poate îmbunătăți viteza de răspuns a actuatorului 2. [27]

Materialul polimeric fibros poate fi o fibră monofilament sau o fibră multifilament. Materialul polimeric fibros deformabil prin încălzire include un lanț polimeric având o orientare regulată a polimerului care este neparalel cu axa fibrei și se răsuște. Polimerul care constituie materialul polimeric fibros este nailon, altele asemenea sau rășini acrilice, cum ar fi polimetilmetacrilat, rășini poliesterice, cum ar fi polietilentereftalat, și rășini poliolefinice, cum ar fi policarbonat, clorură de polivinil, policarbonat, polieter eter cetonă, polietilenă și polipropilenă.[27]

În dispozitivul de acționare al prezentei invenții, materialul polimeric fibros 10, este condus pentru a se roti în jurul unei axe de fibre prin încălzire. Actuatorul conform prezentei invenții poate include un conductor liniar încălzit extern și fără conductor liniar, se rotește în jurul unei axe de fibră ca răspuns la o temperatură externă din mediu.[20]

Actuatorul conform prezentei invenții poate fi utilizat ca un actuator care se deformează prin încălzire în aplicații, pentru alimentarea diferitelor elemente și este extrem de eficient din punct de vedere industrial.[27]

I.3. CONCLUZII

Capitolul oferă o imagine de ansamblu asupra diversității și complexității motoarelor și actuatorilor speciale, precum și asupra rolului lor crucial în sistemele electrice moderne. Acestea se caracterizează prin:

- Diversitate și specificitate - motoarele și actuatorii reprezintă o gamă vastă de dispozitive, fiecare adaptat pentru aplicații specifice, de la cele industriale la cele de uz casnic.

- Rol central este în automatizare - aceste dispozitive sunt esențiale pentru automatizarea proceselor industriale, a sistemelor robotice și a echipamentelor electrice în general.

- Inovație continuă - tehnologiile asociate motoarelor și actuatorilor sunt în continuă evoluție, iar noile materiale și concepte de proiectare permit dezvoltarea de dispozitive din ce în ce mai eficiente și mai fiabile.

- Considerații de proiectare complexe - alegerea și dimensionarea unui motor sau actuator implică o analiză atentă a parametrilor de intrare și ieșire, mecanici și de mediu, precum și a cerințelor specifice ale aplicației.

În privința principiului funcțional putem concluziona că:

CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA UNOR MOTOARE ȘI ACTUATOARE FOLOSITE ÎN ENERGETICĂ

-Motoarele asincrone cu rotor în colivie și cu rotor în scurtcircuit sunt motoare robuste și fiabile, utilizate în aplicații industriale grele.

-Motoarele sincrone cu magneți permanenți oferă un cuplu ridicat la turații mici și o eficiență energetică crescută.

-Actuatoarele electrice, pneumatice și hidraulice au fiecare avantajele și dezavantajele lor, iar alegerea tipului de actuator depinde de cerințele specifice ale aplicației.

-Actuatoarele inteligente încorporează senzori și microcontrolere, permițând un control mai precis și o comunicare mai eficientă cu alte sisteme.

În concluzie, motoarele și actuatoarele speciale reprezintă o tehnologie esențială pentru dezvoltarea sistemelor electrice moderne, oferind o gamă largă de posibilități pentru automatizare și control în industria energetică. Alegerea unui motor sau actuator potrivit pentru o anumită aplicație necesită o analiză atentă a cerințelor funcționale și a constrângerilor de proiectare.

Viitorul motoarelor și actuatoarelor se conturează sub semnul miniaturizării, eficienței energetice și integrării cu tehnologii inteligente. Materialele avansate și tehnicile de fabricație aditivă vor permite crearea de dispozitive cu performanțe superioare și cu un design personalizat ușor de adaptat la diferitele situații întâlnite în domeniul energetic, acestea fiind insensibile la câmpurile electrice și magnetice mari din instalațiile de producere, transport și distribuție a energiei electrice.

Capitolul II.

ANALIZA BIBLIOMETRICĂ A ACTUATOARELOR SPECIALE FOLOSITE ÎN INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

II.1. ANALIZA BIBLIOMETRICĂ A MOTOARELOR ȘI ACTUATOARELOR CU POLIMERI

Acest capitol prezintă analiza bibliometrică asupra motoarelor și actuatoarelor cu polimeri. Software-ul utilizat pentru obținerea rezultatelor din acest capitol este VOSviewer. Acesta este o aplicație software care utilizând date și informații generează hărți bibliometrice. Rețelele pe care le generează în cadrul hărților pot fi identificate de la nivel de cuvinte cheie până la publicații științifice, jurnale, cercetători, organizații de cercetare sau țări. Acestea pot fi vizualizate și explorate prin trei modalități, respectiv, vizualizarea în rețea, vizualizarea suprapusă și vizualizarea densității, toate sunt prezentate în rezultatele obținute. [33]

II.1.1. Analiza motoarelor polimerice folosind hărți bibliometrice

Motoarele polimerice sunt unul dintre punctele principale de cercetare în prezent din cauza nevoii continue de a obține dispozitive mai performante și mereu actualizate. Această revizuire prezintă tendințele motoarelor polimerice folosind hărți bibliometrice.

Lucrarea cuprinde o descriere a articolelor publicate care include: tipul de motor identificat, obiectivul principal, aplicațiile și tipurile de polimerii utilizați.

Analizând hărțile bibliometrice, au fost identificate 91 de itemi principali, printre care: motor polimeric, motor cu ultrasunete, sistem, mecanism, caracteristică și aplicație. Termenii principali fost distribuiți pe clase. Multiple perspective de vizualizare pot fi identificate în secțiunea de rezultate.

Cei mai importanți pași, identificați cu ajutorul analizei bibliometrice, în construirea unui motor polimeric sunt stabilirea

sistemului în care va funcționa motorul, apoi identificarea tipului de polimer adecvat pentru a fi compatibil cu acțiunea pe care motorul va trebui să o efectueze și stabilirea caracteristicilor care trebuie îmbunătățite comparativ cu motoarele deja existente pe piață.

Introducere în analiza bibliometrică

În ultimii ani progresul automatizării industriale și roboticii a dus la o creștere semnificativă a producției de echipamente electrice și la apariția unor noi categorii de motoare și micromotoare. Materialele inteligente sunt din ce în ce mai studiate pentru a oferi dispozitive ecologice adaptate nevoilor și solicitărilor clientului. [34]

Spre deosebire de motoarele electrice convenționale care se bazează pe forțele dezvoltate în câmpul magnetic și electric, cele neconvenționale funcționează pe baza altor tipuri de forțe. În această categorie un loc important îl ocupă micromotoarele și motoarele polimerice [35]. Polimerii utilizați pentru aceste aplicații sunt acționați utilizând stimuli electrici sau termici și includ mai multe tipuri de materiale, cum ar fi: geluri polimerice, elastomeri dielectrics, compozite ionice polimerice metalice (IPMC), polimeri conductori, polimeri piezoelectrics [36], [41].

În tabelul următor sunt prezentate articolele [37] - [52] introduse în analiza VOSviewer, respectiv tipul de motor pe care îl conțin și obiectivul urmărit al acestora.

Polimerii sunt noua soluție în lumea inovației și dezvoltării de astăzi. În figura II.1. sunt prezentate câteva dintre aplicațiile motoarelor polimerice identificate în articolele analizate.

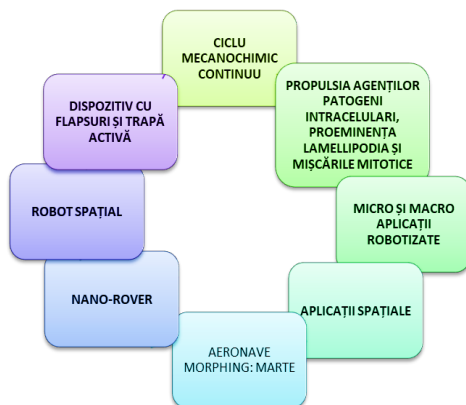


Figura II.1. Aplicații ale motoarelor polimerice

Multitudinea de polimeri prezenți pe piață este din ce în ce mai mare, cu caracteristici îmbunătățite și performanțe sporite. În figura II.2 sunt prezentați câțiva dintre polimerii utilizați în motoarele realizarea motoarelor studiate.

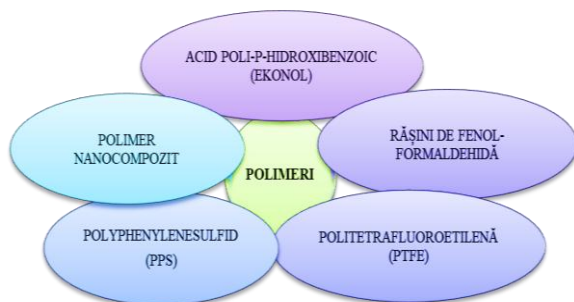


Figura II.2. Polimeri utilizați în producția motoarelor polimerice

Acest subcapitol este structurat în patru părți: introducere, materiale și metode, rezultate și concluzii și perspective de viitor. În secțiunea de materiale și metode este explicată selecția articolelor, urmată de rezultatele în care sunt prezentate hărțile bibliometrice. Ultima secțiune reprezintă concluziile la care ne-a condus această lucrare și direcțiile viitoare de cercetare pe care le fac cercetările noastre.

Materiale și metode

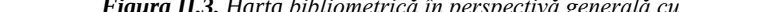
Pentru această cercetare am selectat articole folosind următoarele cuvinte cheie „motoare polimerice”, „motoare cu materiale inteligente”, „motoare noi în industrie” etc. pentru a identifica articolele corespunzătoare lucrării noastre. Am identificat articole din baze de date ca IEEE, Science Direct și Web of Science și le-am selectat pe cele mai potrivite pentru cercetarea noastră.

Pentru articolele selectate extensia RIS a fost exportată pentru a le introduce în software-ul VOSviewer [33] și pentru a genera hărțile bibliometrice. Hărțile bibliometrice sunt prezentate în partea de rezultate ale lucrării.

Rezultate obținute

În Tabelul II.2. sunt prezentate distribuția în clase a celor 91 de itemi principali identificați în harta generală generată în program. Există 7 clase, cea mai mare este clasa 1 cu 25 de elemente, iar cea mai mică este cea de a șaptea cu 5 elemente.

	Numărul	Culoarea
--	---------	----------



ualizarea suprapunerii hărtii generale cu evoluția t

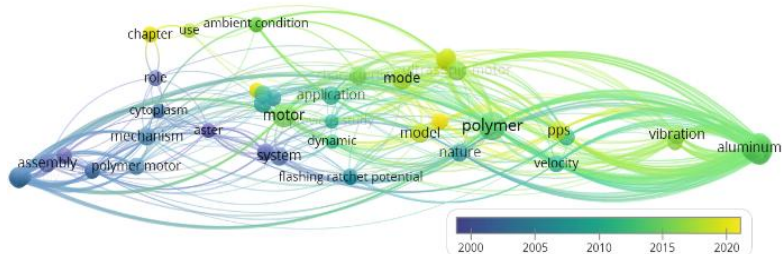


Figura II.4. Vizualizarea evoluției și trendurilor motoarelor cu polimeri

Vizualizarea densității itemilor (Figura II.5) evidențiază punctele de focalizare: motorul cu cele mai importante conexiuni pe care acest item le are, respectiv, aplicațiile sale, sistemul de implementare și dinamica acestuia, polimerul care dictează modelul, natura și mecanismul motorului, rezultând astfel ansamblul complet.

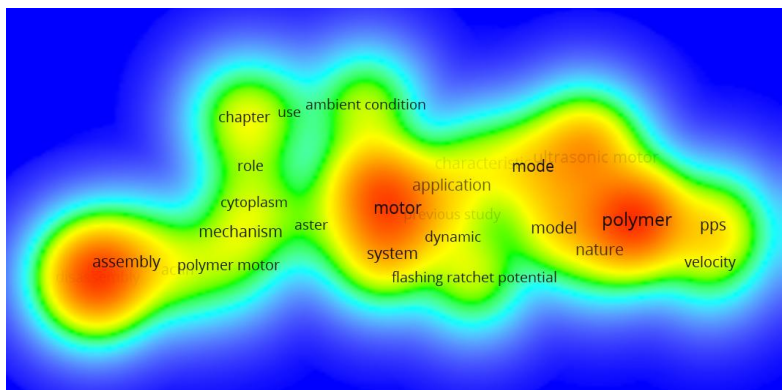


Figura II.5. Vizualizarea densității claselor de termeni

Motoarele sunt dispozitive care produc lucru mecanic dintr-o altă formă de energie. În special, motoarele polimerice (Figura II.6) joacă un rol important în domeniul materialelor și dispozitivelor inteligente datorită varietății lor mari în ceea ce privește proprietățile fizice și chimice, care la rândul lor oferă variații mecanice, o serie mare de configurări. De asemenea, prezintă o mare varietate de forme și dimensiuni care, în acest moment, sunt implementate într-o gamă largă de domenii precum robotică, industria biomedicală, aerospațială, etc. [38] Termenul motor polimeric este situat în grupul 2, are 36 de legături, 4 apariții și o intensitate totală a legăturilor de 76.

CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA UNOR MOTOARE ȘI ACTUATOARE FOLOSITE ÎN ENERGETICĂ

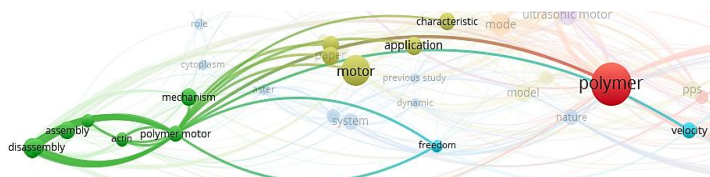


Figura II.6. Termenul Motor polimeric

Motoarele cu ultrasunete sunt un tip de motoare piezoelectrice care efectuează o mișcare liniară sau circulară controlată de vibrația cu ultrasunete a unei componente. În ultimii ani au fost dezvoltate câteva motoare cu ultrasunete cu vibrator polimeric. Luând în considerare densitatea și modulul de elasticitate al polimerilor, unele straturi subțiri de polimer au fost prelucrate ca material de frecare pe suprafața de contact pentru a îmbunătăți frecarea și uzura caracteristică. Termenul motor cu ultrasunete este poziționat în grupul numărul 5, are 43 de legături, 8 apariții și puterea totală a legăturilor de 232.

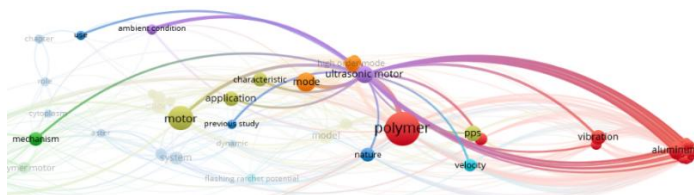


Figura II.7. Termenul Motor cu ultrasunete

Motoarele polimerice se remarcă printr-un număr mare de aplicații, fiind una dintre cele mai importante și promițătoare familii de materiale inteligente. Începând de la aplicațiile din domeniul biomedical, agricultură, industria aerospațială, mecanică, electronică, robotică, medicală, industria divertismentului, animatronica, dezvoltând următoarele elemente: mecanisme articulare, jucării, interfață tactilă și haptică, control activ al vibrațiilor și zgomotului, traductoare, generatoare de energie, senzori, dispozitive MEMS, textile inteligente, motoarele polimerice ocupă tot mai mult spațiu. Termenul aplicații se află în grupul 4, cu 22 de legături, 6 apariții și o intensitate totală a legăturilor de 98.

Concluzii

Cei mai importanți pași în construirea unui motor polimeric sunt stabilirea sistemului în care va funcționa motorul, apoi identificarea tipului de polimer adecvat compatibil cu acțiunea pe care motorul trebuie

să o efectueze și stabilirea caracteristicilor care trebuie îmbunătățite comparativ cu motoarele deja existente pe piață.

Analiza efectuată s-a axat pe mai multe elemente caracteristice ale micromotoarelor cu polimeri. Pentru a caracteriza complexitatea și performanța acestor motoare trebuie luate în considerare în primul rând aplicațiile acestora, tipul de polimer utilizat, componentele mecanismului de acționare și performanțele necesare sistemului.

Au fost evidențiate doar câteva elemente corelate cu motoarele polimerice, dar acest tip de analiză poate fi făcut mai precis pentru a oferi o perspectivă mai bună pentru cercetătorii din domeniu. Noi polimeri sunt identificați tot timpul, astfel încât noi motoare și dispozitive vor fi dezvoltate, tot mai performante și eficiente.

II.1.2. Analiza actuatorilor polimerici folosind hărți bibliometrice

Tehnologiile se află într-o continuă analiză și dezvoltare pentru a găsi materiale noi pentru înlocuirea celor clasice. Materialele inteligente sunt una dintre soluții. În acest subcapitol prezentăm o analiză a actuatorilor dezvoltate în ultimii ani, folosind polimeri. Se evidențiază mai multe tipuri de actuatori, structura și funcționarea lor și le-am clasificat după domeniul aplicației și obiectivul lor principal. Folosind VOSviewer am construit hărți bibliometrice pentru a prezenta importanța termenilor cheie precum: „performanță”, „forță”, „sistem”, „acționare” etc. pentru dezvoltarea de noi dispozitive.

Dezvoltarea de noi dispozitive, materiale și metode este o competiție în zilele noastre datorită industriei în continuă dezvoltare și a cererii uriașe de materiale noi și ecologice. Una dintre cele mai noi soluții sunt materialele inteligente, respectiv din domeniul polimeri.

Abordăm în acest subcapitol mai multe tipuri de polimeri care au aplicații în sisteme electromecanice, sisteme de micromanipulare, roboți, organe bionice, roboți subacvatici, câmpuri industriale, tehnologii auto, electrice și electronice, medicale, dispozitive de conversie a energiei, micropompe, aplicații auto, aplicații ortopedice, robotică moale, dispozitive portabile de generare a tensiunii sau aplicații musculare artificiale.

Materiale si metode utilizate

Figura II 12 evidențiază evoluția care a fost înregistrată în aria

Materialele noi, care sunt tot mai utilizate în ultimii ani, vizează și

În 2014 accentul era pus pe modelul de prototip dezvoltat, pe performanța actuatorului, mecanismul de funcționare și sistemul pentru care acesta era conceput. Tendințele actuale prezintă orientarea spre tipul de material utilizat, respectiv, nanofibră de polimer, polimeri moi pentru conceperea de actuatori speciali precum și pe schimbările care apar în timpul utilizării acestora.

II.2.1. Stadiul actual al soluțiilor în dezvoltarea echipamentelor care utilizează Nitinol

Generațiile trecute erau obișnuite să trăiască modest și respectând limitele naturii, dar în ziua de azi, pe piața ofertei și a cererii, cu cât economia este mai mare, cu atât mai mari și mai negative sunt efectele asupra pământului, apei și aerului. În ultimii ani, industria solicită soluții și materiale inovatoare pentru a fi utilizate în dispozitive eficiente și care

corespund cerințelor cotidiene pentru a reduce consumul și exploatarea în masă.

Nitinolul este un material care poate fi folosit în mod repetat pentru aceeași acțiune. Acesta a fost descoperit în anul 1950, iar acronimul "Nitinol" provine de la "Nickel Titanium Naval Ordnance Laboratory". Acest aliaj metalic este format din Nichel și Titan, în multiple variații compoziționale și forme care îi conferă proprietăți unice de formare, comportament și de memorare.

Printre cele mai apreciate caracteristici ale acestui material se află:

- Memoria formei;
- Supraelasticitatea;
- Compoziția precisă;
- Transmiterea căldurii;
- Rezistența la coroziune;
- Gama vastă de aplicabilitate.

Caracteristicile sale remarcabile îl fac un material foarte căutat, dar și cu foarte multe aplicații, iar prețurile elementelor construite din acest aliaj vor fi tot mai accesibile.

Cercetările în domeniul Nitinolului au început să se accentueze în 2019 și sunt într-o creștere exponențială într-o vastă gamă de industrii și în cercetare. Cel mai des întâlnit la momentul actual este în domeniul medical, în stomatologie, respectiv pentru tratamentele ortodontice, în chirurgie animală și umană pentru plăci ortopedice, tije și șuruburi.

Mi-am concentrat cercetarea teoretică pe articole care analizează și îmbunătățesc aliajul NiTi pentru a crea o gamă mai largă de aplicabilitate pentru acesta, studii asupra dispozitivelor deja existente, modele de testare, aplicații și dispozitive noi care îl utilizează, de asemenea și pe lucrări care identifică noi aplicații pentru dispozitive/ echipamente actuale din NiTi.

II.2.2. Clasificări

În această secțiune sunt introduse două clasificări, prima este clasificarea după forma de Nitinol utilizat și următoarea după domeniul principal de aplicare.

Clasificare după forma materialului

Fiecare articol studiat conține una sau mai multe forme de Nitinol (figura II.18) în diferite structuri și compoziții proiectate pentru a avea

Capitolul II. ANALIZA BIBLIOMETRICĂ A ACTUATOARELOR SPECIALE FOLOSITE ÎN INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

anumite caracteristici și pentru a răspunde în câmp electric, termic, chimic, etc.

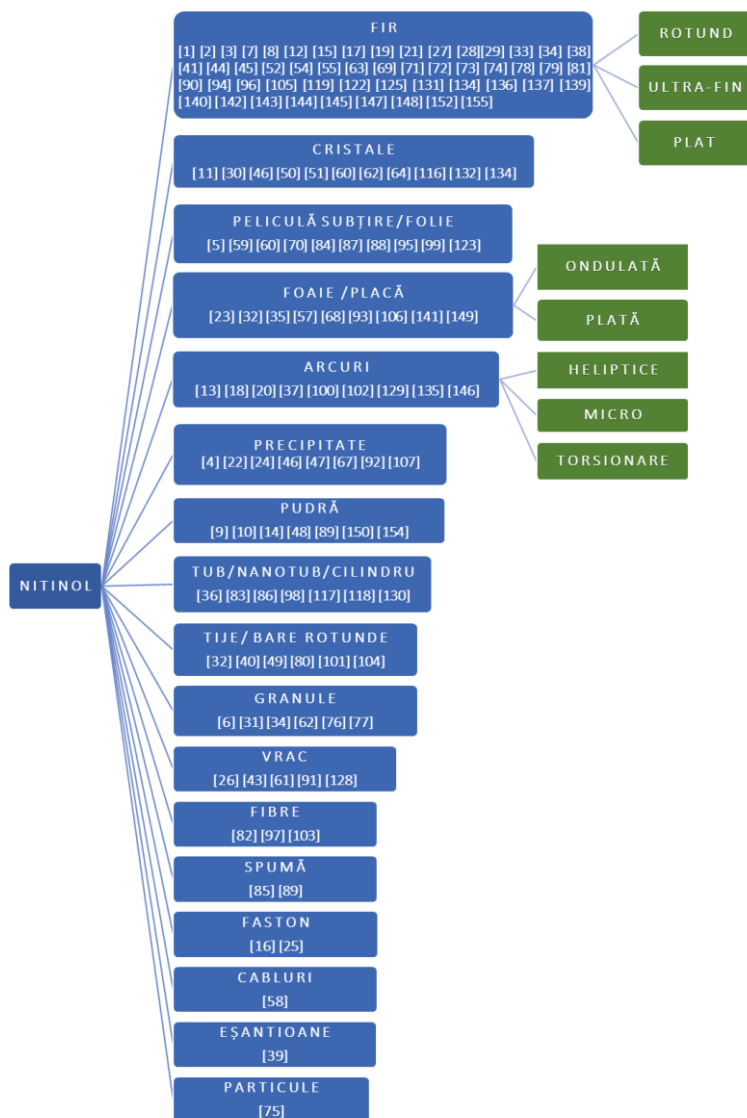


Figura II.18. Forme de Nitinol

Clasificare după domeniul de aplicație

Nitinolul are o varietate atât de vastă de aplicații datorită caracteristicilor sale de memorie a formei activate la schimbările de temperatură, supraelasticitate, rezistență la coroziune, antitoxicitate, caracteristici bune de absorbție a șocurilor, gamă largă de răspuns la temperatură în funcție de procente atomice ale Nichelului și Titanului.

Domeniul medical ocupă primul loc atunci când vine vorba de cercetări în domeniul aplicațiilor și studiilor Nitinolului. Urmează apoi domeniul ingineriei, cu o mare varietate de dispozitive, apoi ingineria civilă, robotica și așa mai departe. Cu siguranță, graficele ar fi diferite dacă aș compila mai multe platforme de publicare și numărul de lucrări studiate ar fi majorat. Următoarea clasificare enumeră câteva dintre domeniile de utilizare identificate și principalele aplicații ale Nitinolului în domeniile respective:

➤ Medical:

- Senzori de tensiune arterială pe capul de ac;
- Fișe de canal radicular;
- Arcuri, stenturi;
- Implanturi spinale și dentare;
- Stent vascular;
- Rama de ochelari;
- Micro-stent;
- Implant osos;
- Fire ortodontice;
- Dispozitive chirurgicale minim invazive;
- Inserție robotică a acului;
- Stent-uri;
- Valve;
- Mușchi.

➤ Inginerie:

- Actuator rotativ;
- Motoare aerospațiale cu turbină cu gaz;
- Actuatore dinamice;
- Acționări utilizate pentru controlul activ al palelor rotorului de elicopter;
- Actuatore termice bimorfe;
- Actuator fără senzor.

➤ Industria construcțiilor civile:

- Materiale cu amortizare ridicată;
- Structuri cu pereți subțiri;
- Grilă;
- Microrețele;
- Folie de NiTi pentru sudură.

II.2.3. Analiza Nitinolului prin bibliometrie

Metoda de obținere a hărților bibliometrice

Am optat pentru platforma Web of Science datorită varietății mari de articole și a complexității acestora. Articolele selectate sunt din domeniul dispozitivelor și echipamentelor din Nitinol.

În clasificarea pe țări au fost incluse toate cercetările rezultate prin filtrări de articole pe Web of Science, privind Nitinolul, publicate în următoarele domenii din Web of Science:

- Știința materialelor la nivel multidisciplinar;
- Inginerie biomedicală;
- Inginerie electrică și electronică;
- Inginerie de fabricație;
- Inginerie multidisciplinară;
- Ortopedie;
- Robotică;
- Inginerie aerospațială;
- Inginerie industrială.

Analiza simulării bibliometrice

Mii de elemente sunt prezentate sub perspective și medii multiple, care evoluează sub numele de dezvoltare și evoluție în știință. Următoarea figură evidențiază 74 de elemente care au fost utilizate cel puțin de 10 ori din articolele selectate.

Suprafețele cele mai mari reprezintă elementele care au cele mai multe corelații și care influențează cel mai mult modul de utilizare a Nitinolului pentru construirea actuatorilor. Se observă că în funcție de structura, proprietățile, temperatura de tranzit, comportamentul materialului, deformarea sa și sistemul în care va fi folosit este determinată forma sa.

De asemenea, s-a utilizat Nitinolul pentru a studia durată sa de viață [117] și pentru a dezvolta actuatori și materiale speciale cu memoria formei [236], termocuplă de tip ambreiaj [237], Micropompă acționată cu Nitinol [238], un sistem de blocare [239], etc. Aliajele cu memoria formei sunt utilizate în structuri la scară mică și mare în mai multe domenii, cum ar fi robotica, ingineria energetică, dispozitivele medicale, automobilele, aeronautica, industria aerospațială.

Capitolul III. CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND TESTAREA MATERIALELOR POLIMERICE ÎN CONSTRUCȚIA ACTUATOARELOR

III.1. SCURT ISTORIC

Polimerii sunt macromolecule alcătuite din componente moleculare simple care sunt organizate în mod repetat. Există în principal două tipuri de polimeri, și anume polimeri naturali și polimeri artificiali (șintetici). Celuloza, proteinele și amidonul sunt câțiva polimeri naturali. În ultima vreme au fost produși numeroși polimeri sintetici pentru a obține polimeri cu proprietăți fizice și chimice caracteristice utilizării în aplicații specifice. Nu este surprinzător faptul că polimerii sintetici sunt utilizați mai frecvent decât polimerii naturali. [193]

Spuma poliuretanică din polimeri sintetici este utilizată pe scară largă în prezent. Poliuretanii sunt polimeri a căror grupare funcțională este uretanul (-NHCOO-). Otto Bayer împreună cu colectivul de la IG Farben din Leverkusen, Germania a descoperit și brevetat poliuretanul în 1937. A reușit să producă un polimer prin reacția diizocianatului de 1:8 octan cu 1:4 butandiol - un material plastic rezistent care a fost utilizat ulterior pentru fabricarea de peri pentru periile de înaltă calitate. Brevetul de bază privind reacția di-izocianatilor a fost obținut în același an. Acest polimer are diverse aplicații în viața de zi cu zi, printre care: covoare, mobilier, spumă, ambalaje, componente auto, materiale termoizolante pentru țevi, ca material de acoperire, textile și altele. În 1941, ca urmare a utilizării unui component poliesteric impur care conținea grupe carboxilice nereacționate, s-a format un produs spumos - acest lucru a dus la adăugarea deliberată a unor cantități mici de apă la reacție, ceea ce a dus la obținerea unei spume flexibile - de departe cel mai important material poliuretanic. [194]

Poliuretanul a fost fabricat încă de la sfârșitul celui de-al Doilea Război Mondial. În prezent, spuma de poliuretan (PU) este utilizată în mod obișnuit pentru a înlocui materialele convenționale, cum ar fi lemnul, în crearea de modele 3D. Fiind unul dintre cele mai frecvent utilizate

tipuri de polimeri rigizi termorezistenți, spumele polimerice pot fi fabricate într-o varietate de forme. Spuma PU rigidă și elastică este potrivită pentru o varietate de aplicații. [194]

III.2. DISPOZITIVE CU POLIMERI DEZVOLTATE INTERNAȚIONAL

III.2.1. Șenilată polimerică

MAE (Magneto Active Elastomer) a fost fabricat folosind pulbere de fier (Kyowa Junyaku, dimensiunea particulelor 50 μm , puritate > 90%.) și elastomeri de silicon de tip vulcanizare la temperatura camerei (Ecoflex 00-30, Smooth-On). Elastomerul de silicon și pulberea de fier au fost amestecate într-un raport de 1:1 în masă pentru a produce o suspensie. După amestecare, bulele de aer au fost eliminate din suspensie prin introducerea acesteia într-un degazor în vid la o presiune de 2 kPa timp de 2 minute. După degazare, suspensia a fost turnată într-o matriță din plastic ABS în 3 părți imprimată cu ajutorul unei matrițe 3D Stratasys F270 3D și s-a întărit la temperatura camerei timp de aproximativ 5 ore.

Metodologie experimentală

Configurația experimentală este prezentată în figura de mai jos. Șenila a fost plasată în interiorul unei țevi acrilice (figura III.1) care a fost aliniată perpendicular pe axa de gravitație. Dimensiunile țevii au fost de 1 m lungime, cu diametre interne și externe de 24 mm și, respectiv, 28 mm. Diametrul șenilei a fost $a = 20$ mm, prin urmare, deformația maximă de tracțiune pentru șenile de-a lungul semiaxei mai scurte, s_1 , a fost de 4 mm. În acest experiment, pentru a produce câmpul magnetic au fost utilizați magneți permanenți de neodim (N40, Sangyo Supply), cuboid dreptunghiular cu dimensiunile de $30 \times 30 \times 20$ mm.

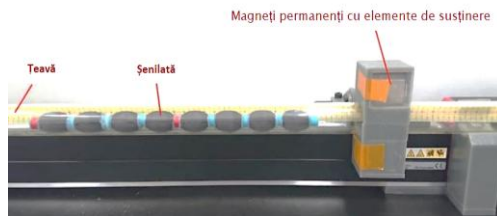


Figura III.1. Configurație experimentală - reprodus după [195]

Magneții au fost în contact cu suprafața exterioară a tubului pentru a maximiza intensitatea câmpului. Atunci când există un singur magnet, câmpul magnetic la suprafața interioară a țevii, care se afla la 2 mm distanță de suprafața magnetului, a fost calculat pe baza dimensiunilor magnetului ca fiind de 407 mT, utilizând ecuația câmpului magnetic pentru magneți permanenți cu prisme rectangulare. Magneții au fost deplasați de-a lungul țevii acrilice cu ajutorul dispozitivului de acționare liniară electrică ECDS6SAH-500 (dispozitiv de acționare încorporat).

Șenilele sunt ușoare și durabile, au o structură moale și simplă care permite o fabricare și o miniaturizare ușoară. Prin experimente, s-a demonstrat că șenilele sunt capabile să se deplaseze peristaltic sub un câmp magnetic aplicat în mișcare. Aceasta este prima dată când a fost demonstrat modelul de locomoție peristaltică (figura III.2) cu ajutorul actuatorilor MAE. Avantajele respective ale celor două modele de locomoție și adecvarea lor la diferite aplicații sunt discutate în această lucrare. Șenilele abordează problemele cu care se confruntă alte șenile care utilizează mecanisme de locomoție similare, având o masă și o complexitate reduse în ceea ce privește arhitectura, conformitatea structurală și materialele, cu un impact redus asupra mediului.

În comparație cu roboții-șarpe convenționali, crawlerul MAE are o structură mult mai simplă și un corp mai moale. Conceptul de aplicare a unui câmp magnetic extern permite controlul fără fir al șenilei. [195]

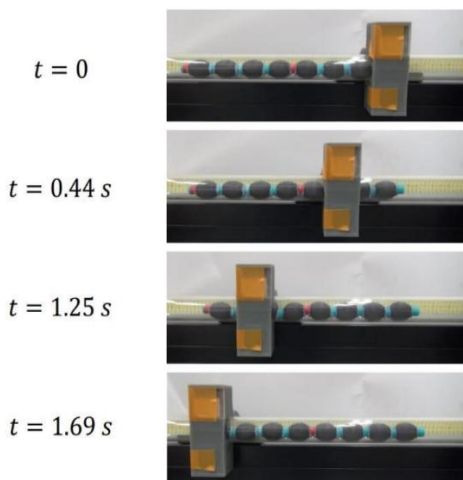


Figura III.2. Mișcarea de locomoție a șenilei realizată de robotul târător MAE.
- reprodus după [195]

III.3. DISPOZITIVE CU POLIMERI DEZVOLTATE ÎN UNIVERSITATEA ȘTEFAN CEL MARE DIN SUCEAVA

În cadrul Universității Ștefan cel Mare din Suceava s-au dezvoltat, începând cu anul 2011, 28 de invenții care utilizează polimeri. Unele dintre ele au fost dezvoltate de colectivul Facultății de Inginerie Alimentară, iar altele de către Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor. Informațiile din următorul tabel au fost selectate de pe pagina cu brevete Espacenet.

III.3.1. Vibromotor cu polimeri electrostrictivi și sens de rotație reversibil

Invenția se referă la un vibromotor cu polimeri electrostrictivi, la care conversia mișcării de vibrație într-o mișcare continuă de rotație se realizează prin intermediul unor lamele roluite și care vibromotor este prevăzut cu posibilitatea reversării sensului de rotație în timpul funcționării.

Vibromotor cu polimeri electrostrictivi și sens de rotație reversibil realizat pe principiul inversării sensului de rotație prin inversarea sensului de roluire a lamelei roluite, conform Figurii III.5, caracterizat prin aceea că, într-o primă variantă, statorul este reprezentat printr-un vibrator monofazat alimentat de la o sursă monofazăată și în componența căruia intră un electrod interior comun (1), realizat sub forma unei piese conductoare de formă paralelipipedică, montat prin intermediul unui butuc electroizolant (2) pe un arbore pivot (3), încastrat la un capăt într-un suport fix (4) și unde, pe fețele libere ale electrodului (1) sunt plasate, în poziții diametral opuse, două perechi de plăcuțe active (5a)-(5'a) și (5b)-(5'b) ce fac corp comun, fiecare, cu câte un sistem de electrozi mobili (6a)-(6'a) respectiv (6b)-(6'b) și unde fiecare pereche de electrozi mobili este purtătoarea unor lamele roluite (8a)-(8'a), roluite "spre dreapta" și a unor lamele roluite (8b)-(8'b), roluite "spre stânga" și care lamele roluite sunt activate prin intermediul unui întrerupător monopolar (12), cu două poziții, una pentru rotația "la dreapta" și alta pentru rotația "la stânga". [198]

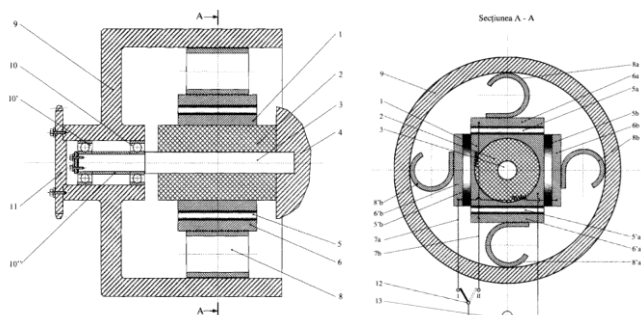


Figura III.5. Vibromotor cu polimeri electrostrictivi și sens de rotație reversibil
- reprodus după [198]

Vibromotorul cu polimeri electrostrictivi și sens de rotație reversibil conform invenției are la bază un vibrator combinat alcătuit dintr-un electrod comun, de paralelipipedică, care, pe fețele libere are montate niște plăcuțe active realizate dintr-un polimer electrostrictiv și care plăcuțe fac corp comun, pe fața liberă cu câte un electrod mobil purtător a unei lamele roluite; pe prima pereche de fețe diametral opuse lamelele sunt roluite "spre dreapta", iar la a doua pereche roluirea este realizată "spre stânga", astfel că în funcție de perechea de lamele roluite activate prin intermediul unui întrerupător, rotorul se va roti, conform convenției stabilite prin standarde, "la stânga" sau "la dreapta". [198]

III.3.2. Micromotor electrochimic cu rotor excentric

Micromotorul electrochimic cu rotor excentric, prezentat în figura III.14 este constituit dintr-un rotor excentric în componența căruia intră un butuc cilindric (1) montat excentric pe un ax (2), sprijinit într-un lagăr de alunecare (3) și într-un alt lagăr cu dispozitiv unisens (3').

Butucul (1) este prevăzut, la exterior, cu un rulment cu bile (4) asupra căruia acționează succesiv un ansamblu alcătuit din patru actuator electrochimice cu acțiune radială (A), (B), (C) și (D) dispuse, echidistant, după un traseu circular, pe o placă suport (5).

Fiecare din cele patru actuator electrochimice este constituit, în principal din câte un electrolizor (8), imersat într-un electrolit (9) conținut într-un recipient cilindric (10), inclus printr-o montură (11) prevăzută, lateral, cu un silfon (12) în care se acumulează gazul rezultat prin reacția chimică de electroliză și care, prin intermediul unei tije de acționare (13), modifică poziția rotorului. [204]

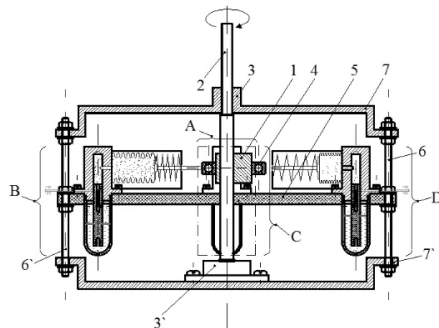


Figura III.14. Micromotor electrochimic cu rotor excentric
- reprodus după [204]

III.4. MATERIALE POLIMERICE

Materialele polimerice care sunt prezentate în cele ce urmează le-am selectat de pe internet astfel încât să corespundă proprietăților necesare dezvoltării de noi dispozitive în domeniul energetic.

III.4.1. Pad termic cu conținut de grafit sintetic

Foaia de grafit sintetic este un nou tip de material subțire sinterizat din poliamidă. Are o orientare unică a granulelor, poate conduce căldura în mod uniform de-a lungul ambelor direcții (axa X-Y și axa Z), iar structura laminată poate fi bine adaptată la orice suprafață.

Conductivitatea termică a planului orizontal poate ajunge la 1900 W/WmK. Acest material asigură nu doar izolație termică ci și îmbunătățește performanța produselor electronice de larg consum.

Acest pad termic este un material utilizat pentru îmbunătățirea transferului de căldură între două suprafețe.

Descrierea materialului

Materialul conține fibre sau particule de grafit sintetic care au proprietăți de conducție termică. Ajută la menținerea temperaturii optime și la disiparea căldurii.

Aplicațiile acestui material se regăsesc în domeniul electronicelor, precum: baterii, procesoare de calculator, dispozitive LED de iluminat și module de putere.

- Dimensiuni:
 - ♦ Lungime: 1500 mm, 500 mm, 200 mm;
 - ♦ Lățime: 100 mm;
 - ♦ Grosime: 0,5 mm/ 20 mm;
- Izolație: 800 Volți;
- Temperatura maximă: 120 °C;
- Interval de temperatură: -60 °C până la 260 °C;
- Presiune: până la 5 bar;
- Coeficientul de conducție termică conducție plană 300 - 1200 W/mK;
- Conducție verticală 20 - 30 W/mK;
- Rezistența termică la 400 °C;
- Conductivitate termică: 150 ~ 1200 W/mK.

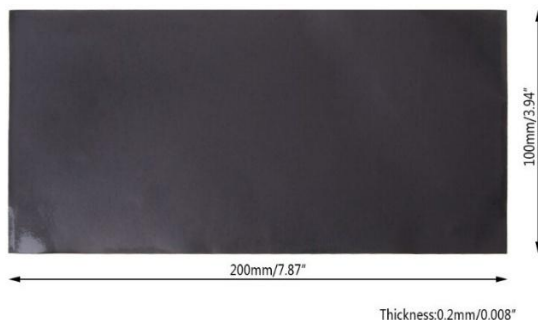


Figura III.15. Pad termic cu conținut de grafit sintetic

Avantaje:

- *Conductivitate termică ultra-înaltă* - conductivitatea termică maximă în plan poate ajunge la 1900 W/mK;
- *Ultraușor* – 30 % mai ușor decât aluminiul de aceeași dimensiune și 80 % mai ușor decât cuprul;
- *Ultra-subțire* - grosimea poate varia de la 0,017 la 0,07 mm;
- *Rezistență la temperatură* - temperatura maximă de funcționare poate ajunge la 2800 °C, iar cea minimă poate fi mai mică de - 40 °C;
- *Prelucrare ușoară* - poate fi decupat în diferite dimensiuni, forme;

- *Ușurința de utilizare* - aripioarele din grafit pot fi atașate fără probleme la orice suprafață plană și curbă;
- *Flexibilitate* - este ușor de laminat cu metal, izolator sau adeziv dublu față pentru a crește flexibilitatea designului și poate fi prelucrat cu adezivi.

III.4.2. Folie cu pastă de grafit - ARSYLID

Folia cu pastă de grafit conține grafit ca unguent sau ca pastă. Datorită proprietăților sale unice are aplicații în industrie fiind utilizat ca agent de etanșare sau ca lubrifiant. Dintre proprietățile comune ale pastei de grafit sunt: protecția împotriva coroziunii, conducția termică, lubrifierea, antiaderență și de etanșare.

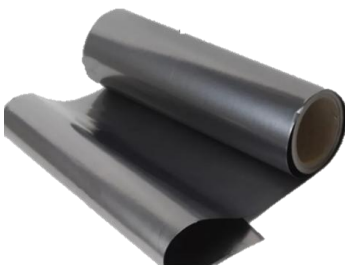


Figura III.16. Folie cu pastă de grafit

Descrierea materialului

- ◆ Procesor compatibil: orice model;
- ◆ Dimensiuni: $100 \times 200 \times 0,1$ mm;
- ◆ Aplicație: procesor ventilator;
- ◆ Material: grafit.

III.4.3. Bandă polimerică impermeabilă din Policlorură de vinil

Banda fabricată din Policlorură de vinil (PVC) este un rezistentă la apă și durabilă care pentru rezistență suplimentară are în componența sa fibre. Este utilizată pentru repararea fisurilor, avariilor, scurgerilor și pentru etanșare.

Banda impermeabilă este rezistentă la temperaturi extreme, impermeabilă, durabilă, flexibilă, are rezistență UV și este ușor de aplicat.

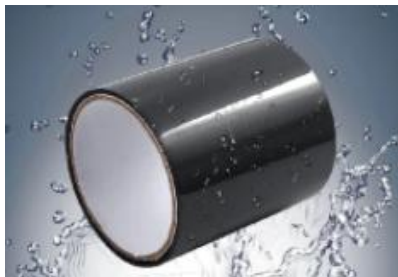


Figura III.21. Bandă polimerică impermeabilă

Caracteristici:

- Bandă impermeabilă din cauciuc foarte puternică;
- Poate lega, sigila și repara aproape orice element;
- Un cauciuc gros, flexibil satisface nevoile de orice formă sau obiect;
- Sigilează instantaneu umiditatea;
- Acoperă fisuri mari, goluri și găuri;
- Este rezistent la mediu;
- Poate fi utilizat în condiții meteorologice extreme.

III.5. STUDIUL ȘI TESTAREA PERFORMANȚELOR MATERIALELOR POLIMERICE

III.5.1. Stand pentru testarea deplasării policlorurii de vinil la variații de temperatură

Materialele polimerice au fost observate și testate în *Laboratorul de Inventică și transfer tehnologic al Universității din Suceava* în următoarele medii:

- Apă rece și apoi în apă caldă, prin creșterea temperaturii până la 80 °C;
- Aer rece și aer cald;
- Tensiune de până la 7000 V (Înaltă tensiune);
- Tensiune continuă de la 0 V la 100 V;
- Frecvențe diferite cu ajutorul generatorului de semnal (50 Hz – 100 kHz).

Toate materialele prezentate anterior în paragraful III.4 au fost supuse acestor medii și testări, dar majoritatea nu au răspuns impulsurilor termice și mediilor utilizate.

Banda polimerică impermeabilă de policlorură de vinil a avut răspuns favorabil în mediu lichid la variația temperaturii.

Orice material polimeric are o temperatură de tranziție de sticlă (T_g) care îi permite trecerea de la starea de rigiditate la cea de material elastic și flexibil.

Descrierea standului

Standul experimental este alcătuit dintr-un vas de sticlă termorezistent (5) în care este montat un suport (2) pe care este montat termometrul (1) pentru măsurarea variației de temperatură și materialul polimeric analizat (3).

Mediul lichid este încălzit cu ajutorul unui termoplonjor (6) prins cu ajutorul unui suport (7) montat pe peretele vasului și comandat printr-un sistem electronic de control pentru a se menține o temperatură constantă pe întreaga perioadă a experimentului. Deformarea materialului polimeric se măsoară cu ajutorul riglelor (4) instalate vertical și orizontal.



Figura III.23. Stand cu material polimeric impermeabil

Date experimentale

A. Pentru primul set de măsurători a folosit fâșii de polimer de câte 5 mm lățime, cu lungimea de 100 mm, cu suprafața utilă de 5 mm x 70 mm și pentru fiecare serie de date s-au adăugat 1, respectiv 2 straturi de material de aceeași dimensiune pe fața adezivă a polimerului.

Datele au fost preluate în funcție de deplasarea materialului, până la temperatura maximă de răspuns a sa. Pentru a măsura valoarea deplasării capătului liber al materialului polimeric în funcție de temperatură într-un anumit interval de timp s-a crescut temperatura lichidului până când materialul a revenit în poziția sa inițială. În tabelele următoare sunt prezentate datele preluate pe standul cu polimer, Policlorură de vinil, în multiple dimensiuni și straturi.

Se poate observa că invers proporțional cu creșterea grosimii materialului se reduce deplasarea sa dar crește cuplul de acționare. Astfel, când se utilizează două straturi de material, acesta se deplasează cu 6 mm mai puțin decât în varianta A1. Similar putem aprecia și reducerea cu 4 mm a deplasării A3 în raport cu A2.

Pe măsură ce utilizăm un număr mai mare de straturi de polimer cu atât materialul se deplasează mai rapid, dar nu ajunge la valoarea deplasării precedente datorită contactului rigid dintre straturi, iar temperatura de la care începe să revină la poziția inițială este cu 5 grade mai ridicată decât precedentă.

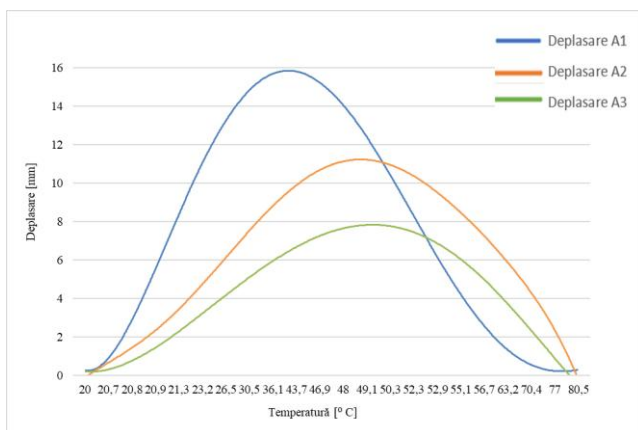


Figura III.25. Curbele deplasării capătului liber al materialului polimeric cu dimensiunile de 70 mm × 5 mm, cu un strat (A1), două straturi (A2) și cu trei straturi (A3), la creșterea temperaturii

B. Varianta B reprezintă utilizarea unui eșantion de material polimeric cu dimensiunile de 70 mm × 10 mm, B1 fiind cu un singur strat de material, B2 cu 2 straturi și B3 cu 3 straturi.

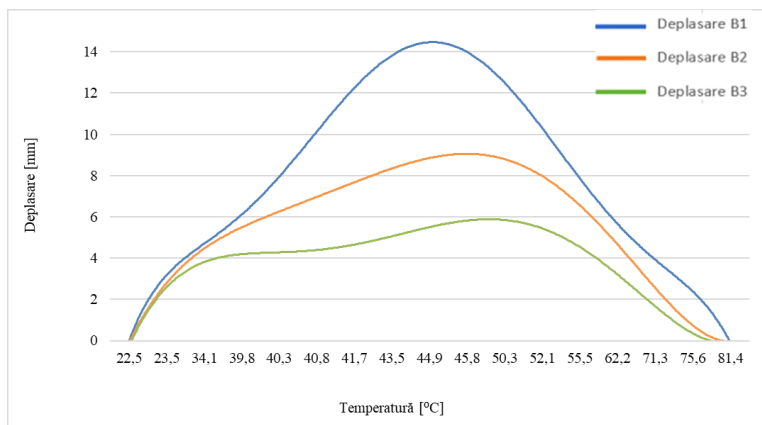


Figura III.26. Curbele deplasării capătului liber al materialului polimeric cu dimensiunile de 70 mm × 10 mm, cu un strat (B1), două straturi (B2) și cu trei straturi (B3), la creșterea temperaturii

În varianta B3, cu trei straturi de material polimeric temperatura la care are loc deplasarea maximă este de 55,6 °C și revine la starea inițială la aceeași temperatură ca și în celelalte două variante, respectiv la 80 °C.

Observăm că în cele 3 situații temperatura necesară pentru ca materialul să înceapă deplasarea în sens invers, către poziția inițială, variază cu câte 5 grade de la o variantă la alta. Având în vedere că prin adăugarea unui strat de material temperatura de descensiune crește cu 5 grade, respectiv la un strat de material îi corespunde temperatura de 45 °C, pentru 2 straturi de material 50 °C și 55 °C la trei straturi.

III.5.2. Concluzii

Materialele polimerice studiate în această lucrare au fost selectate cu intenția de a dezvolta noi motoare și actuatori în utilizate în domeniul ingineriei electrice. Acestea au avantajul de a avea o greutate redusă, maleabilitate și ușurință de utilizare.

Materialele achiziționate au fost testate în aer cald și rece, în lichid la temperaturi reduse și ridicate, în înaltă tensiune de până la 7000 V, în tensiune continuă de până la 100 V și cu ajutorul generatorului de semnal

în frecvență între 50 și 100 Hz, dar majoritatea nu au răspuns impulsurilor și mediilor utilizate.

Banda polimerică impermeabilă de policlorură de vinil a avut răspuns favorabil în mediu lichid la variația temperaturii. Materialul a fost submersat în apă, în mai multe variante dimensionale și număr de straturi ale aceluiași material și s-au efectuat câteva serii de teste.

În cazul 1 (figura III.25), pentru material cu dimensiunile de 70 mm lungime și 5 mm lățime, în 1 (A1), 2 (A2) și respectiv 3 (A3) straturi aplicate pe partea adezivă a materialului, se poate observa că invers proporțional cu creșterea grosimii materialului se diminuează deplasarea sa dar crește cuplul de acționare. Astfel, când se utilizează două straturi de material, acesta se deplasează cu 6 mm mai puțin decât în varianta A1. Similar putem aprecia și reducerea cu 4 mm a deplasării A3 în raport cu A2. Pe măsură ce utilizăm un număr mai mare de straturi de polimer, materialul se deplasează mai rapid, dar nu ajunge la valoarea deplasării precedente, iar temperatura de la care începe să revină la poziția inițială este cu 5 grade mai ridicată decât precedentă.

Materialul polimeric își pierde proprietățile la aproximativ zece utilizări în cazul încercărilor cu un singur strat, 13 pentru cele cu două straturi și 15 pentru cele cu 3 straturi de material polimeric. În ceea ce privește influența dimensiunilor asupra uzării materialului rezultatele sunt aceleași. Am tras concluzia că materialul devine inutilizabil după numărul precizat de folosiri, pierzând-și proprietățile.

Capitolul IV.

STUDIUL UNUI ACTUATOR UNGHIULAR CU ARC DIN NITINOL

IV.1. INTRODUCERE

Strămoșii noștri erau obișnuiți să trăiască modest și respectând limitele naturii, dar în ziua de azi, pe piața ofertei și a cererii, cu cât economia este mai mare, cu atât mai mari și mai negative sunt efectele asupra pământului, apei și aerului. În ultimii ani, industria solicită soluții și materiale inovatoare pentru a fi utilizate în dispozitive eficiente și care corespund cerințelor cotidiene pentru a reduce consumul și exploatarea în masă.

Nitinolul este un material care poate fi folosit în mod repetat pentru aceeași acțiune. Acesta a fost descoperit în anul 1950, iar acronimul "Nitinol" provine de la "Nickel Titanium Naval Ordnance Laboratory". Acest aliaj metalic este format din Nichel și Titan, în multiple variații compoziționale și forme care îi conferă proprietăți unice de formare, comportament și de memorare.

Printre cele mai apreciate caracteristici ale acestui material se află:

- Memoria formei;
- Supraelasticitatea;
- Compoziția precisă;
- Transmiterea căldurii;
- Rezistența la coroziune;
- Gama vastă de aplicabilitate.

Caracteristicile sale remarcabile îl fac un material foarte căutat, dar și cu foarte multe aplicații. Iar prețurile elementelor construite din acest aliaj vor fi tot mai accesibile.

Cercetările în domeniul Nitinolului au început să se accentueze în 2019 și sunt într-o creștere exponențială într-o vastă gamă de industrii și în cercetare. Cel mai des întâlnit la momentul actual este în domeniul medical, în stomatologie, respectiv pentru tratamentele ortodontice, în chirurgie animală și umană pentru plăci ortopedice, tije și șuruburi.

IV.2. PREZENTAREA NITINOLULUI

Arcurile din Nitinol sunt rezistente în medii umede sau în substanțe chimice fără a se degrada rapid, fiind rezistente și la coroziune. Se pot fabrica atât din Nitinol clasic, cât și din Nitinol superelastic.

Arcurile din Nitinol sunt utilizate în diverse domenii, inclusiv dispozitive medicale (cum ar fi stenturile și firele de ghidare), robotică și industria aerospațială. Capacitatea lor de a se adapta și de a-și reveni după deformare le face valoroase în sistemele complexe.

Următoarea imagine prezintă arcul de Nitinol utilizat în dezvoltarea actuatorului unghiular.



Figura IV.1. Arc din Nitinol

IV.3. DESCRIEREA CONSTRUCTIVĂ A ACTUATORULUI UNGHIULAR CU ARC DIN NITINOL

Prototipul dispozitivului de acționare din figura IV.2. este alcătuit dintr-un arc din nitinol (NiTi) (15) cu o lungime de strângere de 45 mm, un arc compensator din oțel (6), un sistem de strângere a arcului (11) și un sistem de monitorizare a tensiunii și contracției arcului. Axa de rotație a dispozitivului de acționare (16), pe care este instalată tija de reglare (17), și cele două suporturi de susținere a arcurilor de oțel și de Niel-Titanium (14) sunt montate perpendicular pe placa de bază (13).

În construcția modelului experimental al actuatorului unghiular din figura 10, se utilizează un vas termorezistent (1), în care, actuatorul stă scufundat în mediul de imersie (3). Lichidul de imersie (3,5 litri de apă de la robinet) a fost încălzit cu ajutorul unei rezistențe de încălzire (2) montată pe marginea vasului termic. Variația temperaturii a fost măsurată cu ajutorul unui termometru (5) fixat pe suport (8), iar raportorul (9) pentru vizualizarea unghiului de deplasare a acului indicator (10) este montat pe suport (7). Acul indicator este situat la capătul suportului său (4) care este fixat în placa de susținere (18).

Arcul de acționare din nitinol (NiTi) (negru - dreapta) este memorizat astfel încât, la o temperatură mai mare decât temperatura de transformare de 45 °C, acesta să se contracte (devine activ), iar la temperaturi mai mici decât această valoare, să fie flexibil și să se întindă

acționare din Nitinol (NiTi) (15) și, respectiv, descărcarea mecanică a arcului din oțel (6).

Temperatura ambientală la momentul experimentului a fost măsurată la 20°C.

O temperatură de 30°C, este considerată ca fiind primul punct observabil al acționării unghiulare, dar și peste temperatura de 90°C arcul de acționare nu se mai mișcă. Chiar dacă temperatura lichidului de imersie (3,5 litri de apă de la robinet) este ridicată la 95°C, nu mai există nicio reacție unghiulară după acest prag.

În figura 11 sunt prezentate mai multe poziții de deplasare ale dispozitivului de acționare unghiulară pe bază de arc din nitinol (NiTi), poziția inițială la 0° și deplasarea maximă la 158°.



Figura IV.3. *Deplasarea unghiulară a actuatorului unghiular la încălzire*

IV.5. DATE EXPERIMENTALE

Pentru obținerea datelor, modelul experimental a fost scufundat în apă, apoi, prin variația temperaturii, arcul de nitinol (NiTi) scufundat provoacă contracția activă sau întinderea inactivă a dispozitivului de acționare, după cum se observă din deplasarea unghiulară.

Figura IV.4. prezintă caracteristica deplasării actuatorului în funcție de temperatura de încălzire. Valoarea deplasării este relativ mică între 20°C și 60°C, dar deplasarea crește vizibil cu temperatura. Un salt apare între 70°C și 80°C, când deplasarea crește de la 43° la 150°. Caracteristica evidențiază deplasarea bruscă pe care o face actuatorul atunci când lichidul de imersie (3,5 litri de apă de la robinet) atinge o temperatură de 70°C, provocând o deplasare de 107°. La 90°C, deplasarea ajunge la 158°.

Chiar dacă temperatura este ridicată la 95°C , unghiul maxim de deplasare rămâne același.

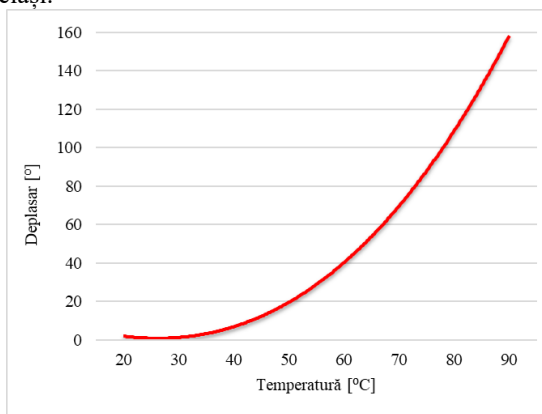


Figura IV.4. Caracteristica deplasării actuatoarei în funcție de temperatură la încălzire

Figura IV.5 prezintă caracteristica deplasării unghiulare a actuatoarei în funcție de temperatura de răcire, care arată o modificare constantă a deplasării unghiulare a actuatoarei până la o temperatură de 60°C , la care arcul din Nichel-Titan se contractă, revenind brusc la un unghi de acționare de 35° , urmată de o răcire continuă cu salturi frecvente ale deplasării, din cauza prinderii inegale a actuatoarei de tija pivotantă, până la deplasarea inițială de 20° .

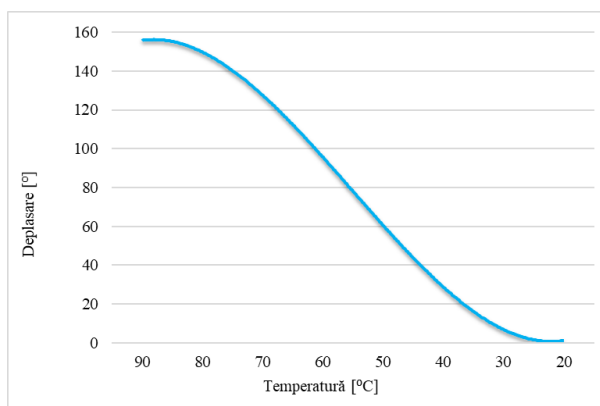


Figura IV.5. Caracteristica deplasării unghiulare a actuatoarei în funcție de temperatură la răcire

IV.6. CONCLUZII

Cele mai multe cercetări pe tema Nitinolului, în intervalul 2010 – 2022, s-au efectuat în Statele Unite ale Americii, urmată cu doar o cincime de India și apoi de către Germania, Italia, Canada, Coreea, Republica Populară Chineză.

Comportamentul actuatorului unghiular la încălzirea cu un termoplonjor, respectiv răcirea în mod natural a arcului din Nitinol în mediu lichid este vizibilă în figura IV.6 care a fost obținută prin interpolarea polinomială a punctelor la ordinul 3. Se trage concluzia că la temperatura de 90° C este atins unghiul maxim de deplasare, respectiv 158o, într-un timp de aprox. 45 de minute, iar revenirea de la temperatura de 95 °C la cea de 20 °C, respectiv la poziția inițială se face după 207 minute, ajungând la forma memorată.

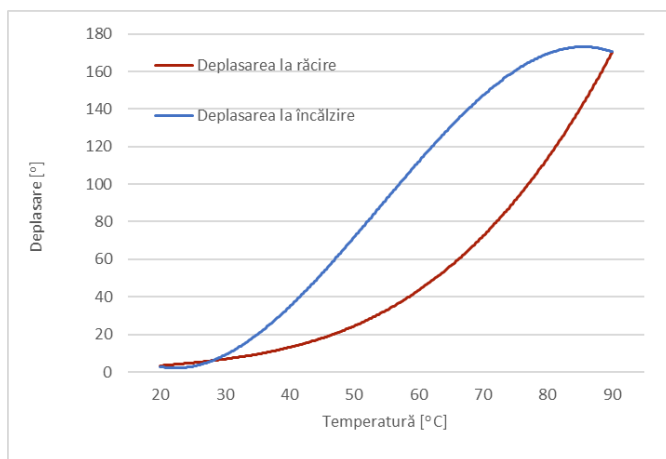


Figura IV.6. Comportamentul actuatorului unghiular la încălzirea, respectiv răcirea în mod natural arcului din Nitinol în mediu lichid

Analizând curba de deplasare la încălzire se observă că în intervalul 20 °C -30 °C, deplasarea în raport cu creșterea temperaturii se produce lent și la valori nesemnificative. După temperatura de 30 de grade actuatorul își schimbă comportamentul, deplasarea realizându-se liniar până la temperatura de 75 de grade, la fiecare creștere a temperaturii cu 10 grade are loc o deplasare de 30°. După temperatura de 70 °C deplasarea se stabilizează, variația acesteia cu temperatura fiind foarte mică.

Capitolul V.

STUDIUL UNUI SISTEM DE SIGURANȚĂ PENTRU PRIZĂ

V.1. INTRODUCERE

Nitinolul acționează ca un super arc prin efectul superelastic. Materialele superelastice suferă transformări induse de stres și sunt recunoscute în mod obișnuit pentru proprietatea lor de „memorare a formei”. Datorită superelasticității lor, firele de NiTi prezintă efectul „elastocaloric”, care este încălzirea/răcirea declanșată de stres.

Temperaturile de transformare pentru categoriile superelastice sunt cuprinse între -20 °C și 22 °C [-4 F și 71,6 F]. Nitinolul cu memoria formei este utilizat în mod obișnuit pentru actuatoare și alte aplicații industriale.

Statele Unite au un puternic sector de cercetare și dezvoltare care stimulează inovarea și utilizarea materialelor avansate precum Nitinolul.

Japonia și Germania sunt alte țări cu o utilizare remarcabilă a nitinolului, ambele având sectoare tehnologice și de producție avansate care utilizează pe scară largă acest material versatil.

V.2. ARCURILE DE NITINOL ÎNCHISE

Arcurile cu Nitinol închise/ care au sisteme de prindere montate pe capete (figura V.1.) sunt utilizate pentru mișcarea continuă și au cel mai adesea Nitinol supraelastic în componența lor.



Figura V.1. Arcuri închise din Nitinol

V.3. PREZENTARE CONSTRUCTIVĂ

Sistemul de siguranță pentru priză (figura V.2) constă în înfășurarea lamelelor de contact ale prizei monofazate (9, 9') cu arcuri circulare, închise de Nitinol (10, 10'). Lamelele de contact au pe partea de sus un pin pe care au fost prinse arcurile. Lamelele de contact ale prizei sunt montate pe o plăcuță din textolit termorezistentă și izolantă.

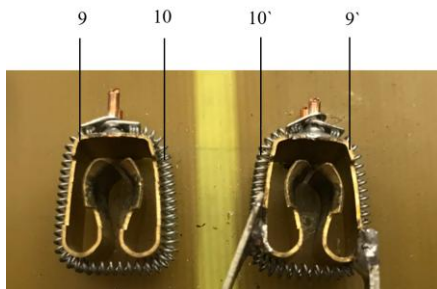


Figura V.2. Sistem de siguranță pentru priză

V.4. PREZENTAREA STANDULUI EXPERIMENTAL

Standul pentru studiul sistemului de siguranță pentru priză (figura V.3.) este constituit dintr-o sursă de curent continuu (1), un cântar electronic (2), o tijă de prindere a cântarului (3), conductoare (4, 4'), contacte alimentare arcuiri din Nitinol (5, 5'), consumator (rezistență) (6), placa de bază (7), micrometru electronic (8), lamele contact priză monofazată (9, 9'), arcuiri circulare de Nitinol (10, 10'), tijă de prindere a cântarului electronic (11), lamelă de prindere a tijei cântarului la contactele prizei (12), lamelă de prindere a tijei micrometrului electronic la contactul prizei (13) și tijă micrometrului electronic (14).

În momentul în care priza monofazată suportă un curent mai mare materialul din care sunt construite lamelele (9, 9') se dilată, iar în urma dilatării contactul dintre lamelele prizei și tijele ștecherului devine imperfect, astfel se favorizează apariția arcului electric și încălzirea contactelor. În acest moment intervin arcurile circulare din Nitinol, acestea se contractă datorită temperaturii ridicate realizând strângerea lamelelor pe tijele consumatorului, se compensează dilatarea lamelelor și rezultă un contact ferm.

Comanda arcurilor de Nitinol a fost realizată de la o sursă de curent continuu la o valoare a tensiunii de 3,3 V. Determinarea deplasării este pusă în evidență de deplasarea tijei micrometrului electronic. Forța de

strângere a lamelelor prizei pe tijele ștecherului sunt evidențiate de cântarul electronic. Temperatura mediului ambiant în momentul colectării datelor era de 25 °C.

În Figura V.3. se poate observa alimentarea cu o sursă de curent continuu și o rezistență consumator. În momentul în care rezistența este conectată, temperatura va crește, contactul va deveni imperfect, arcurile de Nitinol se vor contracta, iar presiunea de pe contacte va crește.

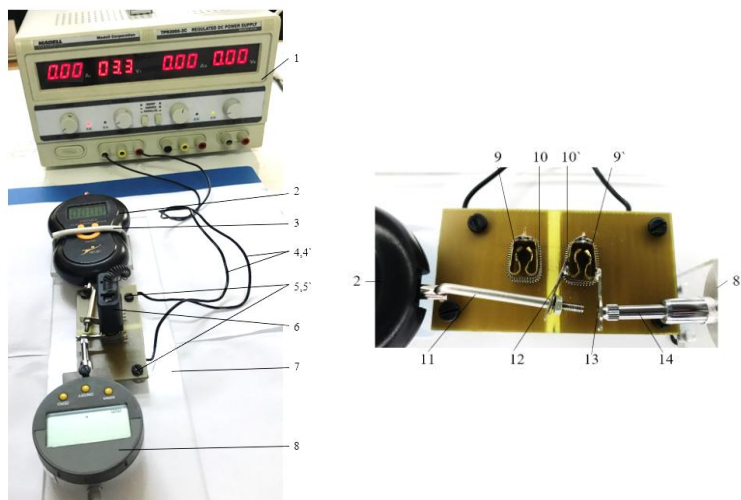


Figura V.3. Sistem de siguranță pentru priză

1 - Sursă de curent continuu; 2 – cântar electronic; 3 – tijă de prindere cântar; 4,4` – conductoare; 5,5` – contacte alimentare arcuri din Nitinol; 6 – consumator (rezistență); 7 – placa de bază; 8 – micrometru electronic; 9,9` - lamele contact priză monofazată; 10,10` - arcuri circulare de Nitinol; 11 – tijă de prindere a cântarului electronic; 12 - lamelă de prindere a tijeii cântarului la contactele prizei; 13 - lamelă de prindere a tijeii micrometrului electronic la contactul prizei; 14 – tija micrometrului electronic

V.5. DATE EXPERIMENTALE

În figura V.4 se poate observa standul de măsurare a deplasării lamelelor atașate contactelor prizei în timpul funcționării, în momentul în care arcurile de Nitinol ajung la 35 °C, respectiv la 41 °C.



Figura V.4. Stand pentru sistemul de siguranță pentru priză

Caracteristica deplasării (figura V.5) lamelelor care sunt atașate pe exteriorul contactului în funcție de temperatura la încălzire a fost măsurată cu micrometrul electronic și valoarea maximă a deplasării este de 2,13 mm, când arcurile, respectiv contactul, ajung la temperatura de 63 °C. Revenirea la forma memorată se face la 33 °C. Caracteristica este aproape liniară, cu deviații relativ reduse între 40 °C și 50 °C. Temperatura de 63 °C este cea la care arcurile de Nitinol au atins contractarea maximă și după care nu se mai observă deplasarea lor. Temperatura a fost crescută până la 80 °C pentru a se verifica menținerea lor în poziția prezentată anterior.

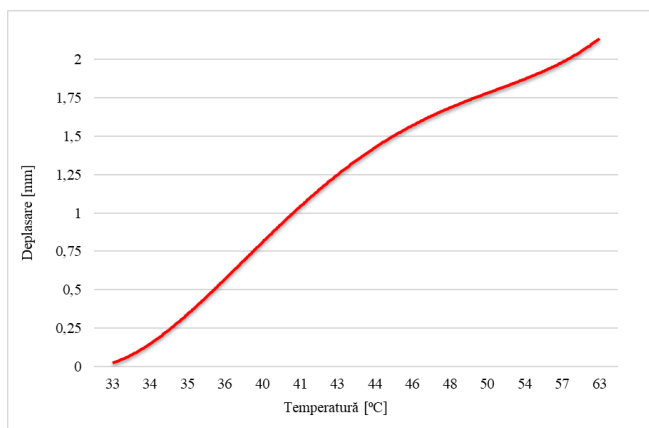


Figura V.5. Caracteristica deplasării lamelelor contactelor, în funcție de temperatură, la încălzire

Caracteristica răcirii (figura V.6.) are o descreștere neliniară pe care o datorăm naturii Nitinolului de a se contracta brusc la atingerea unei anumite temperaturi, mai ales în varianta sa circulară în jurul lamelelor contactelor. Revenirea la poziția inițială se face într-un interval de timp mai îndelungat decât la încălzire.

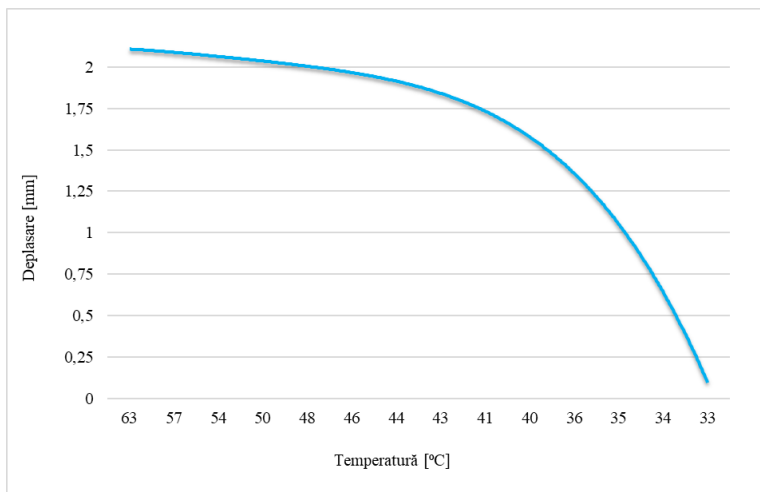


Figura V.6. Caracteristica deplasării lamelelor contactelor, în funcție de temperatură, la răcire

V.6. CONCLUZII

Sistemul de siguranță pentru priză atinge valoarea maximă a deplasării de 2.13 mm când arcurile, respectiv contactul ajunge la temperatura de 60 oC. Revenirea la forma memorată se face la 33o C. Până la temperatura de 40o C deplasarea nu este una liniară, dar după acest prag se liniarizează. Temperatura de 63 oC este cea la care arcurile de Nitinol au atins contractarea maximă și după care nu se mai observă deplasarea lor. Temperatura a fost crescută până la 80 oC pentru a se verifica acest efect.

Răcirea are o curbă de descreștere neliniară pe care o datorăm naturii Nitinolului de a se contracta brusc la atingerea unei anumite temperaturi, mai ales în varianta sa circulară, de poziționare în jurul lamelelor contactelor. Revenirea la poziția inițială se face într-un timp îndelungat, dublu față de timpul în care ajunge la contractarea maximă.

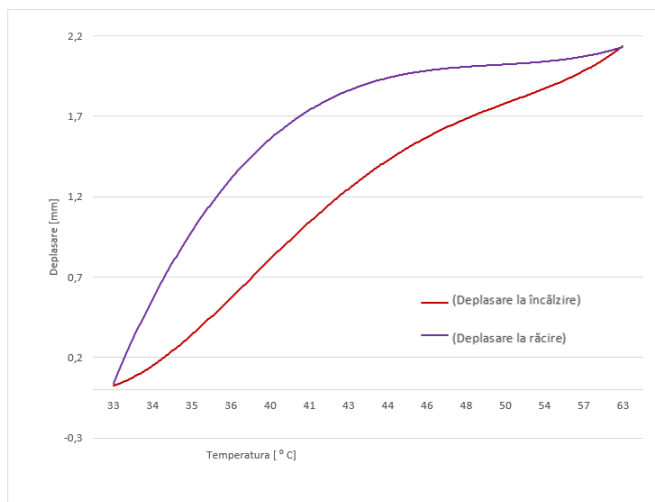


Figura V.7. Caracteristica deplasării în funcție de temperatură a contactelor, la încălzirea artificială și răcirea în mod natural a arcurilor din Nitinol

Capitolul VI.

STUDIUL UNUI ACTUATOR PENTRU SISTEMELE DE SIGURANȚĂ UTILIZATE ÎN DOMENIUL ENERGETIC

VI.1. INTRODUCERE

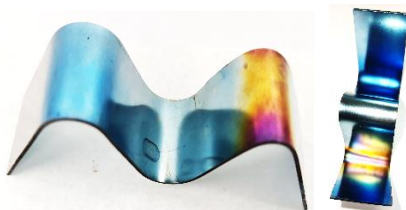
Plăcile de Nitinol, compuse dintr-un aliaj de nichel-titan, sunt renumite pentru memoria excepțională a formei și pentru proprietățile lor superelastice. Aceste caracteristici provin din transformările de fază unice ale aliajului: faza martensitică și faza austenitică.

Plăcile de Nitinol au o rezistență ridicată la tracțiune, de obicei între 700 MPa și 1.200 MPa. Duritatea și modulul de elasticitate variază în funcție de compoziția specifică a aliajului și de tratamentul termic, dar sunt în general mai scăzute decât cele ale metalelor tradiționale, ceea ce le face mai flexibile și mai rezistente la stres.

VI.2. PLACA DE NITINOL ONDULATĂ

Placa din Nitinol a fost memorată la producător sub formă de valuri. Din păcate memorarea a fost executată greșit și a doua curbă a fost călită (se observă și în figura VI.1), astfel nu mai are răspuns de memorie a formei ca restul materialului.

Această formă a materialului nu se găsește încă pe piață și de aceea a fost solicitată la comandă, neexistând încă o metodă certificată de a ondula materialul. Așadar au fost utilizate matrițe de la alte procese tehnologice care au loc în aceeași fabrică și rezultatul nu a fost unul tocmai reușit.



***Figura VI.1.** Placă de Nitinol memorată sub formă de valuri*

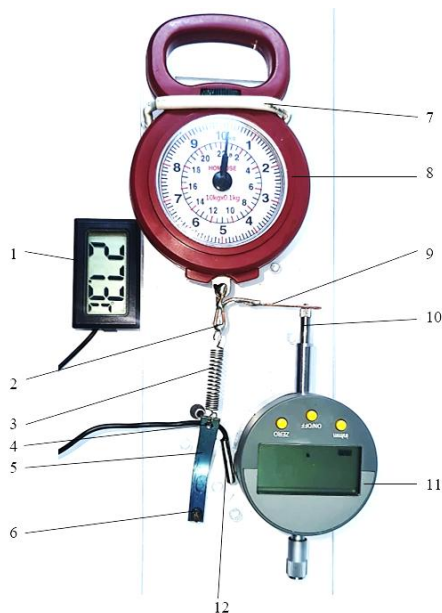
VI.3. Prezentare constructivă

Tija de Nitinol a fost obținută prin secționarea plăcii de Nitinol memorate în formă de val obținându-se o bucată de 20mm lungime, 1mm grosime și 5mm lățime, apoi a fost montată pe un stand conceput pentru a-i determina forța și deplasarea la variația temperaturii. Tija a fost montată pe o placă suport transparentă pentru a se înlesni montarea elementelor necesare preluării de datelor.

VI.4. Prezentarea standului experimental

În figura VI.2. este prezentat standul experimental care este constituit dintr-o placă suport (12) pe care s-a montat un cântar analogic (8), prins cu o tijă (7), un micrometru digital (11) care are o tijă de măsurare (10) și un sistem de transmisie (9) conectat între tija de Nitinol (5) și cântar. Tija din Nitinol (5) este prinsă cu ajutorul unui arc de oțel (3) de cântar. Cu ajutorul unui termometru (1) cu sondă (13) s-a măsurat valoarea temperaturii.

Creșterea temperaturii a fost făcută artificial cu un dispozitiv cu aer cald, iar răcirea s-a efectuat natural.



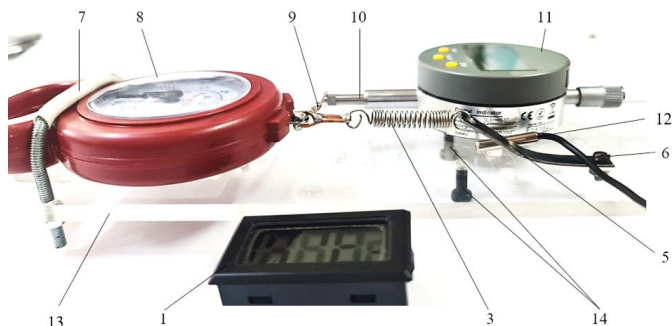


Figura VI.2. Stand pentru testarea tije de Nitinol

1 – termometru cu sondă; 2 – sistem de prindere a arcului din oțel; 3 – arc de prindere din oțel; 4 – gaura de prindere a arcului din oțel; 5 – tijă din Nitinol; 6 – șurub pentru fixarea tije de Nitinol; 7 – tijă pentru fixarea cântarului; 8 – cântar; 9 – sistem de transmisie; 10 – tijă micrometrului electronic; 11 - micrometru electronic; 12 – sonda termometrului; 13 – placa suport

VI.5. Date experimentale

Tija de Nitinol este deformată mecanic până la aplatizare pentru ca mai apoi să fie încălzită cu o sursă de căldură cu aer cald pentru a se măsura deplasarea și pentru calculul cuplului. În tabelul VI.1. se regăsesc datele preluate la încălzirea și răcirea tije din Nitinol. Temperatura mediului ambiant în momentul colectării datelor era de 21 °C.

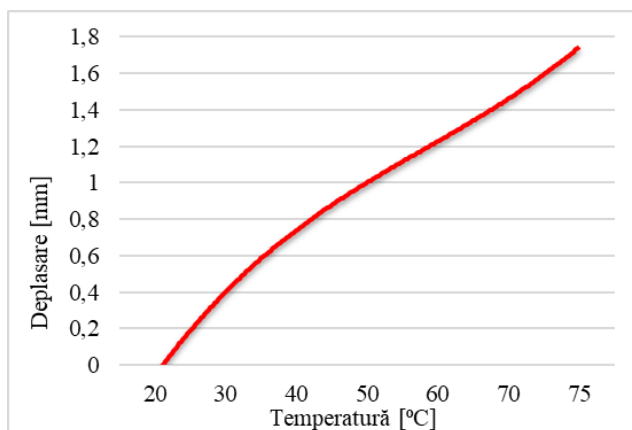


Figura VI.3. Caracteristica deplasării la încălzirea tije de Nitinol

Din figura VI.3. care conține caracteristica deformării la încălzire a tijei de Nitinol reiese că deplasarea tijei/ revenirea sa la forma memorată începe de la temperatura de 30 °C și continuă până la temperatura de 75 °C. După temperatura de 75 °C tija nu se mai deformează și cuplul rămâne constant. A fost crescută temperatura până la 85 °C și comportamentul anterior prezentat a rămas valabil.

Caracteristica răcirii tijei în mod natural (figura VI.4.) descreește în mod constant. La răcire revenirea în punctul 0 este considerat momentul când deplasarea de pe afișajul micrometrului electronic este 0 și când traductorul de cuplu indică 0. Se prezintă o descreeștere neliniară, cu valori reduse până la temperatura de 60 °C, apoi se liniarizează până la revenirea în 0.

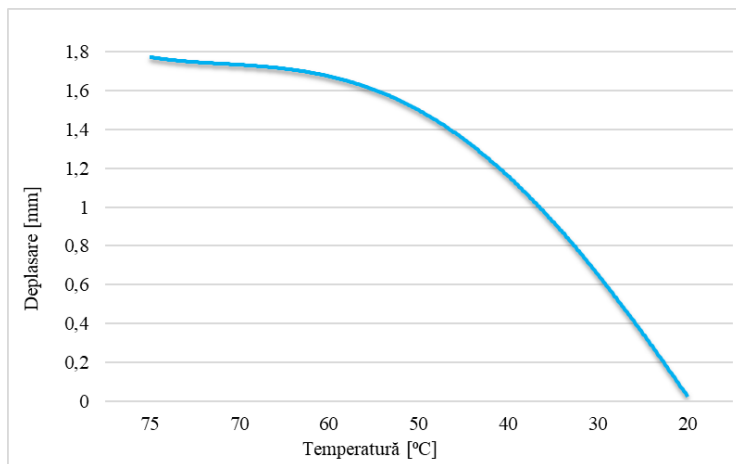


Figura VI.4. Caracteristica deplasării la răcirea tijei de Nitinol

VI.6. Concluzii

Tija de Nitinol este deformată mecanic până la aplatizare pentru ca mai apoi să fie încălzită cu o sursă de căldură artificială cu aer cald pentru a se observa deplasarea și forța. Deplasarea tijei începe după temperatura de 20° C și continuă până la temperatura de 75° C.

Deplasarea cea mai mare se observă (figura VI.7.) la trecerea de la 30° C la 40° C cu 0,66 mm, aproape de 5 ori mai mult decât deplasarea precedentă. Un alt salt în deplasarea este efectuat între temperatura de 70° C și 75° C cu o deplasare de 0,42 mm într-o variație de temperatură de doar 5° C. Răcirea nu degajă o deplasare uniformă, prezentând o deplasare

în salturi, între 50° C și 40° C se înregistrează o deplasare majoră de 0,4 mm. Trecerea de la 30° C la 20° C degajă revenirea în 0 de la 0,75 mm, marcând cea mai mare deplasare a tijei. La răcire revenirea în punctul 0 este considerată în momentul când deplasarea este 0 și masa 0.

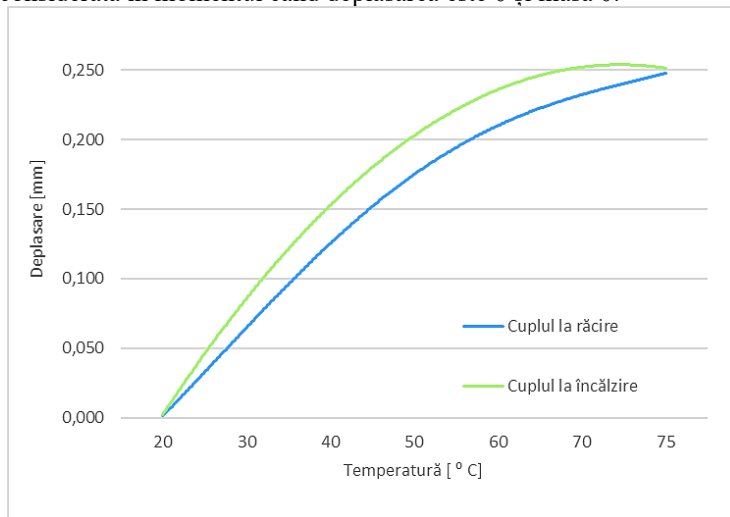


Figura VI.5. Caracteristica deplasării în funcție de temperatură a tijei de Nitinol, la încălzirea artificială și răcirea sa în mod natural

Capitolul VII.

CONCLUZII ALE CONTRIBUȚIILOR TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND DEZVOLTAREA UNOR MOTOARE ȘI ACTUATOARE FOLOSITE ÎN ENERGETICĂ

VII.1. CONCLUZII

Acest capitol cuprinde concluziile rezultate pe parcursul elaborării lucrării și include contribuțiile teoretice și experimentale și direcții de cercetare viitoare.

Capitolul I oferă o imagine de ansamblu asupra diversității și complexității motoarelor și actuatorilor speciale, precum și asupra rolului lor crucial în sistemele electrice moderne. Acestea se caracterizează prin: diversitate și specificitate, rol central este în automatizare, inovație continuă și considerații de proiectare complexe.

Capitolul II este constituit de o cercetare teoretică își are rădăcinile în studii și cercetări mai vechi din Centrul de Cercetare în Domeniul Mașini, Aparat și Acționări Electrice al Universității Ștefan cel Mare datorată brevetelor de invenție dezvoltate în multiple domenii și utilizând o gamă variată de materiale precum cele cu memoria formei, bimetalice sau polimerice.

Materialele polimerice studiate în capitolul III au avantajul de a avea o greutate redusă, maleabilitate și ușurință de utilizare. Materialele achiziționate au fost testate în aer cald și rece, în lichid la temperaturi reduse și ridicate, la înaltă tensiune de până la 7000 V, în tensiune continuă de până la 100V și cu ajutorul generatorului de semnal în frecvență între 50 și 100 Hz, dar majoritatea nu au răspuns impulsurilor și mediilor utilizate.

Banda polimerică impermeabilă de policlorură de vinil a avut răspuns favorabil în mediu lichid la variația temperaturii. Materialul a fost submersat în apă, în mai multe variante dimensionale și număr de straturi ale aceluiași material și s-au efectuat câteva serii de teste. Acestea au demonstrat că materialul poate fi utilizat ca un actuator polimeric în medii lichide și are capacitatea de a se deplasa pe o lungime a cursei invers

proporțională cu numărul de straturi în care este analizat, cu cât se aplică mai multe straturi, cursa sa este mai scurtă.

În capitolul IV cele mai multe cercetări pe tema Nitinolului, în intervalul 2010 – 2022, s-au efectuat în Statele Unite ale Americii, urmată cu doar o cincime de India și apoi de către Germania, Italia, Canada, Coreea, Republica Populară Chineză. Majoritatea cercetărilor se concentrează pe studierea și testarea aliajului cu scopul de a oferi o eficiență mai mare, caracteristici mai bune și pentru a face Nitinolul mai cunoscut și mai utilizat pe piață.

Comportamentul actuatorului unghiular, din capitolul IV, la încălzirea cu un termoplonjor, respectiv răcirea în mod natural a arcului din Nitinol în mediu lichid se face prin trecerea arcului din Nitinol din faza martensitică (la temperaturi joase) în faza austenitică (la temperaturi ridicate).

Avantajele unui astfel de actuator sunt dimensiunile sale reduse, rezistența la coroziune și fiabilitatea în condiții dificile. Aplicațiile unui asemenea dispozitiv ar putea fi în încuietori termice, sisteme de eliberare în caz de urgență, robinete și valve automatizate, reglarea presiunii, sisteme de răcire în echipamente industriale sau pentru motoarele navale, controlul capetelor de puț, sisteme de manipulare în lichide, valvule automate, sisteme de control al lichidului de frână, sisteme de dozare.

Sistemul de siguranță pentru priză din capitolul V utilizează arcurile de Nitinol care au sisteme de prindere pe capete pentru a înfășura contactele prizei și la apariția unui curent prea mare previne slăbirea contactelor datorată încălzirii lor, precum și arcul electric, realizând un contact ferm. Avantajele unui astfel de sistem constau în creșterea gradului de siguranță electrică în conformitate cu standardele, prelungirea durabilității echipamentelor, prevenirea incendiilor, funcționare mai silențioasă și eficiență energetică sporită.

În capitolul VI am introdus un actuator pentru sistemele de siguranță utilizate în domeniul energetic care mai poate fi utilizat și pentru a controla supapele de siguranță în sistemele de presiune ale unei centrale electrice sau unei instalații de proces. Acest actuator reglează poziția supapei pentru a menține presiunea în limitele specificate și pentru a proteja echipamentele și sistemele de suprapresiuni. Acesta poate avea rolul de a menține supapa în poziția dorită, temperatura mediului fiind reglată astfel încât tija să miște supapa în funcție de presiunea dorită.

Acest actuator are avantaje precum: fiabilitate înaltă, răspuns rapid, întreținere redusă, eficiență energetică și design compact. Se poate regăsi în centrale electrice, instalații de proces sau în industria nucleară.

VII.2. DIRECȚII DE DEZVOLTARE ULTERIOARĂ

Cercetarea în domeniul polimerilor este diversificată și vastă, iar polimerii inteligenți sunt cei care răspund la stimuli externi având proprietăți de memorie a formei și auto-vindecare. Acești polimeri pot fi utilizați și în domeniul energetic pentru celule solare, baterii, membrane de desalinizare, de purificare a apei sau de absorbție selectivă și separare a gazelor, iar noi aplicații pot fi construite și implementate atât la nivel industrial, cât și pentru activitățile de zi cu zi.

O direcție nouă de cercetare o reprezintă dezvoltarea de noi sisteme de memorare a Nitinolului în forme speciale, necesare efectuării unor deplasări specifice în diferite medii. De asemenea identificarea de noi forme în care Nitinolul poate lucra și construirea de noi dispozitive în domeniul energetic și nu numai.

Capitolul VIII. BIBLIOGRAFIE

Capitolul I. MOTOARE ȘI ACTUATOARE SPECIALE FOLOSITE ÎN INGINERIE ELECTRICĂ

- [1] BICHIR, N. *Mașini electrice*. Universitatea Politehnică; Editura ICPE, 1995, București.
- [2] SIMION, A. *Mașini electrice. Mașina asincronă*. Vol. 3, Editura PIM, 2012, Iași.
- [3] PENG, Z. *Sensors and actuator (Capitolul 3) din Advanced Industrial Control Technology*. William Andrew Publishing, p. 73-116, 2010, doi: 10.1016/B978-1-4377-7807-6.10003-8.
- [4] Nitin, S., Actuator hidraulic, Discover : *What Is Hydraulic Actuators?*, No. 1 in Powering Precision and Control, <https://plcdcscontrol.com/what-is-hydraulic-actuators/>.
- [5] REALPARS, *What is a Pneumatic Actuator? Types & Applications*, adresă: <https://www.realpars.com/blog/pneumatic-actuator>.
- [6] Blikai Eclectronic, *Electric Actuator: Types, Applications & Advantages*, adresă: <https://www.blikai.com/blog/blog/electric-actuator-types-applications-advantages>.
- [7] FENG, G.H.; YEN, S.C. *Micromanipulation tool replaceable soft actuator with gripping force enhancing and output motion converting mechanisms*. Transducers - 18th International conference on solid-state sensors, actuators and microsystems - 2015, p. 1877–1880, doi:10.1109/transducers.2015.7181316.
- [8] WISDOM THERMOSTAT, General Introduction, Adresă: <https://en.wisdom-thermostats.com/introduction>.
- [9] MALONE, E.; LIPSON, H. *Freeform fabrication of ionomeric polymer-metal composite actuators*. Jurnalul Rapid Prototyping, Vol. 12(5), p. 244–253. 2006, doi:10.1108/13552540610707004.
- [10] Kruusamäe, K.; Punning, A.; Aabloo, A.; Asaka, K. Self-Sensing Ionic Polymer Actuators: A Review. *Actuators* **2015**, *4*, 17-38. <https://doi.org/10.3390/act4010017>.
- [11] Simic, Marko & Herakovic, Niko. (2017). Piezo actuators for the use in hydraulic and pneumatic valves. 207-218. 10.18690/978-961-286-086-8.21.
- [12] KERDLAPEE, P.; WISITSORAAT, A.; PHOKARATKUL, D.; LEKSAKUL, K.; PHATTTHANAKUN, R.; TUANTRANONT, A. *Fabrication of electrostatic MEMS microactuator based on X-ray lithography with Pb-based X-ray mask and dry-film-transfer-to-PCB process*. Microsystem Technologies, Vol. 20, Pp. 127–135, 2014, doi:10.1007/s00542-013-1816-x.
- [13] OIMI, What is an electric cylinder? Adresă: https://images.ctfassets.net/ku8lac8i0eqv/5H93Sz10SnYr5DwbI7LCMI/6440f2d613dd9f2744f2d735f2587998/electric_actuator_diagram.jpg?w=775&h=279&q=50&fm=webp.
- [14] HAYASHI, T. *Study on the Specific Characteristics of Various Actuators*. International Centre for Mechanical Sciences (Courses and Lectures), Vol. 422, Springer, Vienna. doi: 10.1007/978-3-7091-2498-7_27.

Capitolul VII CONCLUZII ALE CONTRIBUȚIILOR TEORETICE ȘI
EXPERIMENTALE PRIVIND DEZVOLTAREA UNOR
MOTOARE ȘI ACTUATOARE FOLOSITE ÎN ENERGETICĂ

- [15] HUBER, J.E.; FLECK, N.A.; ASHBY, M.F. *The selection of mechanical actuators based on performance indices*. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, Vol. 453(1965), Pp. 2185–2205, 1997, doi:10.1098/rspa.1997.0117.
- [16] Electromobility, *Motor electric răcit direct din materiale polimerice – Demil*, <https://www.ict.fraunhofer.de/en/comp/electromobility.html>.
- [17] Lawrence Livermore National Laboratory, *Harmonic Air Motor Offers Very High Efficiency*, Livermore, CA, <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/supplements/md/briefs/27739>.
- [18] Lawrence Livermore National Laboratory, *Microdrones with Light-Driven Nanomotors*, Livermore, CA, <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/insiders/md/stories/45712>.
- [19] J. S. Park, O. K. Oh, Y. W. Park and N. M. Wereley, *A Novel Concept and Proof of Magnetostrictive Motor*, in IEEE Transactions on Magnetics, vol. 49, no. 7, pp. 3379–3382, July 2013, doi: 10.1109/TMAG.2013.2243132.
- [20] The University of Texas at Austin, *Tiny Motors to Power a Network of Nanomachines*, TX, <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/pub/briefs/mechanics-and-machinery/46498>.
- [21] John H. Glenn Research Center, *Latch-Release Pin Puller With Shape-Memory-Alloy Actuator*, Cleveland, Ohio, <https://www.techbriefs.com/component/content/article/28406-lew-16511>.
- [22] A. Peter Jardine, *Fast-Response-Time Shape-Memory-Effect Foam Actuators*, hape Change Technologies LLC for Glenn Research Center, NASA Glenn Research Center., *Fast-Response-Time Shape-Memory-Effect Foam Actuators*.
- [23] L. Zhang et al., "Motor-Driven Giant Magnetostrictive Actuator," in IEEE Transactions on Magnetics, vol. 51, no. 10, pp. 1-7, Oct. 2015, Art no. 8203607, doi: 10.1109/TMAG.2015.2445743.
- [24] Sonia Fernandez, *Fast, Low-Voltage Actuator for Soft and Wearable Robotics*, University of California, Santa Barbara. *Fast, Low-Voltage Actuator for Soft and Wearable Robotics*.
- [25] *Developing a Flexible Polymer with Robust Piezoelectric Effectiveness*, <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/pub/briefs/materials/45759>.
- [26] REN, C.; SZEDLACSEK, P.; VILLENEUVE, F. *Actuator termomecanic cu bimetal*. SIEMENS ENERGY INC, Brevet de invenție WO2020040736A1 din 27.02.2020.
- [27] KAWAHARA, J. *Actuator polimeric*. LINTEC, Cerere de brevet de invenție WO2020050293A1 din 12.03.2020.
- [28] KAWAHARA, J. *Actuator polimeric*. LINTEC, Brevet de invenție US2020115827A1 din 16.04.2020.
- [29] KOMATSU, N.; MORISAKI, Y.; OYAMA, K.; SAIKI, Y. *Actuator cu polimer*. Mitsubishi Heavy IND LTD, Brevet de invenție EP3713076A1 din 23.09.2020.
- [30] CHO, M.H.; KIM, H.S.; KIM, H.S.; SUNG, H.J. *Actuator inteligent compozit*. Seoul National University, R&DB Foundation, Brevet de invenție WO2020027379A1 din 06.02.2020.
- [31] HOSHIKO, T. *Actuator foto receptiv*. Brevet de invenție JP2020022338A din 06.02.2020.

- [32] KIM, O.; PARK, M.J. *Actuator electroactiv, dispozitiv mecanic și electrolit polimeric*. POSTECH ACAD IND FOUND, Brevet de invenție US10586913B2 din 10.03.2020.

Capitolul II. ANALIZA BIBLIOMETRICĂ A ACTUATOARELOR SPECIALE FOLOSITE ÎN INDUSTRIA ELECTROTEHNICĂ

- [33] ***Pagina oficială pentru programul VOSviewer: <https://www.vosviewer.com/>.
- [34] CERNUȘCĂ, D.; MILICI, D.L.; POIENAR, M. *Development of special actuators using smart materials*. International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE 2016), 20-22 October, 2016, Iasi, Romania, p. 567 - 570, doi: 10.1109/ICEPE.2016.7781404.
- [35] ROMANESCU, A.N.; POIENAR, M.; NIȚAN, I. *Performance analysis of an autonomous system used to guide the solar panels*. 10th International Symposium on advanced topics in electrical engineering, 23-25 mai 2017.
- [36] MILICI, M.R.; MILICI, L.D.; PENTIUC, R.D.; ATANASOAE, P. *The mathematical model of a stand measuring the torque of the termobimetal actuators*. 2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering, pp. 563-566.
- [37] MOGILNER, A; OSTER, G. *Polymer Motors: Pushing out the Front and Pulling up the Back*. Current Biology, Vol. 13, Issue 18, Pp. R721-R733, 2003, doi: 10.1016/j.cub.2003.08.050.
- [38] CAO, T.; LI, X.; WANG, B.; MI, Y.; ZHAO, G.; TWIEFEL, J.; WU, D.I. *Viscoelastic analytical model and design of polymer-based bimodal piezoelectric motor*. Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 145, P. 106960, 2020, doi: 10.1016/j.ymssp.2020.106960.
- [39] QU, J.; ZHANG, Y.; TIAN, X.; LI, J. *Wear behavior of filled polymers for ultrasonic motor in vacuum environments*. Wear, Vol. 322–323, Pp. 108-116, 2015, doi: 10.1016/j.wear.2014.11.003.
- [40] KOO, J.H.; LANGSTON, J. *Polymer Nanocomposite Ablative Technologies for Solid Rocket Motors (Capitolul 12)*. Editor(s): Qi-Long Yan, Guo-Qiang He, Pei-Jin Liu, Michael Gozin, in Micro and Nano Technologies, Nanomaterials in Rocket Propulsion Systems, Elsevier, Pp. 423-493, 2019, doi: 10.1016/B978-0-12-813908-0.00012-5.
- [41] TOADER, E.V.; MILICI, L.D., MILICI, M.R.; POIENAR, M.; CERNUȘCĂ, D. *The Current State of Special Actuators and Motors Researches in the University of Ștefan cel Mare Suceava*. 2019 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), Bucharest, Romania, Pp. 1-6, 2019, doi: 10.1109/ATEE.2019.8724733.
- [42] WU, J.; MIZUNO, Y.; NAKAMURA, K.; KAMBARA, S.; OKUYAMA, N.; SHIMIZU, K. *Ultrasonic motors with polymer vibrator*. IEEE International Ultrasonics Symposium, Chicago, IL, USA, Pp. 2514-2517, 2014, doi: 10.1109/ULTSYM.2014.0627.
- [43] WU, J.; MIZUNO, Y.; NAKAMURA, K. *Polymer-Based Ultrasonic Motors Utilizing High-Order Vibration Modes*. in IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 23, Issue 2, Pp. 788-799, 2018, doi: 10.1109/TMECH.2018.2794379.

Capitolul VII CONCLUZII ALE CONTRIBUȚIILOR TEORETICE ȘI
EXPERIMENTALE PRIVIND DEZVOLTAREA UNOR
MOTOARE ȘI ACTUATOARE FOLOSITE ÎN ENERGETICĂ

-
- [44] CHOI, H.R.; JUNG, K.M.; KWAK, J.W.; LEE, S.W.; KIM, H.M.; JEON, J.W.; NAM, J.D. *Digital polymer motor for robotic applications*. IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No.03CH37422), Taipei, Taiwan, Vol. 2, Pp. 1857-1862, doi: 10.1109/ROBOT.2003.1241865.
 - [45] WALDSCHIK, A.; BUTTGEBACH, S. *Fabrication of internal driven micro centrifugal force pump based on synchronous micro motors with polymer magnet rotors*. Symposium on Design, Test, Integration & Packaging of MEMS/MOEMS, Rome, Italy, 2009, Pp. 390-393.
 - [46] JIANG, W.; YOSUKE, M.; KENTARO, N.; SHIGEKI, K.; NAOTO, O.; KIYOSHI, S. *Ultrasonic motors with polymer vibrator*. IEEE International Ultrasonics Symposium, IUS, Vol. 62, Pp. 2514-2517, 2014, doi: 10.1109/ULTSYM.2014.0627.
 - [47] KEITH, R.; MARGARET, D.; JERRY K. *Electroactive Polymer Motors for Aerospace Applications*. 2008, doi: 10.1557/PROC-1134-BB08-37.
 - [48] T. MITCHISON, *Self-Organization of Polymer-Motor Systems in the Cytoskeleton*. Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences, Vol. 336, Pp. 99-106, 1992, doi: 10.1098/rstb.1992.0049.
 - [49] DOWNTON, M.; ZUCKERMANN, M.; CRAIG, E.; PLISCHKE, M.; LINKE, H. *Single-polymer Brownian motor: A simulation study*. Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics. Vol. 73, Pp. 011909, 2006, doi: 10.1103/PhysRevE.73.011909.
 - [50] LI, X.; CAO, T.; WEN, Z.; LU, C.; LIU, W.; ZHU, C.; WU, D. *3D printing and dynamic modeling of a polymer-based bimodal piezoelectric motor*. Smart Materials and Structures, Vol. 30, 2020, doi: 10.1088/1361-665X/abccdb.
 - [51] SMITH, D.; HUMPHREY, D.; DUGGAN, C.; KÂS, J. *Pattern Formations in Polymer-Molecular Motor Networks*. American Physical Society, Bibcode: 2001 APS.MARS23012S.
 - [52] BRESSLOFF, P.C. *Polymers and Molecular Motors, Stochastic Processes in Cell Biology*. Interdisciplinary Applied Mathematics, Springer, Cham, Vol. 41, 2014, doi: 10.1007/978-3-319-08488-6_4.
 - [53] TAKUSHI, S.; YOSHIYUKI, S.; KENJI, K.; KINJI, A. *Actuation mechanism of dry-type polymer actuators composed by carbon nanotubes and ionic liquids*. Sensors and Actuators B: Chemical, Vol. 273, 2018, Pp. 955-965, doi: 10.1016/j.snb.2018.05.006.
 - [54] GONZALEZ, D.; GARCIA, J.; NEWELL, B. *Electromechanical characterization of a 3D printed dielectric material for dielectric electroactive polymer actuators*. Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 297, 2019, 111565, doi: 10.1016/j.sna.2019.111565.
 - [55] FARZAM D.R. *A two-dimensional electro-beam model for large deformation analysis of dielectric polymer actuators*. International Jurnalul of Solids and Structures, Vol. 165, 2019, Pp. 104-114, doi: 10.1016/j.ijsolstr.2019.01.034.
 - [56] SUNJAI, N.; URMAS, J.; PUNNING, A.; AABLOO, A. *Modeling, fabrication, and characterization of motion platform actuated by carbon polymer soft actuator*. Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 283, 2018, Pp. 87-97, doi: 10.1016/j.sna.2018.09.054.
 - [57] MASUYA, K.; ONO, S.; TAKAGI, K.; TAHARA, K. *Modeling framework for macroscopic dynamics of twisted and coiled polymer actuator driven by Joule heating focusing on energy and convective heat transfer*. Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 267, 2017, Pp. 443-454, doi: 10.1016/j.sna.2017.10.016.
 - [58] HONGKAI, L.; MIN, F.; YINGHAO, Y.; QINGSONG, H.; MIN, Y.; CHEN, G.M. *Displacement response of ionic polymer metal composite actuator to asymmetric*
-

- square waves in air operating*. Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 311, 2020, 112069, doi: 10.1016/j.sna.2020.112069.
- [59] JAKUB, B.; JAKUB K. *Adaptive observer for state and load force estimation for dielectric electro-active polymer actuator*. IFAC-Papers on Line, Vol. 52, Issue 16, 2019, Pp. 448-453, doi: 10.1016/j.ifacol.2019.12.002.
- [60] JANG-WOO, L.; TAEHOON, K.; YOUNGJONG, K.; TAE, H.H.; CHANG, G.C.; SOON, M.H.; SUK-WON, H.; CHONG M.K. *Styrenic block copolymer/sulfonated graphene oxide composite membranes for highly bendable ionic polymer actuators with large ion concentration gradient*. Composites Science and Technology, Vol. 163, 2018, Pp. 63-70, doi: 10.1016/j.compscitech.2018.05.002.
- [61] KWON, T.; LEE, J.W.; CHO, H.; HENKENSMEIER, D.; KANG, Y.; HONG, S.M.; KOO, C.M. *Ionic polymer actuator based on anion-conducting methylated ether-linked polybenzimidazole*. Sensors and Actuators B: Chemical, Vol. 214, 2015, Pp. 43-49, doi: 10.1016/j.snb.2015.03.007.
- [62] KIEFER, R.; MARTINEZ, J.G.; KESKÜLA, A.; ANBARJAFARI, G.; AABLOO, A.; OTERO, T.F. *Polymeric actuators: Solvents tune reaction-driven cation to reaction-driven anion actuation*. Sensors and Actuators B: Chemical, Vol. 233, 2016, Pp. 328-336, doi: 10.1016/j.snb.2016.04.090.
- [63] WU, Y.; GORREC, Y.L. *Optimal actuator location for electro-active polymer actuated endoscope*. IFAC-PapersOnLine, Vol. 51, Issue 3, 2018, Pp. 199-204, doi: 10.1016/j.ifacol.2018.06.053.
- [64] GUO, D.J.; LIU, R.; LI, Y.K.; ELLIOTT, W.H.; DU, J.P.; ZHANG, H.; DING, Y.; TAN, W.; FANG, S.M. *Polymer actuators of fluorene derivatives with enhanced inner channels and mechanical performance*. Sensors and Actuators B: Chemical, Vol. 255, Part 1, 2018, Pp. 791-799, doi: 10.1016/j.snb.2017.08.119.
- [65] TERASAWA, N.; ASAKA, K. *High-performance graphene oxide/vapor-grown carbon fiber composite polymer actuator*. Sensors and Actuators B: Chemical, Vol. 255, Part 3, 2018, Pp. 2829-2837, doi: 10.1016/j.snb.2017.09.100.
- [66] ZHAO, G.; YANG, J.; WANG, Y.; ZHAO, H.; WANG, Z. *Preparation and electromechanical properties of the chitosan gel polymer actuator based on heat treating*. Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 279, 2018, Pp. 481-492, doi: 10.1016/j.sna.2018.06.036.
- [67] SHOJI, E. *Fabrication of a diaphragm micropump system utilizing the ionomer-based polymer actuator*. Sensors and Actuators B: Chemical, Vol. 237, 2016, Pp. 660-665, doi: 10.1016/j.snb.2016.06.153.
- [68] PONCET, P.; CASSET, F.; LATOUR, A.; DOMINGUES DOS SANTOS, F.; GWOZIECKI, R.; FANGET, S. *Development of haptic button based on electro active polymer actuator*. Procedia Engineering, Vol. 168, 2016, Pp. 1500-1503, doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.436.
- [69] ROMERO, M.R.; WOLFEL, A.; ALVAREZ IGARZABAL, C.I. *Smart valve: Polymer actuator to moisture soil control*. Sensors and Actuators B: Chemical, Vol. 234, 2016, Pp. 53-62, doi: 10.1016/j.snb.2016.04.104.
- [70] ASAI, H.; KAWAI, T.; SHIMADA, N.; SAKAI, T.; NAKANE, K. *Effect of spinning condition and fiber alignment on performance of ionic polymer gel actuators with nanofiber mat electrodes*. Sensors and Actuators B: Chemical, Vol. 214, 2015, Pp. 76-81, doi: 10.1016/j.snb.2015.02.129.
- [71] TRUONG, B.N.M.; AHN, K.K. *Inverse modeling and control of a dielectric electro-active polymer smart actuator*. Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 229, 2015, Pp. 118-127, doi: 10.1016/j.sna.2015.03.032.

Capitolul VII CONCLUZII ALE CONTRIBUȚIILOR TEORETICE ȘI
EXPERIMENTALE PRIVIND DEZVOLTAREA UNOR
MOTOARE ȘI ACTUATOARE FOLOSITE ÎN ENERGETICĂ

- [72] KUMAR, B.; HU, J.; PAN, N.; NARAYANA, H. *A smart orthopedic compression device based on a polymeric stress memory actuator*. Materials & Design, Vol. 97, 2016, Pp. 222-229, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.02.092>.
 - [73] PANWAR, V.; MOHANTY, S.; ANOOP, G.T.; KUMAR, S. *Actuation and self-sensing performance of soft polymer actuator skin using polyelectrolyte attached terpolymer*. Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 315, 2020, 112277, doi: 10.1016/j.sna.2020.112277.
 - [74] SUNAHASE, Y.; MITSUI, S.; AMAYA, S.; SAKAMOTO, H.; SUYE, S.I. *Effect of electrothermal heat on driving of polymer nanofiber as an actuator*. Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 295, 2019, Pp. 231-236, doi: 10.1016/j.sna.2019.04.023.
 - [75] KHALDI, A.; MAZIZ, A.; ALICI, G.; SPINKS, G.M.; Jager, E.W.H. *Bottom-up microfabrication process for individually controlled conjugated polymer actuators*. Sensors and Actuators B: Chemical, Vol. 230, 2016, Pp. 818-824, doi: 10.1016/j.snb.2016.02.140.
 - [76] WANG, X.; XIAO, D.; CHEN, Z.; HOU, Z.; WU, X.; SU, J. *Micro-fabricated polymeric thermal actuators array for rectifying the deformation of MEMS substrate*. The 8th Annual IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems, Suzhou, 2013, pp. 1046-1049, doi: 10.1109/NEMS.2013.6559902.
 - [77] Tahara, K.; Hayashi, R.; Masuya, K.; Takagi, K.; Irisawa, T.; Yamauchi, T.; Tanaka, E. *Rotational Angle Control of a Twisted Polymeric Fiber Actuator by an Estimated Temperature Feedback*. în IEEE Robotics and Automation Letters, Vol. 4, no. 3, pp. 2447-2454, July 2019, doi: 10.1109/LRA.2019.2901982.
 - [78] WANG, J.; WU, W.; FU, S.; ZHANG, C.; DING, G. *Design optimization of polymeric Out-of-plane electro-thermal actuator*. 2010 IEEE 5th International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems, Xiamen, 2010, pp. 157-160, doi: 10.1109/NEMS.2010.5592176.
 - [79] YANG, G.; REN W.; MUKHERJEE, B. K. *Characterization of the transverse elongation of polymeric electrostatic actuators induced by Maxwell stress*. în IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 18, no. 1, pp. 81-88, February 2011, doi: 10.1109/TDEI.2011.5704496.
 - [80] SU, J.; HARRISON J.S.; CLAIR, T.S.T. *Novel polymeric elastomers for actuation*. ISAF 2000. Proceedings of the 2000 12th IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics (IEEE Cat. No.00CH37076), Honolulu, HI, USA, 2000, pp. 811-814 Vol. 2, doi: 10.1109/ISAF.2000.942442.
 - [81] LEFEVRE, F.; IZQUIERDO, R.; SCHOUGAARD, S. B. *A polymeric micro actuator to be integrated into an organic material based lab on chip microsystem*. în 6th International IEEE Northeast Workshop on Circuits and Systems and TAISA Conference, Montreal, QC, 2008, pp. 318-322, 2008, doi: 10.1109/NEWCAS.2008.4606385.
 - [82] ROMANESCU, A.N.; CERNUȘCĂ, D.; POIENAR, M.; MILICI, L.D. *Considerations regarding the practical implementation of the heliotermic actuator in the form of flat spiral spring*. In: 2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE 2016), 20-22 October, Iasi, Romania, p. 157 - 160, doi: 10.1109 /icepe.2016.7781324.
 - [83] CERNUȘCĂ, D.; MILICI, D.L.; POIENAR, M. *Researches on the realization of an Electromechanical Micropump*. In: 2018 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), 18-19 octombrie 2018, p. 270-273, DOI: 10.1109/ICEPE.2018.8559774.
-

- [84] MILICI, L.D.; MILICI, M.R.; PENTIUC, GH. *E-Learning Application for the Modeling and Studying of Data Acquisition System's Working*. 4th IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, p. 545-549.
- [85] Dezaki, M.L.; Bodaghi, M.; Serjouei, A.; Afazov, S.; Zolfagharian, A. Adaptive reversible composite-based shape memory alloy soft actuators, *Sensors and Actuators A: Physical* 2022, Volume 345, Pages 113779-113793, doi: 10.1016/j.sna.2022.113779.
- [86] Karimi, S.; Konh, B. Kinematics modelling and dynamics analysis of an SMA-actuated active flexible needle for feedback-controlled manipulation in phantom, *Medical Engineering & Physics* 2022, Volume 107, Page 103846, doi: 10.1016/j.medengphy.2022.103846.
- [87] Chaudhari, R.; Prajapati, P.; Khanna, S.; Vora, J.; Patel, V.K.; Pimenov, D.Y.; Giasin, K. Multi-Response Optimization of Al₂O₃ Nanopowder-Mixed Wire Electrical Discharge Machining Process Parameters of Nitinol Shape Memory Alloy. *Materials* 2022, Volume 15, Pages 1-21, Doi: 10.3390/ma15062018.
- [88] Zhang, D.; Hu, Z.; Li, Y.; Cong, W. Excellent damping properties and their correlations with the microstructures in the NiTi alloys fabricated by laser-directed energy deposition, *Journal of Manufacturing Processes* 2022, Volume 84, Pages 965-976, doi: 10.1016/j.jmapro.2022.10.047.
- [89] Sahu, A.; Palani, I.A.; Singh, V. Investigation on fabrication of NiTi based strain gauge using laser decal transfer based μ -3D printing, *Manufacturing Letters* 2022, Volume 32, Pages 49-53, doi: 10.1016/j.mfglet.2022.03.001.
- [90] Cui, Y.; Zeng, X.; Tan, V.B.C.; Zhang, Z. Experimental and numerical studies of NiTi dynamic fracture behaviors under the impact loading, *International Journal of Mechanical Sciences* 2022, Volume 235, Pages 107724-107750, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2022.107724.
- [91] Britz, R.; Motzki, P. Analysis and evaluation of bundled SMA actuator wires, *Sensors and Actuators A: Physical* 2022, Volume 333, Pages 113233, doi: 10.1016/j.sna.2021.113233.
- [92] Zhang, M.; Duan, Y.; Fang, X.; Zhang, H.; Jiao, G.; Li, Y.; Huang, K. Tailoring the superelasticity of NiTi alloy fabricated by directed energy deposition through the variation of residual stress, *Materials & Design* 2022, Volume 224, Pages 111311-111352, doi: 10.1016/j.matdes.2022.111311.
- [93] Chekotu, J.C.; Kinahan, D.; Goodall, R.; Brabazon, D. Influence of Structural Porosity and Martensite Evolution on Mechanical Characteristics of Nitinol via In-Silico Finite Element Approach. *Materials* 2022, Volume 15, Pages 5365-5391, doi: 10.3390/ma15155365.
- [94] Kannan, R.R.; Sivabharathy, M.; Lenin, N. Shape memory effect of Cu_xAl_{1-x}nitinol/MWCNT nanocomposites for actuators in MEMS, *Sensors and Actuators A: Physical* 2022, Volume 334, Pages 113327-113338, doi: 10.1016/j.sna.2021.113327.
- [95] Liu, S.; Ke, C.B.; Cao, S.; Ma, X.; Zhao, Z.X.; Li, Y.W.; Zhang, X.P. An atomistic study of self-accommodation martensite morphologies and microstructure evolution during forward and reverse martensitic transformations in single crystal and bicrystal NiTi alloys, *Computational Materials Science* 2022, Volume 210, Pages 111455-111470, doi: 10.1016/j.commatsci.2022.111455.
- [96] Kong, X.; Hao, S.; Ren, Y.; Yang, Y.; Feng, B.; Guo, F.; Yang, Q.; Huang, B.; Cui, L. Interactions between martensitic NiTi shape memory alloy and Nb nanowires in composite wire during tensile deformation, *Composites Part B: Engineering* 2022, Volume 234, Pages 109690-109702, doi: 10.1016/j.compositesb.2022.109690.

-
- [97] Zhang, Y.; Yu, C.; Zhu, Y.; Kan, Q.; Kang, G. Thermo-mechanically coupled deformation of pseudoelastic NiTi SMA helical spring, *International Journal of Mechanical Sciences* 2022, Volume 236, Pages 107767-107789, ISSN 0020-7403, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2022.107767.
- [98] Safaei, K.; Nematollahi, M.; Bayati, P.; Kordizadeh, F.; Andani, M.T.; Abedi, H.; Poorganji, B.; Elahinia, M. On the crystallographic texture and torsional behavior of NiTi shape memory alloy processed by laser powder bed fusion: Effect of build orientation, *Additive Manufacturing* 2022, Volume 59, Part B, Pages 103184-103201, doi: 10.1016/j.addma.2022.103184.
- [99] Sun, G.; Liu, H.; Liu, W.; Yang, W. Development, simulation, and validation of sliding self-centering steel brace with NiTi SMA wires, *Engineering Structures* 2022, Volume 256, Pages 114069-114088, doi: 10.1016/j.engstruct.2022.114069.
- [100] Rao, Z.; Wang, X.; Leng, J.; Yan, Z.; Yan, X. Design methodology of the Ni50Ti50 shape memory alloy beam actuator: Heat treatment, training and numerical simulation, *Materials & Design* 2022, Volume 217, Pages 110615-110630, doi: 10.1016/j.matdes.2022.110615.
- [101] Hau, C.T.; Gouwanda, D.; Gopalai, A.A.; Low, C.Y.; Hanapiah, F.A. Gamification and Control of Nitinol Based Ankle Rehabilitation Robot. *Biomimetics* 2022, Volume 6, Pages 53-65, doi: 10.3390/biomimetics6030053.
- [102] Dumitru, C.; Milici, L.D.; Pentiu, R.D.; Atănăsoae, P.; Ungureanu, C.; Hopulele, E. Experimental Analysis on the Impact of Current on the Strength and Lifespan of a Ni-Ti Element. *Appl. Sci.* 2022, Volume 12, Pages 3185-3195, doi: 10.3390/app12063185.
- [103] Pu, Z.; Du, D.; Wang, K.; Liu, G.; Zhang, D.; Zhang, H.; Xi, R.; Wang, X.; Chang, B. Study on the NiTi shape memory alloys in-situ synthesized by dual-wire-feed electron beam additive manufacturing, *Additive Manufacturing* 2022, Volume 56, Pages 102886-102900, doi: 10.1016/j.addma.2022.102886.
- [104] Wang, J.; Huang, B.; Gu, X.; Zhu, J.; Zhang, W. Actuation performance of machined helical springs from NiTi shape memory alloy, *International Journal of Mechanical Sciences* 2022, Pages 107744-107755, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2022.107744.
- [105] Zhang, Y.; Kang, G.; Miao, H.; Yu, C. Cyclic degeneration of elastocaloric effect for NiTi shape memory alloy: Experimental observation and constitutive model, *International Journal of Solids and Structures* 2022, Volume 248, Pages 111638-111664, doi: 10.1016/j.ijsolstr.2022.111638.
- [106] Xiong, Z.; Li, H.; Yang, H.; Yang, Y.; Liu, Y.; Cui, L.; Li, X.; Masseling, L.; Shen, L.; Hao, S. Micro laser powder bed fusion of NiTi alloys with superior mechanical property and shape recovery function, *Additive Manufacturing* 2022, Volume 57, Pages 102960-102972, doi: 10.1016/j.addma.2022.102960.
- [107] Li, X.; Cheng, S.; Sun, Q. A compact NiTi elastocaloric air cooler with low force bending actuation, *Applied Thermal Engineering* 2022, Volume 215, Pages 118942-118951, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2022.118942.
- [108] Lu, H.Z.; Ma, H.W.; Cai, W.S.; Luo, X.; Qu, S.G.; Wang, J.; Lupoi, R.; Yin, S.; Yang, C. Altered phase transformation behaviors and enhanced bending shape memory property of NiTi shape memory alloy via selective laser melting, *Journal of Materials Processing Technology* 2022, Volume 303, Pages 117546-117558, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2022.117546.
- [109] Gangwar, K.; Jayachandran, S.; Sahu, A.; Singh, A.; Palani, I.A. Influence of pre-strain on attributes of Ni-rich NiTi/ Kapton polyimide bimorph for flexible mirrors, *Sensors and Actuators A: Physical* 2022, Volume 341, Pages 113607-113620, doi: 10.1016/j.sna.2022.113607.
-

-
- [110] Fazeli, S.; Izadifar, M.; Dolado, J.S.; Ramazani, A.; Sadrnezhad, S.K. Atomistic study of the effect of crystallographic orientation on the twinning and detwinning behavior of NiTi shape memory alloys, *Computational Materials Science* 2022, Volume 203, Pages 111080-111096, doi: 10.1016/j.commatsci.2021.111080.
 - [111] Maimani, F.; Calderón, A.A.; Yang, X.; Rigo, A.; Ge, J.Z.; Pérez-Arancibia, N.A. A 7-mg miniature catalytic-combustion engine for millimeter-scale robotic actuation, *Sensors and Actuators A: Physical* 2022, Volume 341, Pages 112818-112828, doi: 10.1016/j.sna.2021.112818.
 - [112] Rajoriya, S., Mishra, S.S. Size, length, temperature and loading range effects on deformation response of NiTi SMA wire: an analytical study. *Innov. Infrastruct. Solut.* 2022, Volume 7, Pages 217-243, Doi: 10.1007/s41062-022-00814-y.
 - [113] Han M. Jiang, Chao Yu, Qianhua Kan, Bo Xu, Chuanping Ma, Guozheng Kang, Effect of hydrogen on super-elastic behavior of NiTi shape memory alloy wires: Experimental observation and diffusional-mechanically coupled constitutive model, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2022, Volume 132, Pages 105276-105293, doi: 10.1016/j.jmbbm.2022.105276.
 - [114] Zhang, Y.; Jiang, S.; Zhao, G.; Guo, K. Transformation yield surface of nanocrystalline NiTi shape memory alloy, *International Journal of Mechanical Sciences* 2022, Volume 222, Pages 107258-107276, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2022.107258.
 - [115] Bhardwaj, A.; Ojha, M.; Garudapalli, A.; Gupta, A.K. Microstructural, mechanical and strain hardening behavior of NiTi alloy subjected to constrained groove pressing and ageing treatment, *Journal of Materials Processing Technology* 2021, Volume 294, Pages 117132-117146, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2021.117132.
 - [116] McCue, I.D.; Valentino, G.M.; Trigg, D.B.; Lennon, A.M.; Hebert, C.E.; Seker, D.P.; Nimer, S.M.; Mastandrea, J.P.; Trexler, M.M. Storck, S.M. Controlled shape-morphing metallic components for deployable structures, *Materials & Design* 2021, Volume 208, 2021, Pages 109935-109947, doi: 10.1016/j.matdes.2021.109935.
 - [117] Singh, S.; Resnina, N.; Belyaev, S.; Jinoop, A.N.; Shukla, A.; Palani, I.A.; Paul, C.P.; Bindra, K.S. Investigations on NiTi shape memory alloy thin wall structures through laser marking assisted wire arc based additive manufacturing, *Journal of Manufacturing Processes* 2021, Volume 66, 2021, Pages 70-80, doi: 10.1016/j.jmapro.2021.04.004.
 - [118] Tyc, O.; Molnárová, O.; Šittner, P. Effect of microstructure on fatigue of superelastic NiTi wires, *International Journal of Fatigue* 2021, Volume 152, 2021, Pages 106400-106414, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2021.106400.
 - [119] Liu, W.; Sun, G.; Chen, L.; Kong, J. Experimental investigation into NiTi shape memory alloy panels under cyclic shear loading, *Engineering Structures* 2021, Volume 245, Pages 112958-112975, doi: 10.1016/j.engstruct.2021.112958.
 - [120] Safaei, K.; Nematollahi, M.; Bayati, P.; Dabbaghi, H.; Benafan, O.; Elahinia, M. Torsional behavior and microstructure characterization of additively manufactured NiTi shape memory alloy tubes, *Engineering Structures* 2021, Volume 226, Pages 111383-111392, doi: 10.1016/j.engstruct.2020.111383.
 - [121] Shayanfard, P.; Heller, L.; Šandera, P.; Šittner, P. Numerical analysis of NiTi actuators with stress risers: The role of bias load and actuation temperature, *Engineering Fracture Mechanics* 2021, Volume 244, Pages 107551-107562, doi: 10.1016/j.engfracmech.2021.107551.
 - [122] Eyer, P.; Dittus, J.; Trauth, A.; Coutandin, S.; Fleischer, J.; Weidenmann, K.A. Improvement of the adhesion in functional NiTi wire/polymer composites made by additive manufacturing, *Composite Structures* 2021, Volume 275, Pages 114455-114462, doi: 10.1016/j.compstruct.2021.114455.
-

- [123] Jape, S.; Young, B.; Haghighouyan, B.; Hayrettin, C.; Baxeavanis, T.; Lagoudas, D.C.; Karaman, I. Actuation-Induced stable crack growth in near-equiatomic nickel-titanium shape memory alloys: Experimental and numerical analysis, *International Journal of Solids and Structures* 2021, Volume 221, Pages 165-179, doi: 10.1016/j.ijsolstr.2020.09.032.
- [124] Oliveira, J.P.; Shen, J.; Escobar, J.D.; Salvador, C.A.F.; Schell, N.; Zhou, N.; Benafan, O. Laser welding of H-phase strengthened Ni-rich NiTi-20Zr high temperature shape memory alloy, *Materials & Design* 2021, Volume 202, Pages 109533-109543, doi: 10.1016/j.matdes.2021.109533.
- [125] Karna, P.; Mani Prabu, S.S.; Karthikeyan, S.C.; Mithun, R.; Jayachandran, S.; Resnina, N.; Belyaev, S.; Palani, I.A. Investigations on laser actuation and life cycle characteristics of NiTi shape memory alloy bimorph for non-contact functional applications, *Sensors and Actuators A: Physical* 2021, Volume 321, Pages 112411-112425, doi: 10.1016/j.sna.2020.112411.
- [126] Cissé, C.; Zaeem, M.A. Design of NiTi-based shape memory microcomposites with enhanced elastocaloric performance by a fully thermomechanical coupled phase-field model, *Materials & Design* 2021, Volume 207, Pages 109898-109909, doi: 10.1016/j.matdes.2021.109898.
- [127] Ko, W.S.; Jeon, J.B. Atomistic simulations on orientation dependent martensitic transformation during nanoindentation of NiTi shape-memory alloys, *Computational Materials Science* 2021, Volume 187, Pages 110127-110135, doi: 10.1016/j.commatsci.2020.110127.
- [128] Sedláč, P.; Frost, M.; Ševčík, M.; H. Seiner, M. 3D spatial reconstruction of macroscopic austenite– martensite transition zones in NiTi wires induced by tension and twisting using diffraction/scattering computed tomography, *International Journal of Solids and Structures* 2021, Volume 228, Pages 111122-111137, doi: 10.1016/j.ijsolstr.2021.111122.
- [129] Yang, Y.; Wu, Z.G.; Shen, B.Y.; Wu, M.Z.; Yuan, Z.S.; Wang, C.Y.; Zhang, L.C. Graded functionality obtained in NiTi shape memory alloy via a repetitive laser processing strategy, *Journal of Materials Processing Technology* 2021, Volume 296, Pages 117177-117192, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2021.117177.
- [130] Liu, S.; Lin, Y.; Han, L.; Wang, X.; Zhao, G.; Wang, G. Atomistic simulation of microstructure evolution of NiTi single crystals in bending deformation, *Computational Materials Science* 2021, Volume 199, Pages 110733-11747, doi: 10.1016/j.commatsci.2021.110733.
- [131] Guo, S.; Wu, T.; Kwak, M.; Lu, W.; Ma, W.; Liu, Q.; Liu, H.; Meng, Q.; Liu, G.; Cheng, X.; Zhao, X. Achieving a combination of decent biocompatibility and large near-linear-elastic deformation behavior in shell-core-like structural TiNb/NiTi composite, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2021, Volume 123, Pages 104789-104798, doi: 10.1016/j.jmbbm.2021.104789.
- [132] Islam, Md.M.; Bayati, P.; Nematollahi, M.; Jahadkbar, A.; Elahinia, M.; Haghsheenas, M. Strain rate dependent micromechanical properties of NiTi shape memory alloys: Laser powder bed fusion versus casting, *Forces in Mechanics* 2021, Volume 5, Pages 100055-100062, doi: 10.1016/j.finmec.2021.100055.
- [133] Mehropouya, M.; Gisario, A.; Lavvafi, H.; Dehghanghadikolaei, Darafsheh, A. Chapter 8 - Laser welding of nickel-titanium (NiTi) shape memory alloys, Editor(s): J. Paulo Davim, Kapil Gupta, Kapil Gupta, J. Paulo Davim, In *Handbooks in Advanced Manufacturing, Advanced Welding and Deforming* 2021, Elsevier, Pages 203-230, doi: 10.1016/B978-0-12-822049-8.00008-6.
- [134] Lv, C.; Wang, G.; Zhang, X.; Luo, B.; Luo, N.; Wu, F.; Wu, H.; Tan, F.; Zhao, J.; Liu, C.; Sun, C. Spalling modes and mechanisms of shocked nanocrystalline NiTi

- at different loadings and temperatures, *Mechanics of Materials* 2021, Volume 161, Pages 104004-104015, doi: 10.1016/j.mechmat.2021.104004.
- [135] Owusu-Danquah, J.S.; Saleeb, A.F.; Soudah, M.A. Cyclic pseudoelastic training and two-way shape memory behavior of a NiTi alloy with small irrecoverable plastic strains: numerical modeling, *International Journal of Solids and Structures* 2021, Volumes 217–218, Pages 178-192, doi: 10.1016/j.ijsolstr.2021.02.005.
- [136] Varughese, K.; El-Hacha, R. Experimental free vibrations test of steel braced frames reinforced with NiTi shape memory alloy wires, *Structures* 2021, Volume 29, Pages 1165-1172, doi: 10.1016/j.istruc.2020.11.022.
- [137] Guo, S.; Zhang, H.; Chen, Y.; Liu, Q.; Wu, R.; Ma, W.; Liu, H.; Meng, Q.; Liu, G.; Cheng, X.; Zhao, X. A sandwich-structured Nb/NiTi composite with good biocompatibility, near-linear-elastic deformation and large elastic admissible strain, *Composites Part B: Engineering* 2021, Volume 207, Pages 108586-108593, doi: 10.1016/j.compositesb.2020.108586.
- [138] Marandi, L.; Sen, I. In-vitro mechanical behavior and high cycle fatigue characteristics of NiTi-based shape memory alloy wire, *International Journal of Fatigue* 2021, Volume 148, Pages 106226-106239, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2021.106226.
- [139] Khan, S.; Pydi, Y.S.; Prabu, M.; Palani, I.A.; Singh, P. Development and actuation analysis of shape memory alloy reinforced composite fin for aerodynamic application, *Sensors and Actuators A: Physical* 2021, Volume 331, Pages 113012-113021, doi: 10.1016/j.sna.2021.113012.
- [140] Sibirev, A.; Belyaev, S.; Resnina, N. The influence of counter-body stiffness on working parameters of NiTi actuator, *Sensors and Actuators A: Physical* 2021, Volume 319, Pages 112568-112573, doi: 10.1016/j.sna.2021.112568.
- [141] LePage, W.S.; Shaw, J.A.; Daly, S.H. Effects of texture on the functional and structural fatigue of a NiTi shape memory alloy, *International Journal of Solids and Structures* 2021, Volume 221, Pages 150-164, doi: 10.1016/j.ijsolstr.2020.09.022.
- [142] Chen, J.; Fang, C.; Wang, W.; Liu, Y. Variable-friction self-centering energy-dissipation braces (VF-SCEDBs) with NiTi SMA cables for seismic resilience, *Journal of Constructional Steel Research* 2020, Volume 175, Pages 106318-106333, doi: 10.1016/j.jcsr.2020.106318.
- [143] Cavaleiro, A.J.; Ramos, A.S.; Braz Fernandes, F.M.; Schell, N.; Vieira, M.T. Follow-up structural evolution of Ni/Ti reactive nano and microlayers during diffusion bonding of NiTi to Ti6Al4V in a synchrotron beamline, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 275, 2020, Pages 116354-116381, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2019.116354.
- [144] Zhao, W.; Lin, P.; Lin, T.; He, P.; Liu, Y.; Long, W.; Li, J. Low temperature joining of NiTi shape memory alloy with Au-Si isothermal solidification, *Journal of Manufacturing Processes* 2020, Volume 58, Pages 1034-1038, doi: 10.1016/j.jmapro.2020.09.007.
- [145] Yang, Z.; Wang, H.; Huang, y.; Ye, X.; Li, J.; Zhang, C.; Li, H.; Pang, B.; Tian, Y.; Huang, C.; Sun, G. Strain rate dependent mechanical response for monoclinic NiTi shape memory alloy: Micromechanical decomposition and model validation via neutron diffraction, *Materials & Design* 2020, Volume 191, Pages 108656 - 108671, doi: 10.1016/j.matdes.2020.108656.
- [146] Zhou, T.; Yu, C.; Kang, G.; Kan, Q.; Fang, D. A crystal plasticity based constitutive model accounting for R phase and two-step phase transition of polycrystalline NiTi shape memory alloys, *International Journal of Solids and Structures* 2020, Volumes 193–194, Pages 503-526, doi: 10.1016/j.ijsolstr.2020.03.001.

- [147] Varughese, K.; El-Hacha, R. Design and behaviour of steel braced frame reinforced with NiTi SMA wires, *Engineering Structures* 2020, Volume 212, Pages 110502-110511, doi: 10.1016/j.engstruct.2020.110502.
- [148] Xie, X.; Kang, G.; Kan, Q.; Yu, C. Phase-field theory based finite element simulation on thermo-mechanical cyclic deformation of polycrystalline superelastic NiTi shape memory alloy, *Computational Materials Science* 2020, Volume 184, Pages 109899-109914, doi: 10.1016/j.commatsci.2020.109899.
- [149] Wang, X.; Yu, J.; Liu, J.; Chen, L.; Yang, Q.; Wei, H.; Sun, J.; Wang, Z.; Zhang, Z.; Zhao, G.; Van Humbeeck, J. Effect of process parameters on the phase transformation behavior and tensile properties of NiTi shape memory alloys fabricated by selective laser melting, *Additive Manufacturing* 2020, Volume 36, Pages 101545-101559, doi: 10.1016/j.addma.2020.101545.
- [150] Lu, B.; Cui, X.; Jin, G.; Dong, M.; Fang, Y.; Wen, X.; Ma, W. Effect of La2O3 addition on mechanical properties and wear behavior of NiTi alloy fabricated by direct metal deposition, *Optics & Laser Technology* 2020, Volume 129, Pages 106290-106299, doi: 10.1016/j.optlastec.2020.106290.
- [151] Fu, J.; Hu, Z.; Song, X.; Zhai, W.; Long, Y.; Li, H.; Fu, M. Micro selective laser melting of NiTi shape memory alloy: Defects, microstructures and thermal/mechanical properties, *Optics & Laser Technology* 2020, Volume 131, Pages 106374-106385, doi: 10.1016/j.optlastec.2020.106374.
- [152] Ao, S.; Li, K.; Liu, W.; Qin, W.; Wang, T.; Dai, Y.; Luo, Z. Electrochemical micromachining of NiTi shape memory alloy with ethylene glycol-NaCl electrolyte containing ethanol, *Journal of Manufacturing Processes* 2020, Volume 53, Pages 223-228, doi: 10.1016/j.jmapro.2020.02.019.
- [153] Belyaev, S.; Resnina, N.; Rakhimov, T.; Andreev, V. Martensite stabilization effect in Ni-rich NiTi shape memory alloy with different structure and martensitic transformations, *Sensors and Actuators A: Physical* 2020, Volume 305, Pages 111911-111932, doi: 10.1016/j.sna.2020.111911.
- [154] Askari-Naeini, F.G.; Taghizadeh, M.; Mohri, M.; Nili-Ahmadabadi, M. On the microstructure and mechanical properties of a two-way shape memory NiTi/NiTiCu bi-layer diaphragm, *Materials & Design* 2020, Volume 188, Pages 108464-108485, doi: 10.1016/j.matdes.2019.108464.
- [155] Racek, J.; Šittner, P. Environmental fatigue of superelastic NiTi wire with two surface finishes, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2020, Volume 111, Pages 104028-104064, doi: 10.1016/j.jmbbm.2020.104028.
- [156] Ruvinov, I.; Zamani, N.; Zhou, N.Y.; Khan, M.Y. Novel laser processed shape memory alloy actuator design with an embedded strain gauge sensor using dual resistance measurements. Part II: Recurrent neural network-based position and force estimation, *Sensors and Actuators A: Physical* 2020, Volume 313, Pages 112188, doi: 10.1016/j.sna.2020.112188.
- [157] Freitas Rodrigues, P.; Braz Fernandes, F.M.; Magalhães, R.; Camacho, E.; Lopes, A.; Paula, A.S.; Basu, R.; Schell, N. Thermo-mechanical characterization of NiTi orthodontic archwires with graded actuating forces, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2020, Volume 107, Pages 103747-103754, doi: 10.1016/j.jmbbm.2020.103747.
- [158] Reis Barros, C.D.; Cunha Ponciano Gomes, J.A. Strain induced localized corrosion of NiTi, NiTiCo and NiTiCr alloys in 0.9% NaCl, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2020, Volume 112, Pages 104015-104043, doi: 10.1016/j.jmbbm.2020.104015.

-
- [159] Zhao, Y.; Li, J.; Guo, K.; Sivalingam, V.; Sun, J. Study on chip formation characteristics in turning NiTi shape memory alloys, *Journal of Manufacturing Processes* 2020, Volume 58, Pages 787-795, doi: 10.1016/j.jmapro.2020.08.072.
 - [160] Polatidis, E.; Šmíd, M.; Kuběna, I.; Hsu, W.N.; Laplanche, G.; Van Swygenhoven, H. Deformation mechanisms in a superelastic NiTi alloy: An in-situ high resolution digital image correlation study, *Materials & Design* 2020, Volume 191, Pages 108622-108632, doi: 10.1016/j.matdes.2020.108622.
 - [161] Ebrahimi, P.; Arghavani, Naghdabadi, R.; McGarry, J.P. On the effect of detwinning-induced plasticity in compressive cyclic loading of NiTi shape memory alloys, *Mechanics of Materials* 2020, Volume 148, Pages 103451-103494, doi: 10.1016/j.mechmat.2020.103451.
 - [162] Zeng, Z.; Oliveira, J.P.; Ao, S.; Zhang, W.; Cui, J.; Yan, S.; Peng, B. Fabrication and characterization of a novel bionic manipulator using a laser processed NiTi shape memory alloy, *Optics & Laser Technology* 2020, Volume 122, Pages 105876-105882, doi: 10.1016/j.optlastec.2019.105876.
 - [163] Schuleit, M.; Theren, B.; Maack, P.; Kuhlénkötter, B.; Esen, C. Investigation of minimal strokes of NiTi shape memory wires using laser activation, *Procedia CIRP* 2020, Volume 94, 2020, Pages 542-545, doi: 10.1016/j.procir.2020.09.179.
 - [164] Kaya, E.; Kaya, İ. Tool wear progression of PCD and PCBN cutting tools in high speed machining of NiTi shape memory alloy under various cutting speeds, *Diamond and Related Materials* 2020, Volume 105, Pages 107810-107820, doi: 10.1016/j.diamond.2020.107810.
 - [165] Schuleit, M.; Becher, M.; Franke, F.; Maaß, B.; Esen, C. Development of form-fit connection for NiTi shape memory wire actuators using laser processing, *Procedia CIRP* 2020, Volume 94, Pages 546-550, doi: 10.1016/j.procir.2020.09.180.
 - [166] Mingear, J.; Zhang, B.; Hartl, D.; Elwany, A. Effect of process parameters and electropolishing on the surface roughness of interior channels in additively manufactured nickel-titanium shape memory alloy actuators, *Additive Manufacturing* 2019, Volume 27, Pages 565-575, doi: 10.1016/j.addma.2019.03.027.
 - [167] Es-Souni, M.; Wassel, E.; Dietze, M.; Laghrissi, A.; Klöhn, F.; Weyrich, T.; Es-Souni, M. Processing of nanotubes on NiTi-shape memory alloys and their modification with photografted anti-adhesive polymer brushes. Towards smart implant surfaces, *Materials & Design* 2019, Volume 182, Pages 108031-108042, doi: 10.1016/j.matdes.2019.108031.
 - [168] Lin, H.C.; Chang, Y.L.; Han, Y.Y.; Yang, K.C.; Chen, M.K. Atomic Layer Deposited Al₂O₃ Films on NiTi Shape Memory Alloys for Biomedical Applications, *Procedia Manufacturing* 2019, Volume 37, Pages 431-437, doi: 10.1016/j.promfg.2019.12.070.
 - [169] Tsouknidas A., Michailidis N., Maliaris G., Makkar J., Baxevanis Th., Lagoudas D., A numerical study of “functional fatigue” of closed-cell NiTi shape memory foams, *Mechanics of Materials* 2019, Volume 131, Pages 11-21, doi: 10.1016/j.mechmat.2019.01.003.
 - [170] Dhala, S.; Mishra, S.; Tewari, A.; Alankar, A. Modeling of finite deformation of pseudoelastic NiTi shape memory alloy considering various inelasticity mechanisms, *International Journal of Plasticity* 2019, Volume 115, Pages 216-237, doi: 10.1016/j.ijplas.2018.11.018.
 - [171] Jayachandran, S.; Akash, K.; Mani Prabu, S.S.; Manikandan, M.; Muralidharan, M.; Brolin, A.; Palani, I.A. Investigations on performance viability of NiTi, NiTiCu, CuAlNi and CuAlNiMn shape memory alloy/Kapton composite thin film
-

- for actuator application, *Composites Part B: Engineering* 2019, Volume 176, Pages 107182-107205, doi: 10.1016/j.compositesb.2019.107182.
- [172] Li, X.; Chen, X.; Zhang, C.; Luo, J. Preparation of self-lubricating NiTi alloy and its self-adaptive behavior, *Tribology International* 2019, Volume 130, Pages 43-51, doi: 10.1016/j.triboint.2018.09.002.
- [173] Zhang, X.; Wei, L. Processing and damping capacity of NiTi foams with laminated pore architecture, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2019, Volume 96, Pages 108-117, doi: 10.1016/j.jmbbm.2019.04.036.
- [174] Boschetto, A.; Bottini, L.; Costanza, G.; Tata, M.E. Shape Memory Activated Self-Deployable Solar Sails: Small-Scale Prototypes Manufacturing and Planarity Analysis by 3D Laser Scanner. *Actuators* 2019, Volume 8, Pages 38-48, doi: 10.3390/act8020038.
- [175] Chen, L.; Li, Y.; Xiao, B.; Zheng, O.; Gao, Y.; Zhao, S.; Wang, Z. First-principles calculation on the adhesion strength, fracture mechanism, interfacial bonding of the NiTi (111)// α -Al₂O₃ (0001) interfaces, *Materials & Design* 2019, Volume 183, Pages 108119-108133, doi: 10.1016/j.matdes.2019.108119.
- [176] Panton, B.; Michael, A.; Zhou, Y.N.; Khan, M.Y. Effects of post-processing on the thermomechanical fatigue properties of laser modified NiTi, *International Journal of Fatigue* 2019, Volume 118, Pages 307-315, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2017.11.012.
- [177] Lesota, A.; Sibirev, A.; Rubanik, V.; Rubanik, V.; Resnina, N.; Belyaev, S. Initiation of the shape memory effect by temperature variation or ultrasonic vibrations in the NiTi shape memory alloy after different preliminary deformation, *Sensors and Actuators A: Physical* 2019, Volume 286, Pages 1-3, doi: 10.1016/j.sna.2018.12.016.
- [178] Chen, Y.; Tyc, O.; Kadeřávek, L.; Molnárová, O.; Heller, L.; Šittner, P. Temperature and microstructure dependence of localized tensile deformation of superelastic NiTi wires, *Materials & Design* 2019, Volume 174, Pages 107797-107851, doi: 10.1016/j.matdes.2019.107797.
- [179] Knick, C.R.; Smith, G.L.; Morris, C.J.; Bruck, H.A. Rapid and low power laser actuation of sputter-deposited NiTi shape memory alloy (SMA) MEMS thermal bimorph actuators, *Sensors and Actuators A: Physical* 2019, Volume 291, Pages 48-57, doi: 10.1016/j.sna.2019.03.016.
- [180] Heller, L.; Šittner, P.; Sedlák, P.; Seiner, H.; Tyc, O.; Kadeřávek, L.; Sedmák, P.; Vronka, M. Beyond the strain recoverability of martensitic transformation in NiTi, *International Journal of Plasticity* 2019, Volume 116, Pages 232-264, doi: 10.1016/j.ijplas.2019.01.007.
- [181] Fazeli, S.; Sadrnezhaad, S.K. Molecular dynamics simulation of plastic deformation and interfacial delamination of NiTi/Ag bilayer by cyclic-nanindentation: Effects of crystallographic orientation of substrate, *Computational Materials Science* 2019, Volume 168, Pages 229-245, doi: 10.1016/j.commatsci.2019.05.032.
- [182] Ponikarova, I.; Belyaev, S.; Resnina, N. Degradation of two-way shape memory effect due to the relaxation of internal oriented stress in NiTi alloy on holding at 640÷700 K, *Mechanics of Materials* 2019, Volume 138, Pages 103174-103179, doi: 10.1016/j.mechmat.2019.103174.
- [183] Ainslie, K.; Knick, C.; Smith, G.; Li, J.; Troxel, C.; Mehta, A.; Kukreja, R. Controlling shape memory effects in NiTi thin films grown on Ru seed layer, *Sensors and Actuators A: Physical* 2019, 2019, Volume 294, Pages 133-139, doi: 10.1016/j.sna.2019.04.047.
- [184] Gédouin, P.A.; Pino, L.; Chirani, S.A.; Calloch, S.; Delaleau, E.; Bourgeot, M.J. R-phase shape memory alloy helical spring based actuators: Modeling and

-
- experiments, *Sensors and Actuators A: Physical* 2019, Volume 289, Pages 65-76, doi: 10.1016/j.sna.2019.02.024.
- [185] Mani Prabu, S.S.; Perugu, C.S.; Madhu, H.C.; Jangde, A.; Khan, S.; Jayachandran, S.; Manikandan, M.; Ajay Kumar, P.; Kailas, S.V.; Palani, I.A. Exploring the functional and corrosion behavior of friction stir welded NiTi shape memory alloy, *Journal of Manufacturing Processes* 2019, Volume 47, Pages 119-128, doi: 10.1016/j.jmapro.2019.09.017.
- [186] Cernușcă, D.; Milici, D.L.; Poienar, M. Development of special actuators using smart materials, 2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE) 2018, Pages 567-570, doi: 10.1109/ICEPE.2016.7781404.
- [187] Lee, K.J.; Lee, J.H.; Jung, C.Y.; Choi, E. Crack-closing performance of NiTi and NiTiNb fibers in cement mortar beams using shape memory effects, *Composite Structures* 2018, Volume 202, Pages 710-718, doi: 10.1016/j.compstruct.2018.03.080.
- [188] Mehrpouya, M.; Gisario, A.; Elahinia, M. Laser welding of NiTi shape memory alloy: A review, *Journal of Manufacturing Processes* 2018, Volume 31, Pages 162-186, doi: 10.1016/j.jmapro.2017.11.011.
- [189] Ammar, O.; Dieng, L.; Haddar, N. Modeling of strain rate effect on the pseudoelastic behavior of NiTi SMA using a simple thermomechanical coupling model, *Mechanics of Materials* 2018, Volume 124, Pages 7-17, doi: 10.1016/j.mechmat.2018.05.004.
- [190] Mehrpouya, M.; Gisario, A.; Brotzu, A.; Natali, S. Laser welding of NiTi shape memory sheets using a diode laser, *Optics & Laser Technology* 2018, Volume 108, Pages 142-149, doi: 10.1016/j.optlastec.2018.06.038.
- [191] Solomou, A.; Zhao, G.; Boluki, S.; Joy, J.K.; Qian, X.; Karaman, I.; Arróyave, R.; Lagoudas, D.C. Multi-objective Bayesian materials discovery: Application on the discovery of precipitation strengthened NiTi shape memory alloys through micromechanical modeling, *Materials & Design* 2018, Volume 160, Pages 810-827, doi: 10.1016/j.matdes.2018.10.014.
- [192] Toader, V.E.; Milici, L.D.; Ungureanu, C.; Bejenar, C.; **Grosu, O.V.** Analysis of a Low-Speed Drive System Using Intelligent Materials. *Actuators* 2022, Volume 11, Pages 10-31, doi: 10.3390/act11010010.
- [193] Toader, V.E.; Poienar, M.; Cernușcă, D.; Study of smart materials used in the development of new types of electro and thermomechanical actuators, *Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor* 2019, Pages 134-137, Moldova.
- [194] Romanescu, A.N.; Poienar, M.; Cenușă, M.; Nițan, I. Performance analysis of a linear heliothermic actuator, *International Conference on Modern Power Systems (MPS)* 2017, Pages 1-4, doi: 10.1109/MPS.2017.7974424.
- [195] Cernușcă, D.; Milici D.L.; Poienar, M. Researches on the Realization of a Electromechanical Micropump, 2018 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE) 2018, Pages 0270-0273, doi: 10.1109/ICEPE.2018.8559774.
- [196] Cernușcă, D.; Milici D.L.; Ungureanu, C. Theoretical and experimental contribution of using special actuators and materials with shape memory, 2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE) 2016, Pages 171-174, doi: 10.1109/ICEPE.2016.7781327.
- [197] Cernușcă, D.; Milici, D.L.; Pentiuc, R.D.; Hopulele, E. Research on the Realization of a Nitinol Clutch Type Thermocouple," 2020 International Conference and
-

Capitolul VII CONCLUZII ALE CONTRIBUȚIILOR TEORETICE ȘI
EXPERIMENTALE PRIVIND DEZVOLTAREA UNOR
MOTOARE ȘI ACTUATOARE FOLOSITE ÎN ENERGETICĂ

- Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE) 2020, Pages 078-081, doi:10.1109/EPE50722.2020.9305631.
- [198] Toader, V.E.; Bejenar, C.; Paval, M.; Cernușcă D.; **Grosu, O.V.** Considerations Regarding a Nitinol (Ni-Ti)-operated Micropump, 2021 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE) 2021, Pages 1-4, doi: 10.1109/ICATE49685.2021.9464982.
- [199] Cernușcă, D.; Milici, D.L.; Pavăl, M.; Hopulele, E.; Toader, E.V.; Cernușcă, P. Design, Implementation and Testing of a Locking System, 2021 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE) 2021, Pages 1-4, doi: 10.1109/ICATE49685.2021.9464992.

Capitolul III.
CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE
PRIVIND TESTAREA MATERIALELOR POLIMERICE
ÎN CONSTRUCȚIA ACTUATOARELOR

- [200] Osswald, T.A.; Baur, E.; Brinkmann, S.; Oberbach, K.; Schmachtenberg, E. *International plastics handbook. The resource for plastics engineers. Materials science of polymers.* Pages: 17-61, Doi: 10.3139/9783446407923.002, Print ISBN: 978-3-446-22905-1, eISBN: 978-3-446-40792-3, 2006.
- [201] Klemppner, D.; Frisch, K.C. *Handbook of and Foam Technology.* Hanser Publishers, Pages: 18-25, 1993, Doi: 10.1002/polb.1993.090310720.
- [202] You, T.L.; Philamore, H.; Matsuno, F. *A Magneto-Active Elastomer Crawler with Peristaltic and Caterpillar Locomotion Patterns.* Actuators 2021, Volume 10, Issue 4, Page 74. doi: 10.3390/act10040074.
- [203] Wang, Y.; Sugino, T. *Ionic Polymer Actuators: Principle, Fabrication and Applications.* Actuators, 2018, capitolul 3, Paginile: 39 - 56, DOI: 10.5772/intechopen.75085.
- [204] Ionescu, N. MINISTERUL CERCETĂRII, INOVĂRII ȘI DIGITALIZĂRII, Direcția Comunicare, Transparență și Dialog Social. Buletin Informativ numărul 29, 2022.
- [205] Cernomazu, D.; Romaniuc, I.; Rață, M.; Milici, L.D.; Milici, M.R.; Nițan, I.; Olariu, E.D.; Ungureanu, C.; Poienar, M. *Vibromotor cu polimeri electrostrictivi și sens de rotație reversibil.* Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00771 din 24.10.2013, O.S.I.M. București.
- [206] Cernomazu, D.; Romaniuc, I.; Rață, M.; Milici, L.D.; Milici, M.R.; Nițan, I.; Olariu, E.D.; Ungureanu, C. *Vibromotor trifazat cu polimeri electrostrictivi.* Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00770 din 24.10.2013, O.S.I.M. București.
- [207] Cernomazu, D.; Romaniuc, I.; Rață, M.; Milici, L.D.; Milici, M.R.; Nițan, I.; Olariu, E.D.; Ungureanu, C. *Vibromotor cu polimeri electrostrictivi.* Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00773 din 24.10.2013, O.S.I.M. București.
- [208] Cernomazu, D.; Romaniuc, I.; Rață, M.; Milici, L.D.; Milici, M.R.; Nițan, I.; Olariu, E.D.; Ungureanu, C.; Poienar, M. *Vibromotor monofazat cu polimeri electrostrictivi.* Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00772 din 24.10.2013, O.S.I.M. București.
- [209] Cernomazu, D.; Nițan, I.; Milici, M.R.; Milici, L.D.; Romaniuc, I.; Ungureanu, C.; Olariu, E.D.; Țanța, O. *Micromotor electrochimic pe bază de polimeri conductivi.* Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00798 din 04.11.2013, O.S.I.M. București.

CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA UNOR MOTOARE ȘI ACTUATOARE FOLOSITE ÎN ENERGETICĂ

- [210] Cernomazu, D.; Nițan, I.; Milici, M. R.; Milici, L.D.; Romaniuc, I.; Țanța, O.; *Micromotor electrochimic cu polimeri electrostrictivi*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00801 din 04.11.2013, O.S.I.M. București.
- [211] Nițan, I.; Mandici, L.; Milici, M.R.; Milici, L.D.; Romaniuc, I.; Ungureanu, C.; Olariu, E.D.; Țanța, O.; Poienar, M. *Micromotor pas cu pas realizat cu gel polimeric*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00799 din 04.11.2013, O.S.I.M., București.
- [212] Cernomazu, D.; Nițan I.; Milici, M.R.; Milici, L.D.; Romaniuc, I.; Ungureanu, C.; Olariu, E.D.; Țanța, O.; *Micromotor cu gel polimeric și rotor excentric*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00797 din 04.11.2013, O.S.I.M. București.
- [213] Cernomazu, D.; Nițan, I.; Milici, M. R.; Milici, L.D.; Romaniuc, I.; Țanța, O.; *Motor electrochimic cu rotor excentric*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00804 din 04.11.2013, O.S.I.M. București.