

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlu de manuscris

C.Z.U.: 004.2/004.3

CALMÎCOV IGOR

**SOLUȚII ÎNCORPORATE PENTRU SISTEME DE MĂSURARE ȘI
CONTROL ÎN PRODUCEREA ȘI APLICAREA MICROFIRELOR**

**232.01 – SISTEME DE CONDUCERE, CALCULATOARE ȘI REȚELE
INFORMAȚIONALE**

Autoreferatul tezei de doctor în științe tehnice

CHIȘINĂU, 2018

Teza a fost elaborată în cadrul Catedrei Calculatoare, FCIM al UTM.

Conducător științific:

Sergiu Zaporojan, doctor în științe tehnice, conferențiar universitar, UTM.

Referenți oficiali:

Sidorencu Anatol, acad. AȘM, dr. hab., prof. univ., Institutul de Inginerie Electronică și Nanotehnologii “D. Ghițu”, director.

Secrieru Nicolae, doctor în științe tehnice, conferențiar universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei.

Componența Consiliului Științific Specializat:

Bolun Ion, **președinte,** doctor habilitat în științe tehnice, profesor universitar, Academia de Studii Economice a Moldovei.

Fiodorov Ion, **secretar științific,** doctor în informatică, conferențiar universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei.

Guțuleac Emilian, doctor habilitat în științe tehnice, profesor universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei.

Rusu Emil, doctor habilitat în științe tehnice, Academia de Științe a Moldovei.

Căpățînă Gheorghe, doctor inginer, profesor universitar, Universitatea de Stat a Moldovei.

Moraru Vasile, doctor în științe fizico-matematice, conferențiar universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei.

Avram Ion, doctor în științe tehnice, conferențiar universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei.

Susținerea va avea loc la 21.06.2018, ora 15⁰⁰, în Ședința Consiliului Științific Specializat D 31.232.01-02 din cadrul Universității Tehnice a Moldovei pe adresa: str. Studenților 9/7, blocul de studii Nr.3, aud. 208, MD 2045, Chișinău, Republica Moldova.

Teza de doctor și autoreferatul pot fi consultate la Biblioteca tehnico-științifică a Universității Tehnice a Moldovei și pagina web a CNAA (www.cnaa.md).

Autoreferatul a fost expediat la „_____” _____ 2018

Secretar științific al Consiliului Științific Specializat,

Fiodorov Ion, dr. în informatică, conf. univ.,

Conducător științific,

Zaporojan Sergiu, dr. în șt. tehnice, conf. univ.

Autor

Calmîcov Igor



Repere conceptuale ale cercetării

Actualitatea temei. La ora actuală, în lume se remarcă un interes sporit față de nanotehnologii. În particular, se manifestă un interes special față de producerea și aplicarea microfiredelor magnetice. Aplicațiile mai mult sau mai puțin tradiționale sunt completate cu noi aplicații de perspectivă. De exemplu, o aplicare avansată ține de obținerea compozitelor ternare, care încorporează senzori magnetici pe baza microfiredelor magnetice într-o matrice de biopolimer, înglobate pe suport de hârtie. Senzorii trebuie să codifice o informație cât mai amplă, pentru ca în cazul unor utilizări în tehnica ambalajului, a etichetării sau a hârtiei securizate să facă cât mai dificile încercările de falsificare. Aria de aplicații fiind în creștere, cresc cerințele față de caracteristicile electromagnetice și geometrice ale microfiredului. În context mai larg în vizer este reducerea costurilor producției și creșterea productivității. În mod deosebit, accentul se pune pe calitatea microfiredului obținut fie în condiții de laborator, fie în condiții de producere industrială. Rezultă actualitatea și necesitatea de a crește eficiența sistemelor de producție a microfiredului și calitatea produsului finit pentru a satisface cerințelor aplicative.

Aria de aplicații fiind în creștere, cresc cerințele față de caracteristicile electromagnetice și geometrice ale microfiredului. În context mai larg în vizer este reducerea costurilor producției și creșterea productivității. În mod deosebit, accentul se pune pe calitatea microfiredului obținut fie în condiții de laborator, fie în condiții de producere industrială. De aici rezultă actualitatea și necesitatea de a spori eficiența sistemelor de producție a microfiredului și calitatea produsului finit pentru a satisface cerințelor aplicative.

Problematica domeniului cercetat în teză poate fi divizată în două categorii:

- fabricarea și controlul calității microfiredelor magnetice;
- dezvoltarea de aplicații noi în bază de microfired magnetice.

Ambele aspecte sunt extrem de importante, pe lângă aceasta fiind și strâns interconectate. În acest sens trebuie abordate tehnologiile inovative bazate pe inteligența artificială, care sunt cruciale pentru a asigura competitivitatea unei economii.

Procesul tehnologic de turnare a microfiredului se caracterizează printr-un nivel de complexitate extrem de ridicat. Procesul respectiv reprezintă o îmbinare de procese mecanice, termice, electrodinamice, transformări și interacțiuni fizico-chimice. Dat fiind gradul înalt de complexitate și incertitudine, crearea unui model matematic complet și adecvat pentru automatizarea procesului de turnare a microfiredului reprezintă o problemă extrem de dificilă. Se poate presupune că abordarea fizico-matematică pură a procesului tehnologic în cauză nu reprezintă o soluție viabilă practic.

Având în vedere cele expuse pe de o parte, rolul și ponderea în creștere a sistemelor încorporate inteligente pentru aplicații industriale pe de altă parte, se poate constata actualitatea și importanța efectuării lucrărilor de cercetare-dezvoltare și implementare a unor soluții avansate pentru modelarea procesului tehnologic de turnare a microfiredului prin metoda Ulitovsky-Taylor, caracterizarea și controlul parametrilor microfiredului atât în faza de producere, cât și la etapa de control a calității produsului finit. Totodată, este actuală și elaborarea de noi sisteme/dispozitive

încorporate pentru cercetarea și dezvoltarea de noi aplicații pe baza microfiredelor cu înveliș din sticlă.

Descrierea situației în domeniul de cercetare. Domeniul de cercetare include studiul aspectelor teoretice și practice ale modelării și controlului procesului tehnologic de turnare a microfiredelor prin metoda Taylor-Ulitovsky, construirii sistemelor de suport decizional în sisteme de producție industrială cu grad înalt de incertitudine și aplicării materialelor avansate.

Scopul lucrării constă în elaborarea și dezvoltarea unor noi soluții tehnico-științifice pentru sporirea eficienței sistemelor de producție industrială a microfiredelor cu înveliș din sticlă, controlul calității microfiredelor turnate și dezvoltarea de aplicații avansate cu microfir.

Din scopul propus rezultă următoarele **obiective ale cercetării**:

- Analiza particularităților procesului tehnologic de turnare a microfiredelor prin metoda Taylor-Ulitovsky și determinarea aspectelor cu impact major asupra eficienței sistemelor de producție.
- Cercetarea și dezvoltarea unor noi modele, algoritmi și metode pentru sisteme inteligente de comandă și control a procesului de turnare a microfiredelor.
- Dezvoltarea unei platforme tehnologice de achiziție și analiza datelor privind evoluția procesului de turnare a microfiredelor.
- Proiectarea și elaborarea sistemelor/dispozitivelor încorporate pentru caracterizarea microfiredelor magnetice și suport decizional în controlul calității produsului finit.
- Cercetarea spectrului de aplicații avansate cu microfiredede magnetice și dezvoltarea instrumentelor de suport tehnico-științific.
- Implementarea rezultatelor obținute.

Metodologia cercetării științifice se bazează pe analiza matematică, teoria algoritmilor, teoria mulțimilor vagi, tehnicile achiziției de date și „machine vision”, recunoașterea formelor, teoria circuitelor și tehnologii de programare orientate pe obiecte.

Noutatea și originalitatea științifică constă în propunerea a noi modele și tehnici pentru comanda și controlul inteligent a procesului de turnare a microfiredelor, cu posibilitatea de a urmări și de a estima parametrii capilarului în condiții operaționale. Originalitatea soluțiilor propuse constă în îmbinarea tehnicilor machine vision cu cele inteligente, care permit comanda și controlul procesului în regim de predicție a evoluției acestuia în timp real.

Problema științifică soluționată rezidă în elaborarea unui model original de estimare în timp real a formei geometrice a capilarului caracteristic procesului de turnare a microfiredelor prin metoda Ulitovsky-Taylor, fapt care a condus la dezvoltarea unei abordări predictive în comanda și controlul procesului respectiv, cu posibilitatea de creștere a calității microfiredelor turnat.

Semnificația teoretică a lucrării o constituie propunerea soluțiilor inovative care pot servi la „extragerea cunoștințelor” operatorului uman de calificare foarte înaltă. Experiența și cunoștințele extrase pot fi acumulate în timp real, formând astfel o bază de cunoștințe. Implementarea modelului propus presupune dezvoltarea unui algoritm de autoînvățare online pentru completarea și/sau modificarea bazei de cunoștințe. De asemenea, devine posibilă

dezvoltarea strategiilor de luare a deciziilor pentru implementare la nivelul motorului de inferență al sistemului de comandă și control.

Rezultatele teoretice ale cercetării pot fi aplicate în dezvoltarea unor tehnologii de control și monitorizare bazate pe tehnici senzoriale la distanță.

Valoarea aplicativă. Platforma tehnologică încorporată pentru achiziția, procesarea și analiza datelor privind evoluția procesului de turnare a microfirului a deschis posibilitatea de a continua cercetările în direcția optimizării sistemului de producție în cadrul întreprinderii „Microfir Tehnologii Industriale” SRL din Chișinău.

În premieră a fost proiectat, confecționat și implementat un sistem informațional de măsurare a parametrilor microfiredelor magnetice, care reprezintă un instrument de suport decizional în procesul de control a calității microfiredelor, permițând factorilor de decizie analiza și corecția procesului tehnologic în timp real. Sistemul elaborat permite măsurarea forței coercitive și a diametrului, respectiv monitorizarea calității prin rebobinarea și scanarea discretă a microfirului. Datele achiziționate se afișează sub formă numerică și grafică, iar informația statistică ce conține parametrii, compoziția aliajului, codul operatorului și a instalației pe care a fost turnat microfirul se stochează în baza de date a sistemului. Baza de date poate fi utilizată pentru atestarea calității microfiredelor la furnizare către beneficiar.

Au fost elaborate și confecționate o serie de dispozitive încorporate pentru caracterizarea microfiredelor magnetice cu înveliș din sticlă, care permit cercetarea și dezvoltarea unor aplicații de vîrf, inclusiv în domeniul protecției documentelor și a hîrtilor de valoare.

Valoarea aplicativă a lucrării se confirmă inclusiv prin 2 acte de implementare a rezultatelor obținute.

Rezultatele științifice înaintate spre susținere:

1. Algoritmi de procesare a imaginii picăturii și metodă de extragere a datelor relevante pentru aproximarea conturului.
2. Model de aproximare a formei picăturii în timp real.
3. Model fuzzy pentru comanda și controlul procesului de turnare a microfirului.
4. Platformă tehnologică încorporată de achiziție și analiza datelor privind evoluția procesului de turnare a microfirului.
5. Sistem informațional de măsurare a parametrilor microfiredelor magnetice și suport decizional în procesul de producție industrială.
6. Soluții inovative încorporate pentru cercetarea și dezvoltarea aplicațiilor avansate cu microfiredede magnetice.

Implementarea rezultatelor științifice. Modelele și sistemele elaborate sunt utilizate în cadrul companiei “Microfir Tehnologii Industriale” S.R.L. Valoarea aplicativă a lucrării se confirmă inclusiv prin 2 acte de implementare a rezultatelor obținute.

Aprobarea rezultatelor cercetărilor. Aprobarea rezultatelor lucrării. Rezultatele principale ale lucrării au fost prezentate la 25 foruri științifice (congrese, conferințe, saloane ale cercetării și inovării) din care vom menționa:

- International workshop on magnetic wires IWMW-2008, May 8-10, 2008, Zumaia, Spain.
- International Congress of Cybernetics and Systems of WOSC, Sep. 9 - 12, 2008, Wroclaw, Poland.
- International Conference on Systems Science ICSS-2010,
- Sep. 14 - 16, 2010, Wroclaw, Poland.
- European Exhibition of Creativity and Innovation – EUROINVENT 2011, May 12-14, 2011, Iasi, Romania.
- International Conference “Modelling and Development of Intelligent Systems” MDIS-2011, Sep. 29 - Oct. 02, 2011, Sibiu, Romania.
- European Exhibition of Creativity and Innovation – EUROINVENT 2012, May 10-12, Iasi, 2012, Romania.
- International Exhibition of Research, Innovation and Technological Transfer „INVENTICA 2012”, June 13-15, 2012, Iasi, Romania.
- Байкальская Международная конференция, Сентябрь 21-25, 2012, Иркутск, Россия.
- International Salon of Inventions and New Technologies „New Time”, Sep. 27-29, 2012, Sevastopol, Ukraine.
- International Warsaw Invention Show – IWIS 2012, October 16-19, 2012, Warsaw, Poland.
- Conferința Națională de Interacțiune Om-Calculator ROCHI 2013, Sept. 2-3, 2013, Cluj-Napoca, România.
- International Invention Show INOVA 2013, Nov. 12-17, 2013, Zagreb, Croatia.
- Salonul Internațional al Cercetării, Inovării și Inventicii PRO INVENT 2014, 19-21 martie 2014, Cluj-Napoca, România.
- Московский Международный Салон изобретений и инновационных технологий АРХИМЕД 2014, 1-4 апр. 2014, Москва, Россия.
- European Exhibition of Creativity and Innovation EUROINVENT-2014, May 22-24, 2014, Iasi, Romania.
- Moscow International Symposium on Magnetism MISM-2014, 29 June-3 July, 2014, Moscow, Russia.
- International Exhibition of Research, Innovation and Technological Transfer “Inventica 2014”, 2-4 July, 2014, Iasi, Romania.
- International Conference on Microelectronics and Computer Science ICMCS-2014, 22-25 October, 2014, Chișinău, Moldova.
- Salonul Internațional al Cercetării, Inovării și Inventicii PRO INVENT 2015, 25-27 martie 2015, Cluj-Napoca, România.
- Expoziția Internațională Specializată INFOINVENT 2015, 25-28 noiembrie 2015, Chișinău, Moldova.

Publicații la tema tezei. La tema tezei au fost publicate 33 lucrări științifice (dintre care 5 fără coautori) cu un volum total de 2,96 coli de tipar, inclusiv 2 capitole în culegeri internaționale editate în SUA și indexate în baza de date SCOPUS, 2 articole publicate în reviste cu recenzii. Au fost obținute 11 medalii de aur, argint și bronz, 1 premiu special, 12 diplome. Au fost depuse la AGEPI și obținute 2 brevete de invenție.

Volumul și structura tezei. Teza este compusă din introducere, patru capitole, concluzii finale, bibliografie (134 titluri) și 8 anexe. Conținutul de bază al tezei este expus pe 110 pagini, inserează 52 figuri și 3 tabele.

Cuvinte-cheie: sisteme încorporate, microfibre, sisteme de suport decizional, sisteme de control, procesarea imaginilor, machine vision.

CONȚINUTUL TEZEI

În **Introducere** este prezentată argumentarea și actualitatea temei de cercetare. Este formulat scopul și sarcinile cercetării, sunt prezentate domeniul și obiectivele cercetării, elementele de noutate științifică a rezultatelor obținute, este prezentată semnificația teoretică și valoarea aplicativă a domeniului de studiu.

În **primul capitol**, *Analiza situației în domeniul sistemelor de producere a microfivelor*, sunt prezentate date cu privire la tehnici și tehnologii de turnare a microfivelor, este descrisă instalația de turnare a microfivelor prin metoda Taylor-Ulitovsky și elementele cheie ale obiectului tehnologic. Tehnica Taylor-Ulitovsky este folosită pentru fabricarea microfivelor acoperite cu sticlă bazată pe turnarea directă din picătura de aliaj [1,2]. Structura unei astfel de instalații este prezentată în Figura 1.

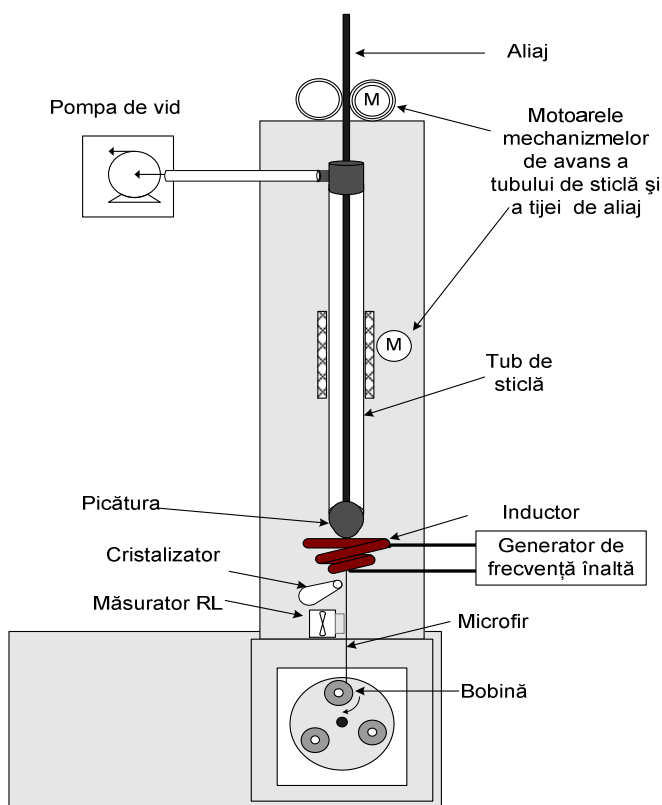


Fig. 1. Structura instalației de turnare a microfivelor

Tija de aliaj cu compoziția respectivă este pusă într-un tub de sticlă pirex și plasat într-un încălzitor inductiv de înaltă frecvență. Aliajul este încălzit până la punctul său de topire, formând o picătură (topitură). În timp ce metalul se topește, porțiunea tubului de sticlă adiacentă metalului se înmoaie, învelind/înfășurând picătura de metal. Un capilar de sticlă este apoi extras de operator din porțiunea de jos a tubului și înfășurat pe o bobină ce se rotește. Rotindu-se bobina

(receptorului) trage în continuu acest capilar, ce se umple cu metal din picătura. La fel bobina se deplasează linear de-a lungul său ce permite aranjarea microfirului pe ea uniform cu un pas dorit. Viteza de rotire a bobinei este setată de operator și permite reglarea grosimii a capilarului.

Din punct de vedere constructiv instalația de turnare a microfiredorilor este formată din următoarele blocuri/mecanisme:

- Generator de câmp magnetic pentru topirea aliajului. Acest generator produce un câmp magnetic de frecvență 144 kHz și putere cuprinsă între 3...7 kW.
- Mecanismul de avans a tubului din sticlă care deplasează tubul pe axa verticală. Viteza de deplasare a tubului influențează la grosimea învelișului din sticlă.
- Mecanismul de avans a tije de aliaj – se folosește doar în cazul procesului continuu de tragere a microfiredorilor de lungimi mari, atunci când este nevoie de alimentat în continuu picătura cu aliaj.
- Mecanismul de bobinare – este format din trei bobine motorizate pe care se bobinează microfirul și mecanismul de deplasare a acestor bobine de-a lungul axei lor, care permite aranjarea uniformă microfirului pe bobină cu pasul necesar. Mai multe bobine în bloc sunt necesare pentru a putea trece în timpul procesului de pe o bobină la alta fără necesitatea de a opri procesul. Aceasta permite de a lansa procesul folosind o bobină-ciornă, și când procesul se stabilizează de a trece la o altă bobină, pe care deja se va obține microfirul de calitate necesară.
- Pompa de vid – care formează vid în interiorul tubului de sticlă pentru menținerea picăturii în poziția optimală.

Grosimea stratului de sticlă a capilarului este echilibrată prin alimentarea continuă a tubului de sticlă prin zona inductorului. Avansul tubului se face cu ajutorul unui motor, iar viteza de deplasare la fel poate fi reglată de operator.

Alimentarea cu aliaj depinde de lungimea microfirului dorit. Pentru bobine de microfir cu lungimea de 500...1000 metri alimentarea se face o singură dată la începutul procesului. În caz că este nevoie de microfiredori cu lungimea mai mare (2..10 km) alimentarea cu aliaj trebuie făcută pe durata întregului proces. Inițial topitura este formată de către operator, topind o tijă din partea de jos, iar apoi picătura este alimentată din partea de sus cu o tijă de aliaj introdusă în tubul de sticlă. În timpul procesului această tijă este deplasată foarte lent în jos cu ajutorul unui mecanism motorizat. Odată ce vârful tije intră în contact cu partea de sus a picăturii el se topește, și menține constantă dimensiunea picăturii.

Ca picătura să nu cadă din câmpul inductorului în tubul de sticlă se formează vid cu ajutorul unei pompe de aer. Variind presiunea în tub operatorul poate schimba poziția picăturii pe axa verticală, menținând-o în poziția optimală față de inductor. Presiunea în tubul de sticlă joacă un rol foarte important, deoarece o mică schimbare a vidului duce la modificarea poziției picăturii față de câmpul magnetic și ca rezultat se schimbă temperatura și forma ei.

Înainte de bobinare microfirul trece printr-un jet de apă sau ulei care joacă rolul de *Cristalizator*, răcind brusc învelișul din sticlă și miezul de metal. Astfel în microfir se formează stresul rezidual care determină proprietățile magnetice.

Poziția jetului de apă a cristalizatorului, viteza de bobinare, puterea generatorului de câmp magnetic, cât și presiunea aerului în tub (nivelului de vid) formează mecanismul/organele de control a procesului. Operatorul, variind acești parametri poate modifica mersul procesului cu scopul de a obține microfibrele cu diametrul prestabilit.

Automatizarea acestui proces și eliminarea factorului uman reprezintă un obiectiv final. În această direcție au fost făcute mai multe încercări de a elabora diverse modele matematice, inclusiv de a descrie geometria picăturii în procesul de turnare a microfibrilor [4-6]. În lucrarea [4] se conține descrierea detaliată a unui model matematic pentru exprimarea într-o formă foarte generală și cu multiple constrângeri a geometriei picăturii, folosind ecuațiile Navier-Stokes. Dar deoarece procesul este destul de complicat, asupra formei picăturii influențează o mulțime de factori pe care este imposibil de luat în considerație.

Pentru caracterizarea microfibrilor în procesul de fabricare și postfabricare este nevoie de metode și mijloace speciale. În dependență de tipul microfibrilor și domeniul de aplicare se dorește de a măsura următoarele valori:

- Rezistența lineară - Rl
- Forța coercitivă - Hc
- Diametrul miezului - Dw , grosimea învelișului de sticlă - Dg .

Rezistența lineară se măsoară prin metoda noncontact în timpul turnării acestuia. Pentru anumite aliaje neferomagnetice rezistența este proporțională cu diametrul miezului. Aceasta permite controlul diametrului microfibrului în timpul procesului de fabricare prin măsurarea și control a rezistenței lineare. Problema măsurării rezistenței constă în faptul că această măsurare se poate face cu o eroare acceptabilă doar pentru microfibre cu diametrul miezului relativ mic – 5.. 50 μm și pentru anumite aliaje cu caracter rezistiv. Pentru microfibre cu diametru mai mare dar și pentru microfibre cu proprietăți magnetice, această metodă de caracterizare devine practic inaplicabilă. Forța coercitivă este un parametru de bază ce caracterizează microfibre magnetice. Acest parametru este influențat inclusiv de grosimea învelișului de sticlă. Odată cu apariția noilor aplicații (sisteme de identificare și protecție, materiale de absorbție a undelor RF, microsenzori, etc.) necesitatea în astfel de microfibre se află într-o continuă creștere. Tot odată apare necesitatea de a produce noi tipuri de microfibre cu caracteristici și comportament specific. Pentru măsurarea forței coercitive este necesar de elaborat aparataj special. Măsurarea forței coercitive direct pe instalație este complicată de mai mulți factori. În primul rând zgomotul electromagnetic produs de generatorul inductiv de putere, care topește aliajul, influențează mult senzorii de măsurare. În al doilea rând pentru a măsura forța coercitivă este nevoie ca microfibrul să treacă printr-o bobină de excitație și bobină senzor. Trecerea microfibrului prin interiorul bobinei clasice tehnologic este imposibil, luând în considerație specificul începerii unui proces de turnare. O alternativă poate fi utilizarea unui senzor cu construcție specială, la baza cărui stă o bobină cu nucleul deschis. O altă problemă care nu permite măsurarea forței coercitive în timpul procesului de turnare este faptul că în timpul tragerii microfibrului se află sub stres mecanic, iar aceasta influențează negativ rezultatele măsurării.

În capitolul doi, *Modele și algoritmi pentru sisteme inteligente de control și suport decizional în producerea microfiredelor*, a fost propusă și dezvoltată conceptual abordarea predictivă în modelarea și comanda procesului tehnologic, elaborat modelul de aproximare a formei picăturii (capilarului) în timp real cercetat. A fost propusă structura sistemului de comandă și control inteligent care are la bază modelul elaborat îmbinat cu metodele și algoritmiile logicii fuzzy. Au fost definite variabilele lingvistice și selectate funcțiile de apartenență, ținând cont de specificul procesului cercetat. Pentru a asigura suportul în luarea deciziilor a fost elaborată o platformă tehnologică încorporată pentru achiziția, procesarea și analiza datelor privind mersul procesului de turnare a microfiredului, care are la bază tehnologii hardware și software moderne.

Luarea deciziilor reprezintă una dintre principalele probleme în contextul funcționării optime a liniei de producție a microfiredelor. În procesul de turnare operatorii (agenții umani) joacă rolul factorilor de decizie, adesea pe bază de informații incomplete. În turnarea microfiredelor cu un diametru prestabilit operatorul trebuie să controleze procesul prin monitorizarea mărimii de ieșire (diametrul microfiredului). Pentru a oferi operatorului date despre starea mărimii de ieșire în timpul procesului se folosesc anumite dispozitive de măsurare. Cel mai accesibil canal care oferă o informație cantitativă despre diametrul microfiredului tras, este măsurarea rezistenței lineare – *RI*.

Pentru a menține valoarea prestabilită a diametrului firului agentul uman operează cu un număr limitat de variabile de control a procesului prin care el poate acționa:

- Presiunea aerului în tubul de sticlă – *PTS*,
- Puterea generatorului de frecvență înaltă – *PG*,
- Viteza de avans a tubului de sticlă – *VTS*,
- Viteza de avans a țigii de aliaj – *VTA*,
- Viteza de rotire a bobinei receptorului – *VBR*.

În afară de variabilele menționate asupra procesului influențează și poziția jetului de apă (cristalizator), care de regulă se fixează o singură dată și se schimbă pe parcurs. Cel mai sensibil organ de control al procesului este presiunea aerului în tubul de sticlă *PTS*. Variind puterea pompei de vid operatorul modifică poziția picăturii și indirect influențează temperatura și forma ei. Controlând forma picăturii operatorul controlează diametrul microfiredului. Astfel, obiectivul principal al operatorului este de a selecta cea mai bună strategie care să-i permită atingerea nivelului necesar de calitate.

Deciziile online ale unui operator puțin experimentat se bazează doar pe informațiile ce țin de mărimea rezistenței lineare, astfel încât calitatea microfiredului este determinată în mare parte de eroarea măsurătorului rezistenței. Dar acuratețea tipică a măsurătorului rezistenței lineare este de ordinul de la 5% până la 10% în limite destul de înguste. Tot odată când se produc microfireduri cu caracter magnetic rezistența lineară ca parametru de control devine practic inutilă. Din acest motiv, operatorul nu poate folosi informațiile ce țin de mărimea rezistenței lineare. Este binecunoscut faptul că în situații cu incertitudine sporită, experții utilizează decizii intuitive. S-a observat că un operator experimentat poate obține microfireduri de calitate înaltă chiar și fără datele

de la măsurătorul de rezistență lineară, și doar urmărind forma și imaginea picăturii. Observațiile de mai sus au condus la analiza importanței formei picăturii, în special a geometriei capilarului în timpul turnării microfirului. În rezultatul analizei literaturii de specialitate s-a constatat [4-6] că forma geometrică a picăturii și capilarului în timpul tragerii microfirului are impact decisiv asupra calității microfirului turnat.

Anume experiența și cunoștințele acumulate permit menținerea și prezicerea parametrilor procesului chiar și în condiții de ambiguități.

În acest caz, informațiile despre culoarea și forma picăturii, experiența operatorului și informațiile despre rezistență sunt elementele pe care este bazată decizia în timp. Analiza comportamentului diferiților operatori a condus la concluzia că adeseori cea mai bună calitate este obținută atunci când factorul de decizie (operatorul) urmează o abordare intuitivă, inclusiv elemente de prognoză. Cu alte cuvinte, operatorul este într-o oarecare măsură un predictor. De fapt, aceasta confirmă interconectarea binecunoscută între problemele de decizie și problemele de predicție.

În cadrul tezei a fost efectuată cercetarea și dezvoltarea unor astfel de soluții și tehnologii, în care luarea deciziilor cu scopul de a comanda și controla procesul de turnare a microfirului să se bazeze atât pe tehnici de procesare a informației captate de la diverși senzori, cât și pe experiența acumulată de către operatorul uman [13, 14]. În acest context a fost propusă și dezvoltată conceptual abordarea predictivă în modelarea și comanda procesului tehnologic.

Pentru a analiza în detalii cum influențează parametrii procesului la forma picăturii de aliaj a fost elaborat un sistem de achiziție și procesare special (Figura 2).

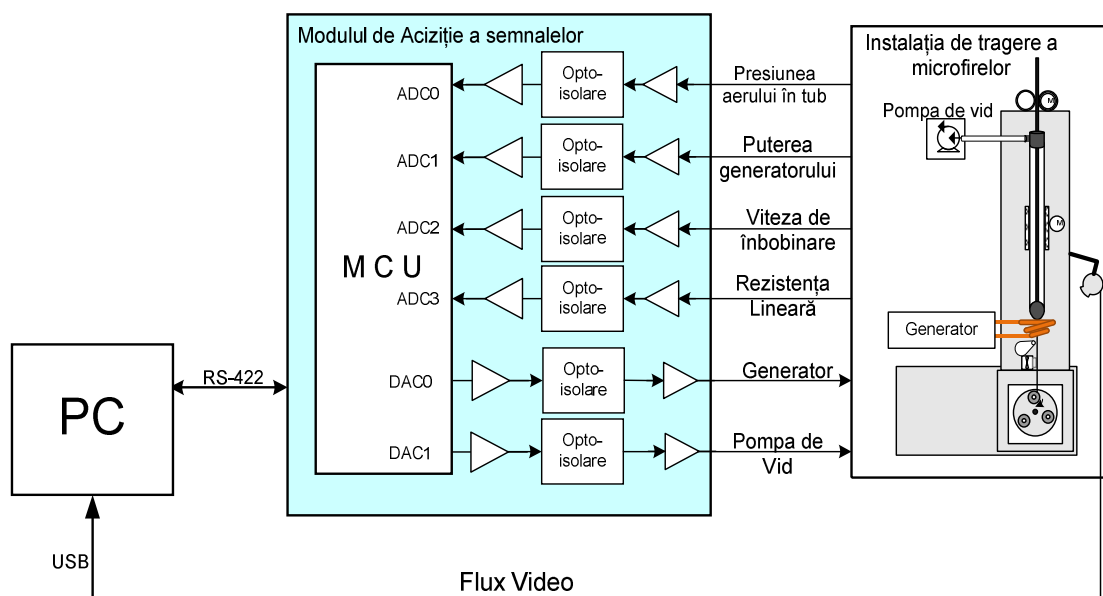


Fig. 2. Structura subsistemului de achiziție a datelor

Sarcina acestui sistem este de a achiziționa datele de la organele de control în timpul procesului de turnare a microfirului și tot odată de a înregistra imaginea picăturii de aliaj în acest moment. În calitate de semnale de intrare au fost selectate doar cele mai relevante – presiunea în tub, puterea generatorului de frecvență înaltă, viteza de înbobinare și datele de la măsurătorul de

rezistență lineară. Ceilalți parametri, cum ar fi poziția cristalizatorului, sau viteza de avans a tubului din sticlă de regula sunt fixate și nu se schimbă pe parcursul procesului de tragere, de aceea nu are sens să fie achiziționate. În afară de achiziția semnalelor analogice de la organele de control acest sistem poate genera semnale de ieșire, care pot dirija cu presiunea aerului în tubul de sticlă și cu puterea generatorului, astfel se poate crea o buclă închisă de control.

Aplicația elaborată permite capturarea informației de la senzori și afișarea ei în formă numerică și în formă de grafice. Pentru asigurarea unei vizualizări corecte toate canalele de intrare pot fi ajustate, modificând coeficienții respectivi. Pentru a minimiza zgomotele și perturbațiile semnalelor la fiecare canal poate fi aplicat un filtru digital cu parametri variabili.

Elementul cheie care se folosește în acest sistem este modulul de achiziție și stocare a imaginii picăturii. Acest modul ne oferă posibilitatea de a stoca sincron cu datele de la organele de control și măsurători imaginea actuală a picăturii. Capturarea imaginii picăturii se realizează cu o cameră video cu interfața USB. Optica acestei camere permite urmărirea picăturii de la o distanță de aproximativ 10 cm. astfel în cât picătura să ocupe întreaga fereastră de vizualizare. Deoarece lungimea picăturii este mai mare ca diametrul ei, și matricea camerei are o rezoluție 1600x1200, pentru a captura toată picătura mai eficient camera este rotită cu 90°.

La faza inițială pentru experimente cu capturarea și procesarea imaginii a fost realizată o aplicație cu interfața grafică, în limbajul C++, ce se rulează pe un calculator personal cu un sistem de operare Windows. Accesul la fluxul video de la cameră se facea prin intermediul librărilor Microsoft DirectX, în special DirectShow. Această librărie oferă funcțiile (filter - în terminologia MS DirectX) de capturare a imaginii de la cameră cadru cu cadru – SampleGrabber. La fel librăria dispune și de codec-urile necesare pentru comprimarea fluxului video înainte de a fi stocat în fișier.

Această aplicație extrage cadru după cadru de la cameră, îl procesează, îl afișează conform modului ales de operator și îl stochează într-un fișier. Frecvența cu care sunt capturate cadrele depinde de performanțele calculatorului, rezoluția imaginii și de complexitatea algoritmului de procesare. În cazul dat folosind un calculator Pentium-4 2.4GHz a fost obținută o performanță de aproximativ 20 FPS.

Procesarea imaginii urmărește ca obiectiv îmbunătățirea calității și extragerea trăsăturilor necesare. Algoritmii de procesare includ: filtrarea imaginii, transformarea dintr-un spațiu color în altul (RGB -> YUV), segmentarea și detectarea conturului. În baza acestor transformări se efectuează deja extragerea trăsăturilor a picăturii: poziția, volumul, înălțimea și diametrul. Aceste date se afișează ca valori relative. Pentru a obține valorile absolute este nevoie de o calibrare după ce a fost fixată camera. Un mod special permite afișarea hărții pseudo-termografice, ce facilitează observarea variațiilor de temperatură a picăturii în diferite zone.

Segmentarea imaginii picăturii în procesul de turnare a microfirului are ca scop evidențierea picăturii pe fundalul luminilor reflectate, și urmărirea conturului acesteia. Determinarea precisă a conturului are o importanță majoră, deoarece dimensiunile și forma se utilizează la luarea deciziilor în conducerea procesului. De regulă înainte de aplicarea operatorului de detecție a

muchiilor se aplică operația de netezire a imaginii. O metodă optimă de detectare a muchiiilor este metoda propusă de Canny [9]. Ea este formată din mai multe etape:

- netezirea imaginii;
- construirea hărții a modulului și direcției gradientului;
- suprimarea non-maximă;
- prăguire utilizând două nivele de prag cu histerezis de-a lungul conturului.

Pentru aplicarea metodei Canny au fost elaborați algoritmi de procesarea a imaginii picăturii prezentați în [10]. În urma analizei s-a observat că conturul picăturii este reconstruit cu o precizie destul de bună. Cu toate că în zona exterioară a picăturii sunt detectate contururi false, luând în considerație că ele nu se suprapun cu conturul extern a picăturii ele nu influențează asupra rezultatelor.

Ținând cont de rezoluția limitată a imaginii și reieșind din importanța și necesitatea descrierii fine a formei geometrice a capilarului, în continuare a fost necesar de a cerceta problema aproximării conturului. În acest scop s-a mers pe calea interpolării curbei ce descrie conturul, folosind un anumit număr de puncte de referință extrase de pe conturul obținut anterior.

Pentru a putea descrie zona de interes major în partea capilarului este nevoie de a interpola întreaga curbă de la extrema de jos până la cea de sus. Rezultă necesitatea determinării punctelor de referință ca număr și poziție. Cu scopul de a minimiza influența zgomotului pe imagine și obținerea coordonatelor punctelor de referință cu o precizie satisfăcătoare a fost elaborată și validată o metodă care permite determinarea unui punct de referință prin medierea coordonatelor a cinci puncte adiacente, extrase de pe conturul detectat. Esența metodei propuse constă în următoarele: după detectarea muchiiilor, de pe conturul picăturii se extrag câte 25 de puncte P_i echidistante din ambele părți, începând cu punctul de jos al capilarului. Aceste puncte se extrag din linia de contur, care este legată de grila (rezoluția) imaginii. Inițial coordonatele acestor puncte sunt reprezentate în numere întregi. După mediere coordonatele punctelor de referință sunt în format cu virgulă flotantă.

Punctele de referință echidistante, împreună cu două puncte situate la extremitățile picăturii - cel mai de jos și cele de sus (care apar conturul tubului de sticlă), servesc pentru a construi curbele de aproximare cu ajutorul polinomului Lagrange.

Reamintim că aproximarea Lagrange folosește următoarele funcții de bază:

$$L_j(x) = \frac{(x - x_0) \dots (x - x_{j-1})(x - x_{j+1}) \dots (x - x_p)}{(x_j - x_0) \dots (x_j - x_{j-1})(x_j - x_{j+1}) \dots (x_j - x_p)} \quad (1)$$

și polinomul Lagrange $P(x)$, asociat:

$$P(x) = \sum_{j=0}^p y_j L_j(x) \quad (2)$$

unde $x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_p$ sunt abscisele punctelor de control, iar $y_0, y_1, y_2, \dots, y_n$ respectiv ordonatele lor.

După cum se poate vedea din Figura 3 curba de interpolare trece din forma convexă în cea concavă. Punctul acesta de trecere – punctul de inflexiune (*PI*), rămâne relativ stabil în timpul procesului. Acest punct îl putem folosi la determinarea zonei de interes în care începe pâlnia capilarului. Pentru a determina coordonatele lui este nevoie de a găsi derivata de ordinul doi a polinomului Lagrange. Această derivată a fost determinată în forma:

$$P''(x_{inf}) = \sum_{j=0}^p \left[\frac{y_j}{\prod_{i=0; i \neq j}^p (x_j - x_i)} \sum_{i_1=0}^p \sum_{i_2=0}^p \prod_{\substack{i=0 \\ i \neq j \\ i \neq i_1 \\ i \neq i_2}}^p (x_{inf} - x_i) \right] \quad (3)$$

Astfel coordonata punctului de inflexiune - x_{inf} o găsim iterativ ca punct în care $P''(x)$ trece prin zero, iar coordonata y_{inf} o calculăm după formula 2.

Punctul de intrare în pâlnia capilarului – *PC* (Figura 3.a) îl determinăm acum ca punct de tangență a curbei pe intervalul de la originea capilarului până la punctul de inflexiune pe segmentul $[0, PI]$. În acest scop aplicăm cunoscuta formula Lagrange:

$$f'(x_0) = \frac{f(b) - f(a)}{b - a}, \quad x_0 \in (a, b) \quad (4)$$

Rezultatele experimentale sunt prezentate, ca exemplu, în Figura 3.b.

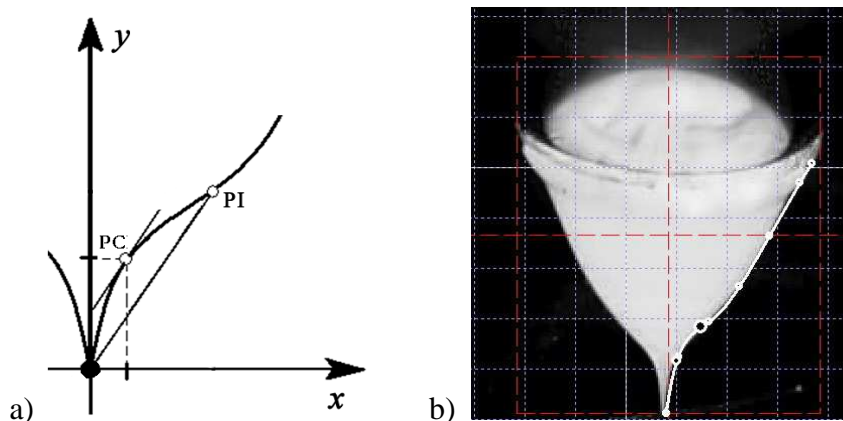


Fig. 3. Imaginea picăturii după aproximarea cu polinomul Lagrange:

punctul de inflexiune *PI*, și punctul capilarului *PC*. b) imaginea reală cu curba aproximată.

Modelul propus este descris în [13, 14]. Acest model permite descrierea formei geometriei capilarului în timp real, ceea ce deschide calea în comanda și controlul procesului cercetat pe bază predictivă.

Analiza rezultatelor experimentelor și datelor achiziționate în timpul procesului condus de un operator experimentat a condus la ideea de a cerceta și dezvolta un sistem inteligent de comandă și control a procesului de turnare a microfirelor. Pentru a atinge obiectivul de control al procesului cu posibilitatea de a urmări și de a estima parametrii capilarului în timp real s-a propus soluția care constă în îmbinarea tehnicilor machine vision cu cele inteligente [7, 11, 12]. Această abordare este modernă, fiind aplicată în multe cazuri. În particular, metodele și algoritmiile logicii fuzzy sunt utilizate fie separat, fie combinat cu alte metode și tehnici.

Structura propusă pentru construirea sistemului inteligent de comandă și control a procesului de turnare este prezentat în Figura 4. Acest sistem este format din subsistemul de procesare a imaginii, care extrage informația legată de geometria picăturii și controlerul fuzzy propriu zis. Trebuie notat că imaginea picăturii trebuie procesată în timp real, astfel încât subsistemul de procesare să asigure cu date despre geometria și temperatura picăturii subsistemul decizional. Legătura cu obiectul tehnologic se realizează prin intermediul blocurilor de fuzificare și defuzificare. De menționat că operatorul uman la fel este prezent în bucla de luare a deciziilor, cel puțin în faza de testare și formare a bazei de cunoștințe.

Pentru început au fost determinate variabilele lingvistice care se folosesc ca intrări în subsistemul de control:

TPS – temperatura picăturii în zona de sus,

TPJ – temperatura picăturii în zona de jos,

PC – punctul capilarului,

PI – punctul de inflexiune,

PP – poziția picăturii,

RL – rezistența lineară (indicațiile de la măsurătorul de rezistență).

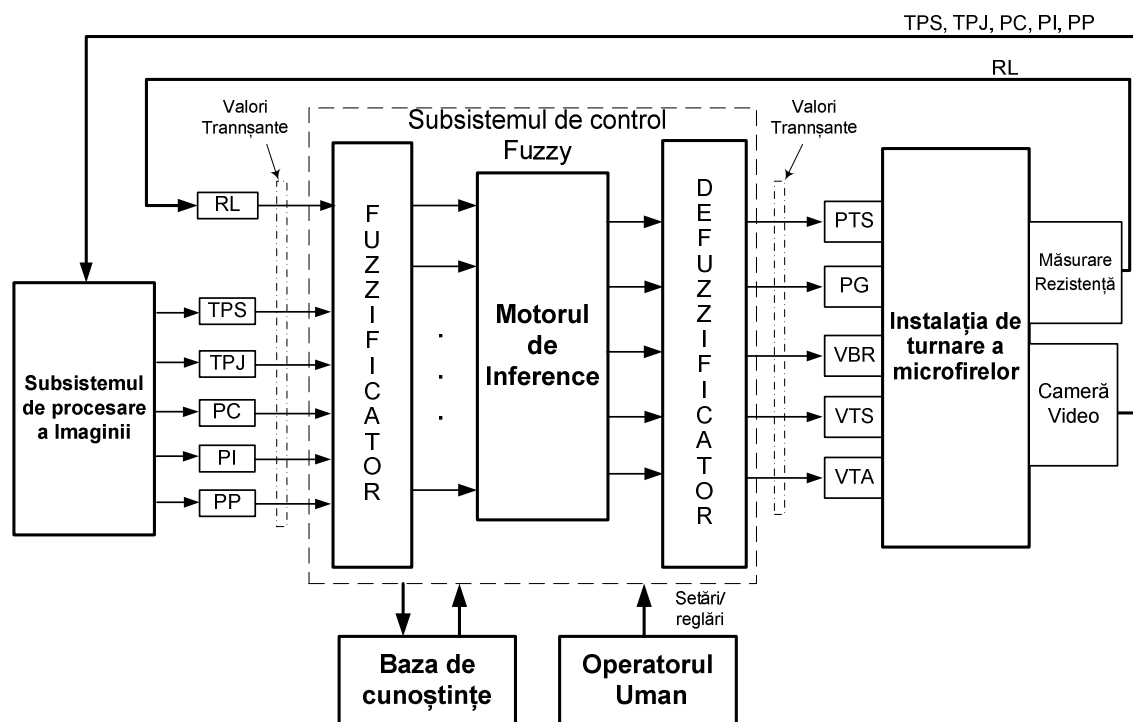


Fig. 4. Structura sistemului inteligent de comandă și control a procesului de turnare

În calitate de ieșiri din subsistemul de conducere se propune de a folosi cinci variabile lingvistice. Fiecare variabilă lingvistică cuprinde între 3 și 5 calificative, în dependență de rolul și funcția ei (tabelul 1).

O problemă specială ține de alegerea funcțiilor de apartenență. Reieșind din analiza procesului cercetat, fiecărei variabile i-a fost atribuită o funcție de apartenență în felul următor.

Funcția triunghiulară se folosește pentru variabilele critice, cum ar fi presiunea în tubul de sticlă și indicațiile măsurătorului de rezistență lineară:

$$\mu_1(x, a, b, c) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq a; \\ \frac{x-a}{c-a}, & \text{if } a < x \leq c; \\ \frac{b-x}{b-c}, & \text{if } c < x < b; \\ 0, & \text{if } x \geq b \end{cases} \quad (5)$$

Funcția gaussiană a fost selectată pentru variabilele ce indică temperatura picăturii *TPS, TPJ*; punctul de inflexiune *PI* și poziția picăturii *PP*:

$$\mu_2(x, a, b) = \exp\left[-\frac{(x-a)^2}{2b^2}\right] \quad (6)$$

Pentru celelalte variabile a fost selectată funcția sigmoidă:

$$\mu_3(x, a, b) = \{1 + \exp[-a(x-b)]\}^{-1} \quad (7)$$

Tabelul 1. Variabilele lingvistice și calificativele utilizate în sistemul de control.

Valoare	Variabilele Lingvistice	Funcția de apartenență
întă nominală joasă	PTS	triunghiulară
foarte mare mare nominală mică foarte mică	RL	triunghiulară
întă nominală joasă	TPS, TPJ	gaussiană
mare nominal mic	PC	gaussiană
mare nominal mic	PI	gaussiană
întă nominală joasă	PP	gaussiană
mare nominală mică	PG, VTS, VTA, VBR	sigmoidă

Având datele despre temperatura, poziția și geometria picăturii, blocul de luare deciziilor poate genera comenzi pentru a menține procesul în limitele prestabilite. De menționat, că blocul de luare a deciziilor poate utiliza diferite strategii de comandă și control. Spre exemplu, pentru microfibre din aliaje cu caracter rezistiv și cu diametrul mic ca indicator se utilizează măsurătorul de rezistență lineară. Însă pentru microfibre din aliaje specifice cu caracter magnetic sau cu diametrul mare, atunci când eroarea măsurătorului de rezistență este inacceptabilă, blocul de luare a deciziilor trebuie să urmeze o strategie în baza analizei formei capilarului și datele caracteristice picăturii în timp real.

După dezvoltarea și analiza algoritmilor de procesare a imaginii, a urmat etapa la care a fost portat sistemul de control de pe un calculator personal pe un sistem de calcul adaptat la condițiile industriale. După analiza mai multor platforme de calcul a fost selectat un sistem bazat pe nucleul ARM Cortex A15 cu un procesor OMAP-5432 de la Texas Instruments. În calitate de sistem de operare se folosește *Linux*. Deoarece legătura cu modulele externe se face prin interfețe standard USB în calitate de nucleu poate fi folosit orice SoC (*System on Chip*) cu o performanță respectivă sau calculator personal. Aplicația este elaborată în limbajul C++ și poate fi compilată fie pentru platforma *x86* fie pentru *ARM*. Structura instalației modernizate de turnare a microfiredelor este prezentată în Figura 5.

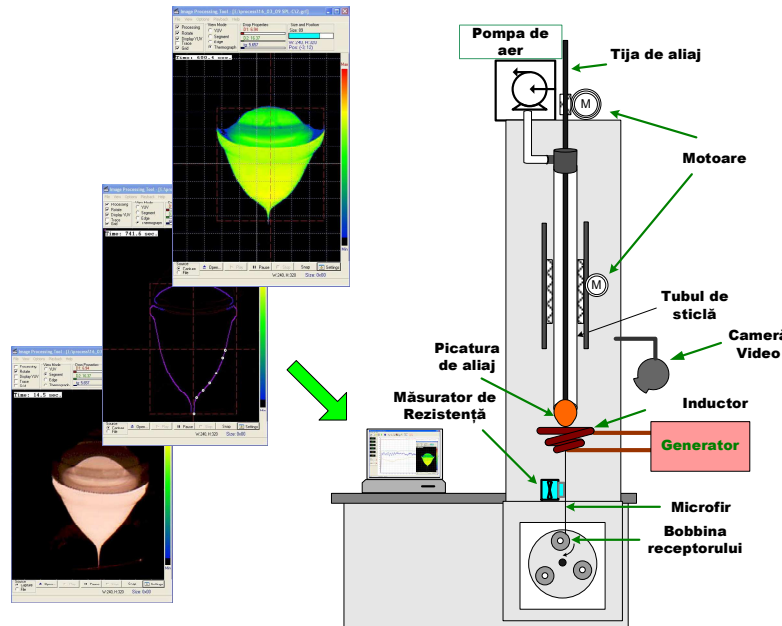


Fig. 5. Structura instalației modernizate.

Capitolul trei, Sisteme pentru caracterizarea microfiredelor magnetice și suport decizional în procesul de producție, este dedicat proiectării și construirii în premieră a unui sistem informațional de măsurare a parametrilor microfiredelor magnetice și suport decizional în procesul de producție industrială.

Creșterea indicatorilor de performanță a sistemului de producere a microfiredelor este în strânsă legătură cu două aspecte ce țin de: 1) controlul calității microfiredului după faza de turnare, și 2) furnizarea informației de reacție operatorului pentru ajustarea parametrilor procesului. Al doilea aspect este important și din punctul de vedere al construirii și dezvoltării bazei de cunoștințe și ajustării strategiilor de luare a deciziilor în cadrul sistemului inteligent de comandă și control propus în capitolul precedent. Din aceste considerente elaborarea unor soluții încorporate pentru caracterizarea microfiredelor magnetice și suport decizional în procesul de producție reprezintă o problemă interconectată cu problematica abordată în capitolul doi.

Evident, calitatea microfiredelor este influențată de mai mulți factori, cum ar fi:

- calitatea materiei prime - aliajele, tubul de sticlă;
- construcția și funcționarea corectă a instalației;

- și în mare parte - calificarea și experiența operatorului.

Controlul calității cuprinde mai multe etape. Dacă să ometem faza cu stabilirea componenței și pregătirea aliajelor, atunci următoarea etapă de control a calității (măsurare) se efectuează chiar în timpul, procesului de fabricare pe instalația de turnare. De regulă pe instalație se măsoară rezistența lineară a microfirului [15] care se corelează cu diametrul miezului de metal. Însă măsurarea rezistenței lineare poate servi ca un parametru de control doar pentru microfibre cu caracteristici rezistive, domeniul de aplicare a căror este relativ îngust. Odată cu creșterea diametrului crește și eroarea de măsurare a rezistenței, ceea ce face imposibilă măsurarea rezistenței cu o eroare acceptabilă a microfirului de diametru mare. În acest caz devine foarte important factorul uman – experiența operatorului.

În ultimii ani a crescut substanțial cererea pe piață a microfirului cu proprietăți magnetice. Pentru caracterizarea acestor microfibre se utilizează alte metode – în special măsurarea forței coercitive, care poate fi făcută sau în mod static pe unele mostre/fragmente, sau în mod dinamic – în timpul rebobinării microfirului de pe o bobină pe alta. Dacă compoziția aliajului și a sticlei sunt stabilite atunci microfibrele pot fi caracterizate și prin măsurarea diametrului miezului de aliaj și a grosimii învelișului de sticlă.

Pentru a face față noilor cerințe de piață a fost proiectat, fabricat și ulterior implementat un sistem informațional de măsurare a parametrilor microfirului magnetice, care a fost conceput ca un instrument de suport decizional în procesul de control a calității microfirului (sistemul permite operatorului uman luarea deciziilor și corecția procesului tehnologic în regim on-line), fiind constituit din: calculator personal pe care este rulată aplicația; subsistem complex de măsurare a forței coercitive și diametrului microfirului și subsistem electromecanic de rebobinare a microfirului.

Structura acestui sistem este prezentată în Figura 6.

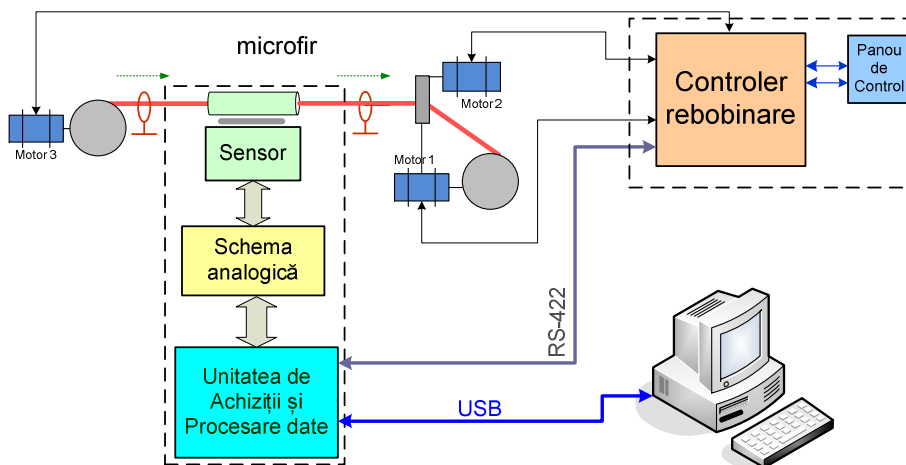


Fig. 6. Structura Sistemului de caracterizare a microfirului feromagnetic.

Sistemul de caracterizare include următoarele componente:

- Submodulul de achiziție și procesare a datelor cu un senzor special;
- Subsistemul mecanic de rebobinare, cu un controler a motoarelor;

- Calculator personal cu un soft special.

Subsistemul de achiziție elaborat permite măsurarea câmpului H_c a microfirului în timp ce el se mișcă printr-un senzor/bobină. Măsurarea se face cu o eșantionare de 500 Hz, ce permite analiza câmpului H_c cu pasul de aproximativ 10 mm, la viteza de rebobinare de 5 m/s.

Structura acestui submodul este prezentată în Figura 7. El conține un sintetizator de câmp magnetic alternativ, senzor de câmp magnetic cu amplificator și filtre analogice, convertor analogic/digital și elementul de control în baza de circuit logic reconfigurabil.

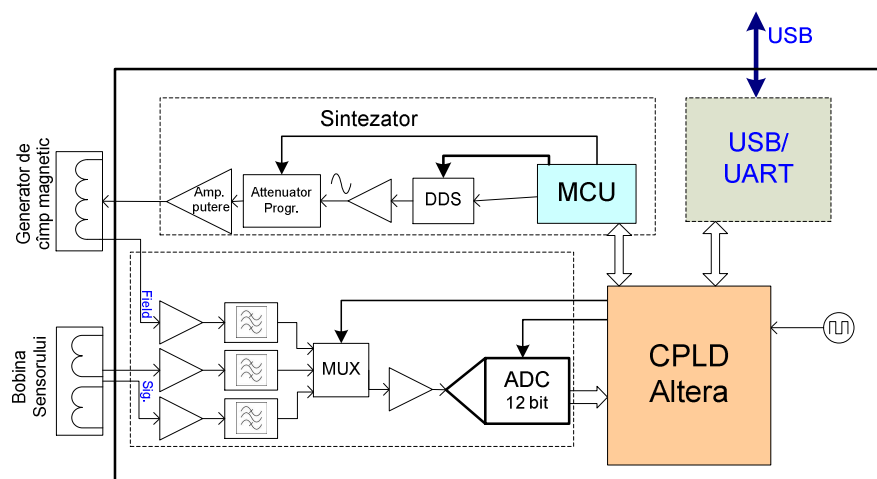


Fig. 7. Structura modului de achiziție MAGNUS

Acest sistem asigură măsurarea în timpul rebobinării microfirului de pe o bobină pe alta cu "aranjarea" acestuia într-un mod special. În timpul rebobinării submodul de achiziție face măsurările câmpului H_c și transmite rezultatele la un calculator gazdă, prin intermediul interfeței USB. Datele respective sunt sincronizate cu lungimea microfirului obținută de la submodulul de rebobinare, ceea ce permite localizarea segmentelor de microfibre neconforme. Rezultatele măsurării sunt transmise într-o aplicație specială, care pe lângă afișarea datelor în forma numerică și grafică permite stocarea lor în baza de date. Sistemul dezvoltat permite măsurarea forței coercitive și a diametrului cu precizie 10-15%. Măsurarea parametrilor, respectiv monitorizarea calității este realizată prin rebobinarea și scanarea discretă a microfirului. Viteza de rebobinare poate fi setată de la 0,2 până la 9,5 m/s, iar pasul de rebobinare - 5...1000 μm . Datele achiziționate se afișează sub formă numerică și grafică, iar informația statistică ce conține parametrii, compoziția aliajului, codul operatorului și a instalației pe care a fost fabricat microfirul se stochează în baza de date a sistemului. Baza de date se utilizează atât, pentru corectarea procesului tehnologic, cât și pentru atestarea calității microfiredelor la furnizare către beneficiar.

Totodată, pentru a spori viteza de măsurare a diametrului miezului a microfiredelor magnetice a fost elaborat și confecționat un dispozitiv autonom de măsurare, implementat în procesul de caracterizare a microfiredelor cu înveliș din sticlă și dezvoltare de noi aplicații. Dispozitivul elaborat permite măsurarea diametrului miezului microfiredelor cu izolație din sticlă în diapazonul

[10...30] μm cu posibilitatea extinderii intervalului de măsurare până la 100 μm . Eroarea introdusă nu depășește 0,5 μm în diapazonul de lucru.

Dispozitivul elaborat se caracterizează prin precizie și veridicitate ridicată, timp redus de măsurare comparativ cu estimarea vizuală la un microscop, datorită eliminării efectelor optice cauzate de variația grosimii sticlei.

În **capitolul patru, *Soluții încorporate pentru aplicarea avansată a microfiredor magnetice***, sunt prezentate unele soluții inovative sub forma unor sisteme/dispozitive încorporate pentru utilizare în cercetarea și dezvoltarea aplicațiilor avansate pe bază de microfiredor.

Proprietățile unicate a microfiredor magnetice pot fi utilizate la construirea sistemelor de identificare, securitate, combaterea producerii contrafăcute etc. În baza de microfiredor pot fi construite amprente (marchere) care pot păstra anumite informații (coduri) pe o durată îndelungată și în condiții extreme (temperatură, umiditate, medii agresive...).

Pentru analiză mai profundă a acestor proprietăți și cercetarea eventualelor aplicații a fost proiectat și fabricat un sistem reconfigurabil de caracterizare avansată a microfiredor magnetice, care a fost conceput ca un instrument flexibil, ce poate fi simplu adaptat pentru noile măsurări și eventualele procesări a datelor. Acest sistem s-a regăsit în cadrul procesului de control a calității microfiredor, dar și în cadrul lucrărilor de cercetare, acumulare a statisticii, în vederea dezvoltării noilor aplicații pe baza de microfiredor. Sistemul elaborat permite măsurarea semnalelor de la trei canale analogice cu o rezoluție de 12 biți și o frecvență de eșantionare de până la 50 MSPS. În afară de aceasta, sistemul dispune de un generator reconfigurabil, care permite generarea câmpului magnetic cu amplitudine de la 100A/m până la 1000A/m și frecvența de 10Hz – 2 KHz. Folosind diferite adaptoare/senzori, sistemul permite efectuarea caracterizării avansate a microfiredor magnetice.

La momentul actual există mai multe aplicații în care microfiredore se utilizează pentru identificare. Una din aplicații presupune protecția documentelor și a hârtiilor de valoare. Pentru aceasta în momentul producerii hârtiei în ea este înglobat un marker din microfiredor cu anumite proprietăți magnetice. Existența acestui microfiredor în hârtie poate fi detectată cu un detector (dispozitiv special). La moment softul elaborat permite dispozitivului de a detecta doar existența sau lipsa acestui marcher, dar în viitor softul poate fi dezvoltat pentru detectarea stabilă a ”marcajelor multibit”.

Pentru testarea acestei tehnologii a fost elaborat un prototip portativ. Inițial acest dispozitiv a fost gândit pentru aplicații care să poată detecta doar prezența sau absența microfiredor în obiectul de control (spre exemplu în hârtie). Deoarece dispune de suficiente resurse de calcul, el poate fi utilizat și în sisteme de codificare mai complexe, spre exemplu codificarea informației suplimentare (nivelul de securizare, data, etc.).

Dispozitivul este format dintr-un senzor, schema de amplificare și filtrare analogică a semnalului, schema de procesare și sursă de alimentare (Figura 8).

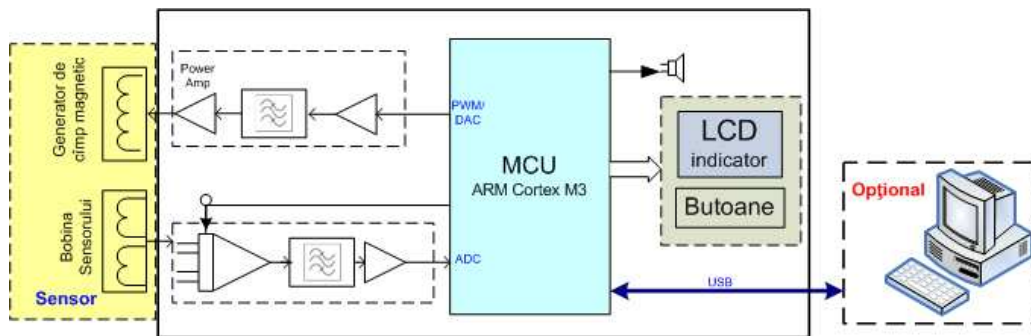


Fig. 8. Structura detectorului portabil.

Submodulul senzorului este format din patru bobine, două din care se folosesc pentru generarea câmpului magnetic de excitație, iar celelalte două pentru detectarea câmpului magnetic rezultat. Procesarea include filtrarea semnalului, folosind un filtru digital; detectarea și contorizarea impulsurilor. Detectarea impulsurilor se face pe ambele semiperioade a semnalului de excitație. Pentru detectarea corectă a impulsurilor valide și eliminarea/omiterea celor false, procesarea se face pentru mai multe perioade.

Generarea și procesarea semnalelor este realizată pe un microcontroler de 32 biți cu nucleul ARM-CortexM. Redarea informației pentru utilizator se realizează prin intermediul unui LCD grafic. Totodată interfața cu utilizatorul poate fi realizată cu ajutorul unui soft pe calculator personal.

Alimentarea dispozitivului se realizează de la un acumulator Li-Ion. Pentru a obține tensiunile necesare au fost proiectate și construite convertoare DC/DC. Partea de alimentare conține și un circuit de încărcare a acumulatorului, care permite reîncărcare de la sursă externă sau de la Portul USB.

Concluzii generale și recomandări

Lucrarea realizată conține următoarele contribuții originale:

1. Au fost elaborați algoritmi de procesare a imaginii picăturii și o metodă de extragere a datelor relevante care permite creșterea acurateții de aproximare a conturului detectat.
2. A fost propus și elaborat un model de estimare în timp real a formei geometrice a capilarului caracteristic procesului de turnare a microfiredelor prin metoda Ulitovsky-Taylor, fapt care permite dezvoltarea unei abordări predictive în comanda și controlul procesului respectiv, cu posibilitatea de creștere a calității microfiredelor turnate.
3. A fost propus un sistem de comandă și control inteligent a procesului de turnare a microfiredelor. Soluția propusă are la bază modelul de estimare elaborat, îmbină tehnicile machine vision cu metodele logicii fuzzy și permite predicția evoluției procesului în timp real.
4. A fost dezvoltată o platformă tehnologică încorporată de achiziție și analiza datelor care a deschis posibilitatea de a amplifica cercetările în direcția optimizării sistemului de producție în cadrul întreprinderii „Microfir Tehnologii Industriale” SRL din Chișinău.
5. A fost proiectat, fabricat și implementat un sistem informațional de măsurare a forței coercitive și diametrului microfiredelor magnetice, care servește ca instrument de suport decizional în procesul de control a calității microfiredelor - sistemul permite agentului uman luarea deciziilor

și corecția procesului tehnologic în timp real. Sistemul elaborat permite măsurarea forței coercitive și a diametrului cu precizia 10-15%. Măsurarea parametrilor, respectiv monitorizarea calității este realizată prin rebobinarea și scanarea discretă a microfirului. Viteza de rebobinare poate fi setată de la 0,2 până la 9,5 m/s, pasul de rebobinare - 50...500 μm.

6. Au fost propuse un șir de soluții inovative încorporate pentru cercetarea și dezvoltarea aplicațiilor avansate în baza microfiredelor magnetice.

Direcții de cercetare pentru viitor:

1. Cercetarea posibilităților de creștere a acurateții modelului de estimare în timp real a formei geometrice a capilarului.

2. Dezvoltarea cercetărilor în direcția „extragerii cunoștințelor” operatorului uman de calificare foarte înaltă. Experiența și cunoștințele extrase pot fi acumulate în timp real, formând astfel o bază de cunoștințe.

3. Dezvoltarea unui algoritm de autoînvățare online pentru completarea și/sau modificarea bazei de cunoștințe.

4. Dezvoltarea strategiilor de luare a deciziilor pentru implementare la nivelul motorului de inferență al sistemului de comandă și control.

5. Elaborarea a noi algoritmi care ar permite detectarea sigură a impulsurilor din semnalul achiziționat (de găsit algoritmi care ar permite codificarea sigură a informației luând în considerație toleranțele la producerea microfiredelor – variațiile HC, diametrului).

6. Elaborarea tehnicilor noi de filtrare/procesare a datelor, care ar îmbunătăți raportul semnal/zgomot și ar reduce amplituda impulsurilor false (de îmbunătățit sistemul de achiziție – construcția bobinei senzorului, de îmbunătățit partea analogică de amplificare/filtrare a semnalului).

7. Elaborarea a noi algoritmi care ar permite detectarea și determinarea precisă a caracteristicilor impulsurilor (filtrarea digitală a semnalului, filtrarea adaptivă, de încercat detectarea impulsurilor prin tehnici noi - Fuzzy Logic).

BIBLIOGRAFIE

1. Улитовский А.В., Маянский И.М., Авраменко А.И. Способ непрерывного изготовления микропроволок в стеклянной изоляции. АС № SU128427. 1963.
2. Бадинтер Е. Я., Гришанов И И., Доника Ф. Г., Литой микропровод и его применение в науке и технике., научный редактор Гицу Д. В. Кишинев: Штиинца. 1988.
3. Cobeno A., Zhukov A., Blanco J., Larin V., Gonzalez J. Magnetoelastic sensor based on giant magnetoimpedance of amorphous microwire. *Sensor and Actuators. A. Physical*, 2001, 91, 95-98 p., doi: 10.1016/S0924-4247(01)00502-7.
4. Чугаевский Ю. В. Об одной аппроксимированной модели капли. Зеликовски З. (ред.), Микропровод и приборы сопротивления. Кишинёв: Картя Молдовеняскэ, 1964, 16-26 с.
5. Шпирнов В.А. Форма жидкой капли при получении остеклованного микропровода. Микропровод и приборы сопротивления, вып. 2, Кишинёв: Картя Молдовеняскэ, 1963., 22-25 с.
6. Чугаевский Ю. В. О критерии вхождения металла в капилляр в условиях литья микропровода. Зеликовски З. (ред.), Микропровод и приборы сопротивления. Кишинёв: Картя Молдовеняскэ, 1964, 27-35 с.
7. Davies E. R. *Machine vision. Theory, algorithms, practicalities.* Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 2004.
8. Gonzales R. C., Woods R. E., "Digital Image Processing, 2nd edition", Prentice Hall. 2002.
9. Canny J. A. Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8(6), 1986, 679-714 p., doi: 10.1109/TPAMI.1986.4767851.
10. Calmîcov I., Analiza algoritmilor de segmentare a imaginilor. *Meridian Ingineresc.* 2010, nr.2, 74-79. ISSN 1683-853X.
11. Russel S. , Norvig P. *Artificial Inteligence. A modern approach.* Upper saddle River, NJ: Prentice Hall, 2003.
12. Yager R. R. *Fuzzy set and possibility theory. Recent development.* Pergamon Press, New York, 1982.
13. Zaporojan S., Larin V., Plotnic, C.; Calmicov I., Pavel V., Development of an intelligent plant for the fabrication of glass-coated microwires. In: *Proceedings of the 14-th International Congress of Cybernetics and Systems of WOSC (ICCS-2008)*, Sep. 9 - 12, 2008, Wroclaw, Poland, pp. 739-746, ISBN 978-83-7493-400-8.
14. Zaporojan S., Calmicov I., Plotnic C., Larin V. A knowledge-based approach for microwire casting plant control. In: *Nanotechnology: Concepts, Methodologies, Tools and Applications.* Hershey PA: IGI Global, 2014, pp. 1464-1482. doi: 10.4018/978-1-4666-5125-8.ch69.
15. Зеликовский З. И., Михайлов В. А., Нестеровский И. А.. Бесконтактное измерение погонного сопротивления высокоомного микропровода. Микропровод и приборы сопротивления. Вып. 8 стр. 67 - 76 «Штиинца», Кишинёв, 1971.

LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE LA TEMA TEZEI

– capitole în culegeri internaționale:

1. ZAPOROJAN, S.; PLOTNIC, C.; CALMICOV, I.; LARIN, V. A knowledge-based approach for microwire casting plant control. In: JOZEF CZYK, J. and ORSKI, D., eds. *Knowledge-Based Intelligent System Advancements: Systemic and Cybernetic Approaches*. Hershey PA: IGI Global, 2011, pp. 419-437. doi: 10.4018/978-1-61692-811-7.ch19 (indexat SCOPUS).
2. ZAPOROJAN, S.; CALMICOV, I.; PLOTNIC, C.; LARIN, V. A knowledge-based approach for microwire casting plant control. In: IRMAN *Nanotechnology: Concepts, Methodologies, Tools and Applications*. Hershey PA: IGI Global, 2014, pp. 1464-1482. doi: 10.4018/978-1-4666-5125-8.ch69 (indexat SCOPUS).

– articole în reviste naționale:

1. CALMICOV, I. Analiza algoritmilor de segmentare a imaginilor. *Meridian Ingineresc*. 2010, nr.2, 74-79. ISSN 1683-853X.
2. GUȚULEAC, E., CALMICOV, I., ZAPOROJAN, S., GÎRLEANU, I. Modelarea și analiza securității rețelelor de calculatoare prin rețele Petri markoviene fuzzy intuiționiste cu jocuri stocastice. *Meridian Ingineresc*. 2017, nr.1, 16-25. ISSN 1683-853X.

– articole în culegeri internaționale:

1. CARBUNE, V.; CALMICOV, I.; GISCA, V. Arhitectură pentru suport argumentativ al deciziilor luate în procesele industriale. In: *The 8th International Conference on Microelectronics and Computer Science (ICMCS-2014): proceedings*, Chișinău, Moldova, October 22-25, 2014. Ch.: Tehnica-UTM, 2014, pp. 483-486. ISBN 978-9975-45-329-5.
2. ZAPOROJAN, S.; CALMICOV, I.; PLOTNIC, C.; CARBUNE, V. Monitorizarea procesului de fabricație a microfiredelor. In: STEFANUT, T. and C. RUSU, C., eds. *“Conferința Națională de Interacțiune Om-Calculator” (ROCHI 2013): proceedings*, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, Sept. 2-3, 2013. Matrix Rom, București, Romania, 2013, pp. 173-176. ISSN 2344 -1690.
3. ZAPOROJAN, S.; PLOTNIC, C.; CALMICOV, I. Some of the aspects of decision design in development of the intelligent wire casting machine. In: D. Simian (Ed). *Proceeding of the 2nd International Conference “Modelling and Development of Intelligent Systems” (MDIS-2011)*, Sep. 29 - Oct. 02, 2011, Sibiu, România, Lucian Blaga University Press, 2012. pp. 226-231. ISSN 2067-3965.
4. ZAPOROJAN, S.; CARBUNE, V.; CALMICOV, I. Fuzzy logic control based on reconfigurable membership tables. In: GRZECH, A.; SWIATEC, P.; DRAPALA, J., eds. *Advances in Systems Science*. Academic Publishing House EXIT, Warsaw, Poland, 2010, pp. 385-390. ISBN 978-83-60434-77-2.
5. CALMICOV, I. Analiza algoritmilor de segmentare a imaginilor pentru aplicații de timp real. In: *The 6th International Conference on Microelectronics and Computer Science (ICMCS-2009): proceedings*, Chișinău, Moldova, October 01-03, 2009. Ch.: Tehnica-UTM, 2009, pp. 276-279. ISBN 978-9975-45-045-4.
6. ZAPOROJAN, S.; LARIN, V.; PLOTNIC, C.; CALMICOV, I.; PAVEL, V. Development of an intelligent plant for the fabrication of glass-coated microwires. In: *Proceedings of the 14-th International Congress of Cybernetics and Systems of WOSC (ICCS-2008)*, Sep. 9-12, 2008, Wroclaw, Poland, pp.739-746, ISBN 978-83-7493-400-8.

– articole în culegeri naționale:

1. CALMICOV, I. Subsistem grafic pentru aplicații de timp real. *Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților UTM*. 15-17 noiembrie, 2009, Chișinău, U.T.M. – Vol.1, pp.122-125, ISBN 978-9975-45-065-2.

2. CALMICOV, I. Microcontrolere AVR în sisteme de acționare electrică. *Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților UTM*. 15-17 noiembrie, 2007, Chișinău, U.T.M. – Vol.1, pp.201-204, ISBN 978-9975-45-068-3.
 3. CALMICOV, I. Устройство измерения угла поворота. *Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților UTM*. 17-18 noiembrie, 2006, Chișinău, U.T.M. – Vol.1, pp.197-200, ISBN 978-9975-45-025-6.
- **Teze ale comunicărilor la congrese, conferințe, simpozioane, în culegeri (naționale / internaționale):**
1. DOROGAN, V.; ZAPOROJAN, S.; VIERU, T.; MUNTEANU, E.; LARIN, V.; PAVEL, V.; VIERU, S.; CALMICOV, I. Metodă de măsurare a diametrului miezului microfiredelor și a grosimii învelișului din sticlă. In: *Salonul Internațional al Cercetării, Inovării și Inventicii PRO INVENT 2015*, ed. a 13-a, Cluj-Napoca, România, 25-27 martie 2015. Cluj-Napoca: Ed: U.T.Press, 2015, p. 286. ISBN 978-606-737-048-5.
 2. DOROGAN, V.; ZAPOROJAN, S.; MUNTEANU, E.; LARIN, V.; PAVEL, V.; VIERU, S.; VIERU, T.; CALMICOV, I. Metodă și dispozitiv pentru măsurarea diametrului miezului și a grosimii învelișului din sticlă al microfiredului. In: *Expoziția Internațională Specializată INFOINVENT 2015*, ed. a 14-a, Chișinău, Moldova, 25-28 noiembrie 2015. Chișinău: Ed: AGEPI, 2015, p. 82.
 3. DOROGAN, V.; ZAPOROJAN, S.; MUNTEANU, E.; LARIN, V.; PAVEL, V.; VIERU, S.; VIERU, T.; CALMICOV, I. Dispozitiv pentru măsurarea diametrului miezului și grosimii învelișului microfiredului. In: *Salonul Internațional al Cercetării, Inovării și Inventicii PRO INVENT 2014*, ed. a 12-a, Cluj-Napoca, România, 19-21 martie 2014. Cluj-Napoca: Ed: U.T.Press, 2014, p. 178. ISBN 978-973-662-932-7.
 4. DOROGAN, V.; ZAPOROJAN, S.; MUNTEANU, E.; LARIN, V.; PAVEL, V.; VIERU, T.; SECRIERU, V.; VIERU, S.; CALMICOV, I. System for measuring the nucleus diameter and coating thickness of the microwire. In: *European Exhibition of Creativity and Innovation EUROINVENT-2014: proceedings of the 6th ed.*, Iasi, Romania, 22-24 May 2014. Iași: Ed. Univ. A.I. Cuza din Iași, 2014, pp. 87-88. ISBN 978-606-714-037-8.
 5. DOROGAN, V.; ZAPOROJAN, S.; MUNTEANU, E.; LARIN, V.; PAVEL, V.; VIERU, T.; VIERU, S.; CALMICOV, I. System for measuring the nucleus diameter and coating thickness of the microwire. In: *The 18th International Conference of Inventics; The 18th International Exhibition of Research, Innovation and Technological Transfer "Inventica 2014"*, Iasi, Romania, July 2th-4th, 2014: Workshop Inventica 2014. Iași: Performantica, 2014, p. 509. ISSN 1844-7880.
 6. LARIN, V.S.; ZAPOROJAN, S.I.; CALMICOV I.A.; CHICU, L.I.; BUCATCO, I.V. Transformation of Magnetic Structures as a Result of Thermomechanical Processing. In: *Moscow International Symposium on Magnetism (MISM-2014)*, Moscow, Russia, 29 June-3 July, 2014: book of abstracts. Moscow, 2014, p. 287. ISBN 978-5-91978-025-0.
 7. DOROGAN, V.; ZAPOROJAN, S.; LARIN, V.; VIERU, T.; CALMICOV, I.; VIERU, S.; MUNTEANU, E.; DOROGAN, A.; SECRIERU, V. Sistem optoelectronic pentru măsurarea diametrului miezului și grosimii învelișului din sticlă a microfiredelor. *Catalogul Salonului Internațional al Cercetării, Inovării și Inventicii. Ediția a XI-a. 19 – 22 martie 2013. Cluj – Napoca, România*. Editura U.T.Press Cluj-Napoca, 2013. p.221.
 8. DOROGAN, V.; ZAPOROJAN, S.; LARIN, V.; VIERU, T.; CALMICOV, I.; VIERU, S.; MUNTEANU, E.; DOROGAN, A.; SECRIERU, V. Optoelectronic device for measuring the glass thickness and diameter of the micro-wires. *Catalog of the 38-th International Invention Show INOVA -2013*. 12-17 noiembrie 2013. Zagreb, Croația. p. 118.
 9. ZAPOROJAN, S.; CALMICOV, I.; PAVEL, V.; LARIN, V.; CĂRBUNE, V. Computer aided system for measuring the parameters of bi-stable magnetic wires.

- European Exhibition of Creativity and Innovation – EUROINVENT 2012*, May 10-12, Iasi, Romania. 2012, p.145
10. ZAPOROJAN, S.; CALMICOV, I; PAVEL, V.; LARIN, V.; CĂRBUNE, V. Sistem de măsurare a parametrilor firelor magnetice bistabile asistat de calculator. *The XVI-th International Exhibition of Research, Innovation and Technological Transfer „INVENTICA 2012”*, June 13-15, Iasi, Romania. 2012, pp.632-633. ISSN: 1844-7880.
 11. ZAPOROJAN, S.; CALMICOV, I; PAVEL, V.; LARIN, V.; CARBUNE, V. System for measuring the parameters of magnetic microwires. *VIII International Salon of Inventions and New Technologies „New Time”*, September 27-29, Sevastopol, Ukraine. 2012, pp.146-147.
 12. ZAPOROJAN, S.; CALMICOV, I; PAVEL, V.; LARIN, V.; CARBUNE, V. System for measuring the parameters of magnetic microwires. *VI International Warsaw Invention Show – IWIS 2012*, October 16-19, Warsaw, Poland. 2012, p.66.
 13. ZAPOROJAN, S., PLOTNIC, C., CALMICOV, I. Some of the aspects of decision design in development of the intelligent wire casting machine. *Abstracts of 2nd International Conference on Modelling and Development of Intelligent Systems*. Sep. 29 - Oct. 02, Sibiu, Romania, 2011. p. 26.
 14. ZAPOROJAN, S.; CALMICOV, I; PLOTNIC, C.; LARIN, V.; PAVEL, V. Intelligent system for the fabrication of glass-coated microwires. *European Exhibition of Creativity and Innovation – EUROINVENT 2011*, May 12-14, Iasi, Romania, 2011. p.100. ISBN 978-973-702-851-8.
 15. ZAPOROJAN, S.; PAVEL, V.; LARIN, V.; CALMICOV, I. An Approach for Measuring the Parameters of Magnetic Wires. *Book of abstracts of the International workshop on magnetic wires IWMW-2008*. May 8-10, Zumaia, Spain, 2008, p. 45.
 16. ZAPOROJAN, S.; LARIN, V.; PLOTNIC, C.; CALMICOV, I.; PAVEL, V. Development of an intelligent plant for the fabrication of glass-coated microwires. *Book of abstracts of the 14-th International Congress of Cybernetics and Systems of WOSC ICCS-2008*. Sep. 9-12, Wroclaw, Poland, 2008, p. 72.
 17. ДОРОГАН, В.; ЗАПОРОЖАН, С.; МУНТЯНУ, Е.; ВИЕРУ, С.; ЛАРИН, В.; ПАВЕЛ, В.; КАЛМЫКОВ, И.; СЕКРИЕРУ, В.; ВИЕРУ, Т.; ДОРОГАН, А. Оптическая система для измерения диаметра жилы и толщины стеклянной оболочки микропровода. В: *17-й Московский международный Салон изобретений и инновационных технологий АРХИМЕД 2014*, Москва, Россия, 1-4 апр. 2014. Каталог инноваций: Электричество, электроника, нанотехнологии. М., 2014, с.16.
 18. ЛАРИН, В.; ЗАПОРОЖАН, С.; КАЛМЫКОВ, И.; КИКУ, Л. Магнитные свойства литых микропроводов с индуцированной анизотропией. “Магнитные Материалы. Новые Технологии”: *Сборник трудов V-ой Байкальской международной конференции*. Сентябрь 21-25, Иркутск, Россия, 2012, pp. 63-64. ISBN 978-5-85827-756-9.

Brevete de invenții:

1. DOROGAN, V.; ZAPOROJAN, S.; MUNTEANU, E.; LARIN, V.; PAVEL, V.; VIERU, S.; VIERU, T.; CALMICOV, I. *Dispozitiv pentru măsurarea diametrului miezului și grosimii învelișului din sticlă al microfîrului*. Brevet de invenție MD 941. 2016-03-31.
2. DOROGAN, V.; ZAPOROJAN, S.; MUNTEANU, E.; LARIN, V.; PAVEL, V.; VIERU, S.; VIERU, T.; CALMICOV, I. *Metodă de măsurare a diametrului miezului și grosimii învelișului din sticlă al microfîrului*. Brevet de invenție MD 942. 2016-03-31.

Adnotare

la teza „Soluții încorporate pentru sisteme de măsurare și control în producerea și aplicarea microfiredor” prezentată de către Calmîcov Igor pentru conferirea gradului științific de doctor în științe tehnice, Chișinău, 2018.

Structura tezei. Teza de doctor cuprinde introducerea, patru capitole, concluzii, bibliografia cu 135 titluri, 8 anexe, 110 pagini text de bază, inclusiv 52 figuri și 3 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în 33 lucrări științifice.

Cuvinte cheie: sisteme încorporate, microfiredor, sisteme de suport decizional, sisteme de control, procesarea imaginilor, machine vision.

Domeniul de studiu îl constituie aspectele teoretice și practice ale modelării și controlului procesului de turnare a microfiredorului prin metoda Taylor-Ulitovsky, construirii structurilor de suport decizional în sisteme cu grad înalt de incertitudine și aplicării materialelor avansate.

Scopul lucrării constă în elaborarea și dezvoltarea unor noi soluții tehnico-științifice pentru sporirea eficienței sistemelor de producție industrială a microfiredorului cu înveliș din sticlă, controlul calității microfiredorului turnat și dezvoltarea de aplicații avansate cu microfiredor.

Noutatea și originalitatea științifică constă în propunerea a noi modele și tehnici pentru comanda și controlul inteligent a procesului de turnare a microfiredorului, cu posibilitatea de a urmări și de a estima parametrii capilarului în condiții operaționale. Originalitatea soluțiilor propuse constă în îmbinarea tehnicilor machine vision cu metodele și algoritmi logicii fuzzy, care permit comanda și controlul procesului în regim de predicție a evoluției acestuia în timp real.

Problema științifică soluționată rezidă în elaborarea unui model original de estimare în timp real a formei geometrice a capilarului caracteristic procesului de turnare a microfiredorului prin metoda Ulitovsky-Taylor, fapt care a condus la dezvoltarea unei abordări predictive în comanda și controlul procesului respectiv, cu posibilitatea de creștere a calității microfiredorului turnat.

Semnificația teoretică a lucrării o constituie propunerea soluțiilor inovative care pot servi la acumularea cunoștințelor operatorului uman de calificare foarte înaltă. Implementarea modelului propus presupune dezvoltarea unui algoritm de autoînvățare online pentru completarea și/sau modificarea bazei de cunoștințe, utilizate la ajustarea strategiilor de control la nivelul motorului de inferență al sistemului de comandă și control.

Valoarea aplicativă a lucrării constă în: 1) elaborarea unei platforme tehnologice încorporate pentru achiziția, procesarea și analiza datelor privind evoluția procesului de turnare a microfiredorului; 2) elaborarea noilor sisteme de măsurare a caracteristicilor microfiredorului magnetice; 3) elaborarea sistemelor de detectare a amprentelor formate din microfiredor.

Implementarea rezultatelor științifice constă în utilizarea modelelor și sistemelor elaborate în cadrul companiei “Microfir Tehnologii Industriale” S.R.L. Valoarea aplicativă a lucrării se confirmă inclusiv prin 2 acte de implementare a rezultatelor obținute.

Annotation

for science degree in technics with title “Embedded solutions for measurement and control systems in fabrication and application of microwires”, presented by Igor Calmîcov for conferring a PhD Degree in technical sciences, Chişinău, 2018.

Thesis structure. The Ph.D. thesis comprises the introduction, four chapter, conclusions bibliography (135 titles), 8 appendixes, 110 pages of main text, 52 figures and 3 tables. The obtained results are published in 33 scientific articles.

Keywords: embedded systems, microwire, decision support systems, control systems, image processing, machine vision.

The study domain includes theoretical and practical aspects of modeling and control of the microwire casting using the Taylor-Ulitovsky method, decision support structures construction in systems with high degree of uncertainty and application of advanced materials.

The purpose of research consists of elaboration and development of embedded solutions for the increasing of microwire production systems efficiency, microwire quality control and development of new applications based on the microwires.

The scientific novelty consists in forwarding of new models and technics for intelligent command and control of the microwire casting process with possibility to track and estimate the parameters of capillary in operational conditions. The originality of proposed solutions consists in combining machine vision techniques with fuzzy logic methods and algorithms that allow command and control of the process using prediction of its evolution in real time.

The solved scientific problem resides in the elaboration of an original model for real-time estimation of the geometric shape of the capillary during the microwire casting, which led to the development of a predictive approach in command and control of the process, and increasing the quality of the cast microwire.

The theoretical significance of the work consists of innovative solutions that can serve to accumulate the knowledge of the highly skilled human operator. The implementation of the proposed models involves the development of an online self-learning algorithm for completing and/or modifying the knowledge base, which can be used to adjust control strategies in order to develop the inference engine.

The applied value consists in: 1) elaboration of an embedded technological platform for the acquisition, processing and analysis of data regarding the evolution of the microwire casting process; 2) elaboration of new systems for measuring the characteristics of magnetic microwires; 3) development of detection systems for magnetic microwire based tags.

The implementation of scientific results consists in the use of elaborated models and systems within the Microfir Tehnologii Industriale LTD.

Аннотация

диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук с темой „Встроенные решения для систем измерения и контроля в производстве и применении микропроводов”, автор Калмыков Игорь, Кишинэу 2018.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов, библиографии из 135 наименований, 8-и приложений, 110 страниц основного текста, включая 52 рисунков и 3 таблицы. Полученные результаты опубликованы в 33-х работах.

Ключевые слова: встроенные системы, микропровод, системы принятия решений, системы контроля и управления, обработка изображения, машинное зрение.

Область исследования касается теоретических и практических аспектов моделирования, контроля и управления процесса литья микропровода методом Улитовского, построения структур принятия решений в условиях неопределенности.

Цель работы состоит в повышении эффективности систем промышленного производства и качества литого микропровода, а также разработке новых применений с использованием микропровода.

Научная новизна и оригинальность полученных результатов заключается в том что предложены новые модели и средства для контроля процессом литья с возможностью отслеживать и оценивать параметры капилляра в рабочем режиме. Оригинальность предложенных решений заключается в сочетании методов и средств машинного зрения и нечеткой логики, что позволяет контролировать процесс литья в режиме предсказания.

Решённая научная задача состоит в разработке оригинальной модели для оценки в реальном времени геометрической формы капилляра характерной для процесса литья микропровода, что способствует разработке предиктивного подхода для контроля и управления процессом.

Теоретическое значение заключается в предложении инновативных решений, которые могут служить для развития системы сбора знаний опытного оператора. Внедрение предложенной модели предполагает разработку самообучающегося алгоритма в целях создания базы знаний и применения в корректировке управляющих стратегий.

Практическая значимость работы заключается в 1)разработке встроенной платформы для сбора, обработки и анализа данных о ходе процесса литья; 2) разработке встроенных систем измерения параметров магнитных микропроводов; 3) разработке систем считывания меток на основе магнитных микропроводов.

Внедрение научных результатов состоит в использовании предложенных моделей и систем в рамках компании “Microfir Tehnologii Industriale” S.R.L. Практическая значимость работы подтверждается двумя актами о внедрении полученных результатов.

CALMÎCOV IGOR

**SOLUȚII ÎNCORPORATE PENTRU SISTEME DE MĂSURARE ȘI CONTROL ÎN
PRODUCEREA ȘI APLICAREA MICROFIRELOR**

**232.01 – SISTEME DE CONDUCERE, CALCULATOARE ȘI REȚELE
INFORMAȚIONALE**

Autoreferatul tezei de doctor în științe tehnice

Aprobat spre tipar: 22.05.2018

Hîrtie ofset. Tipar RISO

Coli de tipar: 2,0

Formatul hârtiei 60x84 1/16

Ttirajul 50 ex

Comandă nr. 45

UTM, 2018, Chișinău, bd. Ștefan cel Mare, 168

Editura „Tehnică UTM”,

MD 2045, mun. Chișinău, str. Studenților 9/9

@U.T.M. 2018