

TITLUL TEZEI

ÎMBUNĂTĂȚIREA PROCESULUI DE RĂCIRE SECUNDARĂ A SEMIFABRICATELOR DIN OȚEL TURNATE CONTINUU

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnica Timișoara

în domeniul de doctorat INGINERIA MATERIALELOR

autor ing. GHEORGHIU CSABA ATTILA

conducător științific Prof.univ.dr.ing. HEPUȚ TEODOR

luna Ianuarie anul 2018

CAPITOLUL 1

PLAN DE DESFĂȘURARE A EXPERIMENTĂRILOR ȘI CERCETĂRILOR

Cercetările efectuate și prezentate în cadrul tezei de doctorat au avut obiectiv îmbunătățirea calității semifabricatelor de oțel turnate continuu, acționând asupra principalilor parametri ai turnării continue.

Strategia de cercetare aplicată în vederea elaborării tezei de doctorat a constat în parcurgerea următoarelor etape:

- studiu bibliografic din literatura de specialitate, prelucrarea informațiilor și corelarea acestora cu cele obținute din practica elaborării și turnării oțelului;
- cercetări privind utilizarea în industrie a sistemelor FUZZY;
- cercetări și experimentări industriale efectuate pe un flux tehnologic de procesare în oală a oțelului și turnare continuă;
- concluzii finale, contribuții originale și dezvoltări ulterioare

PARTEA I

STUDIUL DIN LITERATURA DE SPECIALITATE PRIVIND ELABORAREA ȘI TURNAREA CONTINUĂ A OȚELULUI

CAPITOLUL 2

STUDIUL DIN LITERATURA DE SPECIALITATE PRIVIND ELABORAREA ÎN CUPTOARE ELECTRICE CU ARC ȘI TURNAREA CONTINUĂ A OȚELULUI

În prezent la nivel mondial, în siderurgie agregatele termice utilizate pentru elaborarea oțelurilor sunt convertizoarele cu oxigen și cuptoarele electrice cu arc. În România restructurarea economică de după 1989 a avut loc și în siderurgie, în anul 1999 fiind dezafectată ultima oțelărie Siemens – Martin (OSM-II Hunedoara), astfel încât în prezent în țară se elaborează oțel în convertizoare cu oxigen și în cuptoare electrice cu arc, toate oțelăriile fiind echipate cu instalații de turnare continuă.

În continuare se prezintă o serie de parametri tehnologici referitori la elaborarea oțelului în cuptoare electrice cu arc tip EBT (Excentric Bottom Tapping) de capacitate 100t, procesat în LF (Ladle-Furnace) și VD (vid –degazare) și turnate continuu sub formă de semifabricate cu secțiune circulară pe o mașină de turnare cu 5 fire.

După procesare în instalația LF, respectiv și în VD (dacă tehnologia de elaborare prevede această operație) oțelul este turnat continuu secvențial pe o instalație cu 5 fire [1-3].

Această largă răspândire a turnării secvențiale se datorează avantajelor importante ale acestui procedeu, și anume:

- mărirea productivității și a randamentului în urma reducerii timpilor pauză între șarje;
- micșorarea consumului de metal (respectiv mărirea scoaterii de metal bun) datorită reducerii resturilor de la șarje și de la capete;
- un echilibru termic mai favorabil al mașinii și cheltuieli de întreținere și exploatare mai mici (în special pentru rolele intermediare și manoperă).

Menționăm însă că turnarea secvențială pe o perioadă mai lungă impune și o serie de condiții, în special tehnologice, dintre care cele mai importante sunt:

- comenzi mari din aceeași marcă de oțel și dimensiune de semifabricat;
- sincronizarea perfectă între ciclurile de elaborare a cuptoarelor și ciclurile de turnare continuă;
- corectitudinea și constanța compoziției chimice și a temperaturii de turnare a oțelului, pentru a putea fi dirijat mereu la turnarea continuă și a putea amesteca șarjele;
- funcționarea corectă a instalației de turnare continuă pentru a reduce la minimum opririle;
- calitatea superioară a cristalizoarelor, care să permită turnarea prelungită, asigurând o transmisie constantă de căldură și păstrarea formei inițiale.

Din studiul efectuat se desprind următoarele concluzii:

- în prezent majoritatea oțelărilor electrice sunt echipate cu cuptoare cu arc electric de mare putere tip E.B.T. și mașini de turnare continuă;
- durata șarjei la asemenea cuptoare este cuprinsă între 45 – 75 min (foarte apropiată de cea la convertizoarele cu oxigen);
- productivitatea este în medie circa 100 t/h;
- în fluxul de fabricație este prevăzută procesarea oțelului prin așa numita metalurgie în oală, de regula în instalații de tip LF, de multe ori în flux cu instalații de vidare;
- durata procesării în asemenea instalații este cuprinsă între 42 – 80 minute, fiind influențată de structura secvenței de turnare;
- se tinde spre creșterea cantității de oțel turnat într-o secvență (respectiv a numărului de oale turnate);
- instalațiile moderne de turnare asigură turnarea unei game variate de semifabricate de diferite secțiuni poligonale, circulare și produse plate;
- tendința actuală este de a se turna semifabricate cu secțiune cât mai apropiată de cea finală.

CAPITOLUL 3 SISTEME FUZZY ÎN PROCESUL TURNĂRII CONTINUE

În cazul reglării Fuzzy algoritmi de reglare convenționali sunt înlocuiți printr-o serie de reguli lingvistice de forma ***Dacă (premița) atunci (concluzie)***. Astfel, se obține un algoritm euristic și poate să se ia în considerare experiența operatorului pentru conducerea proceselor. În aceste condiții logica Fuzzy se pretează foarte bine conducerii proceselor.

Regulatorul Fuzzy, spre deosebire de un regulator clasic, nu tratează informația printr-o relație matematică bine definită (algoritm de reglare), ci utilizează inferențe cu mai multe reguli, bazându-se pe variabile lingvistice. Aceste inferențe sunt tratate prin operatori ai logicii Fuzzy.

Logica Fuzzy a fost introdusă pentru a trata matematic informațiile vagi. Reprezentarea matematică a informației vagi are la bază introducerea *funcției de apartenență* ca o măsură a apartenenței unui element la o mulțime sau la o valoare lingvistică. *Modelarea lingvistică* constă în asocierea unei mărimi fizice a unei variabile lingvistice, cu mai multe valori lingvistice, pe baza cărora se vor putea asocia și diverse funcții de apartenență.

Descriind un procedeu el poate fi descompus în mai multe subprocedee, și astfel

poate deveni foarte complex. Descrierea unui procedeu poate fi făcută simplu în maniera:

*Dacă condiția 1, atunci operația 1, sau
dacă condiția 2, atunci operația 2, sau,
dacă condiția n, atunci operația n.*

Diferitele condiții se compun în general din mai multe variabile lingvistice, legate între ele prin operatorii ȘI respectiv SAU [4-8].

Aplicarea logicii Fuzzy în reglare

Reglarea Fuzzy este o versiune simplificată a logicii Fuzzy, prin aceea că în reglarea Fuzzy se folosește o singură metodă de inferență, care este o combinație între valori exacte de intrare și reguli *dacă - atunci*. Aceste reguli sunt reprezentate printr-o relație Fuzzy binară.

Din studiul efectuat referitor la sisteme Fuzzy în procesul turnării continue și prezentat în sinteză în acest capitol, se desprind următoarele concluzii:

- regulatorul Fuzzy, spre deosebire de un regulator clasic, nu tratează informația printr-o relație matematică bine definită (algoritm de reglare), ci utilizează inferențe cu mai multe reguli, bazându-se pe variabile lingvistice;
- primele aplicații ale logicii Fuzzy în sistemele de reglare au apărut în 1975 iar din 1985 japonezii au început să o utilizeze în procesele industriale pentru rezolvarea problemelor de conducere;
- în Europa, cercetările în aplicarea logicii Fuzzy în reglare au debutat mai târziu, de exemplu, pentru Germania anul demarării unor cercetări sistematice se consideră 1991;
- sistemele de reglare Fuzzy pot fi considerate de dată recentă și ca urmare cu cât se efectuează mai multe cercetări pot fi furnizate noi informații tehnice în acest domeniu.

PARTEA II

CERCETĂRI ȘI EXPERIMENTĂRI PRIVIND CONDUCEREA PROCESULUI DE TURNARE CONTINUĂ A OȚELULUI UTILIZÂND SISTEMELE FUZZY

CAPITOLUL 4

CERCETĂRI PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA CALITĂȚII SUPRAFETEI SEMIFABRICATELOR DE OȚEL TURNATE CONTINUU

În cadrul acestui capitol s-a avut în vedere cercetarea unor procese ce au loc în cristalizor, la turnarea continuă a oțelului, care să conducă la grosime suficientă de mare a crustei de solidificare, care să nu genereze defecte de suprafață, pe de o parte, iar pe de alta parte la o bună lubrifiere, deci la o suprafață a semifabricatelor fără fisuri. În acest sens au fost stabilite o serie de corelații între vâscozitatea zgurilor de lubrifiere și caracteristicile chimice a acestora, la fel în cazul tensiunii interfazice. Datele au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB, rezultatele obținute fiind prezentate atât sub formă analitică, cât și grafică, respectiv analizate din punct de vedere tehnologic.

Corelația multiplă permite alegerea valorilor optime pentru temperatură MgO, CaO/SiO₂ și Al₂O₃ care să determine obținerea unei vâscozități într-un anumit domeniu, în funcție și de oțelul care se toarnă (temperatura de turnare a acestuia, dimensiunea semifabricatului, destinația etc.) de dorit să fie 0,4-1,4Ns/m².

Limite de variație ale variabilelor: dependentă independente: CaO/SiO₂ = 0.7 - 1.14 ; (Al₂O₃+MgO) = 5,5.85 - 14.9%; T = 1200 - 1500 °C; Vâscozitatea η = 0.08-5.14Ns/m²; Valorile medii /abaterele variabilelor: CaO/SiO₂ 0.88221/0.10503; (Al₂O₃+MgO) 8.9374/2.1778; T = 1332.8/ 99.163; η = 0.8469/ 0.84795.

Ecuția hipersuprafeței de regresie:

$$\eta = -3.8075 \cdot \text{CaO}/\text{SiO}_2 + -0.0043 \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) + 1.9617e-005 \cdot T + -0.6181 \cdot \text{CaO}/\text{SiO}_2 \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) + -0.0011 \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) \cdot T + 0.010126 \cdot T \cdot \text{CaO}/\text{SiO}_2 + -2.7738 \cdot \text{CaO}/\text{SiO}_2 + 2.2249 \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) + -0.057106 \cdot T + 33.962$$

Coeficientul de corelație: $r_f = 0.9547$; Abaterea de la suprafața de regresie: $s_f = 0.2524$;

Coordonatele punctului șa sunt : $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 0.92793$; $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) = 7.4678\%$;

$T = 1427.6228^{\circ}\text{C}$; $\eta = 0.21964$;

Deoarece aceasta hipersuprafața nu poate fi reprezentată în spațiul cu 4 dimensiuni, s-a recurs la înlocuirea, succesiv, a câte unei variabile independente cu valoarea ei medie. Aceste suprafețe, care aparțin spațiului cu 3 dimensiuni pot fi reprezentate și interpretate de tehnologi.

Pe baza cercetărilor efectuate, respective a rezultatelor obținute pot fi concluzionate următoarele:

- între parametric de răcire din zona secundară a instalației de turnare continuă și viteza de turnare continuă a oțelului se pot stabili corelații tehnologice reprezentative, exprimate analitic și grafic;
- pe baza reprezentărilor grafice, se pot alege în funcție de temperatura de turnare a oțelului și debitul apei de turnare se poate alege viteza de turnare prescrisă;
- rezultatele pot fi utilizate în practică la turnarea semifabricatelor $\varnothing 180\text{mm}$.

CAPITOLUL 5

SISTEM FUZZY PENTRU CONTROLUL DEBITULUI APEI PENTRU RĂCIREA SECUNDARĂ A OȚELULUI

În prezentul capitol se propune o soluție Fuzzy care, grefată pe structura existentă a sistemului de conducere a turnării continue elimină fisurile apărute în zona de răcire secundară, prin generarea corecțiilor necesare modificării valorii impuse pentru debitul apei și respectiv vitezei de turnare.

Sistemele de eliminare a fisurilor, existente în acest moment, nu se pot elimina fisurile dacă acestea sunt detectate în zona secundară de răcire a oțelului, utilizând principiul predictiv propus, acest dezavantaj este eliminat, practic, baza de reguli a fost concepută special pentru acest scop și ea conține măsurile care trebuie luate pentru a diminua riscul de apariție a unei fisuri, atunci când încă nu a apărut.

În prezent, turnarea continuă asigură cea mai mare parte a semifabricatelor pentru industria metalurgică. Procesul este unul foarte complex, cu o productivitate ridicată, dar, datorită unor probleme tehnologice, poate genera defecte de calitate prin crăparea crustei semifabricatului. Aceste defecte conduc la o calitate inferioară a semifabricatelor și la pierderi economice. Domeniul turnării continue a fost dezvoltat și consolidat ca o direcție importantă de cercetare, concentrându-se eforturile colective de cercetare ale numeroșilor specialiști din domeniul academic și din industria metalurgică [9-14].

Introducerea unui astfel de sistem inteligent este o abordare relativ nouă în domeniu. Sistemul Fuzzy poate fi adaptat la toate tipurile de instalații de turnare continuă, deoarece nu necesită schimbări hardware majore și poate fi aplicată la orice instalație de turnare continuă.

Deoarece condițiile și regulile se modifică în funcție de zona în care se află semifabricatul, a fost necesară proiectarea de sisteme Fuzzy diferite pentru fiecare zonă de răcire în parte.

În urma prelucrării datelor de intrare, se generează corecțiile necesare pentru a modifica valorile impuse ale vitezei de turnare și respectiv ale debitului apei de răcire secundară, cu scopul de a elimina orice fisură din semifabricat.

Este pentru prima dată pe plan național și mondial, când se comandă modificarea celor

șase mărimi ($v_1, v_2, v_3, q_1, q_2, q_3$ viteza de turnare și debitul apei de răcire pentru fiecare zonă de răcire în parte), pentru eliminarea fisurilor din semifabricatul turnat continuu. Bazele de reguli sunt astfel concepute încât, prima mărime care se modifică este debitul apei de răcire, iar după aceea se modificată viteza de turnare. Acest principiu s-a folosit pentru a menține pe cât posibil productivitatea instalației (diminuarea vitezei de turnare duce la scăderea productivității).

Proiectarea IFS

Proiectarea propriu-zisă a IFS s-a realizat în Matlab folosind toolbox-ul Fuzzy. Practic sunt trei IFS-uri, câte un IFS pentru fiecare zonă în parte a răcirii secundare, numite IFS ZONA 1, IFS ZONA 2 și IFS ZONA 3 și au ca mărimi de intrare viteza de turnare (v), debitul apei în răcirea secundară (q), temperatura oțelului (T).

Cele trei sisteme produc la ieșire câte 3 mărimi și anume: corecția debitului apei de răcire secundară, corecția vitezei de turnare și riscul tehnologic.

Pentru analiza calitativă a funcționării IFS, se propune simularea acestuia cu ajutorul mediului Matlab-Simulink. Citirea temperaturii este simulată după datele obținute din proces folosind un șir de date numerice. Pentru a porni simularea trebuie introduse mărimile vitezei de turnare și a debitului apei, programul v-a corecta aceste valori folosind o buclă prin care corecția obținută modifică datele de intrare. Timpul de funcționare al simulării este de 1000 de secunde, fiecare buclă de calcul având 3.2 secunde.

Concluzii

Pe baza cercetărilor efectuate și prezentate în cadrul acestui capitol se pot concluziona următoarele:

- a fost propusă o soluție Fuzzy originală pe structura existentă a sistemului de conducere a turnării continue care elimină fisurile apărute în materialul turnat în zona secundară de răcire;
- a fost concepută schema unui sistem de decizie Fuzzy, care analizând o serie de mărimi preluate din proces produce modificări ale debitului apei de răcire și ale vitezei de turnare;
- în literatura de specialitate, de pe plan național cât și de pe plan mondial, nu există o corecție inteligentă a debitului apei în răcirea secundară a oțelului, cu un reglaj în timp real și pe zone de răcire;
- întocmirea bazelor de reguli s-a făcut utilizând experiența operatorilor umani și informații culese direct din proces la instalația de turnare continuă, din cadrul ArcelorMittal Hunedoara S.A.;
- verificarea și confirmarea bazelor de reguli și a IFS proiectate a fost efectuată prin simulare în Simulink
- din analiza rezultatelor simulării se constată că, indiferent de valorile mărimilor generate la intrare, IFS-ul elaborează corecțiile necesare pentru viteza de turnare și debitul apei de răcire secundară, ceea ce confirmă validitatea funcționării sistemului;
- din punct de vedere calitativ, utilizarea sistemului de decizie Fuzzy este o metodă eficientă, practică și ușor de implementat, în scopul analizei unor fenomene complexe și neliniare.

CAPITOLUL 6 CONTROLUL DEBITULUI APEI CU AJUTORUL UNUI PLC LA RĂCIREA SECUNDARĂ A OȚELULUI

Introducere

În cadrul acestui capitol se propune o soluție pentru controlul și optimizarea debitului apei de răcire din zona de răcire secundară a turnării continue, folosind un PLC (controler

logic programabil) SIEMENS S7 300. Plecând de la structura reală a unui sistem de conducere pentru o instalație modernă de turnare continuă, se propune o soluție eficientă, care permite modificarea în timp real a repartiției debitului de apă pe cele 3 zone de răcire secundară. Sistemul propus a fost testat și validat în cadrul determinărilor experimentale pe un stand de laborator precum și pe instalația de turnare continuă existentă la ArcelorMittal Hunedoara S.A. [15-17].

Standul PLC

Pentru a atinge scopul propus în cadrul acestui capitol s-a realizat un stand experimental dedicat controlului și optimizării debitului apei din zona de răcire secundară a turnării continue a oțelului.

Realizarea standului didactic a cuprins două etape și anume:

- proiectarea și realizarea fizică a standului (etapa hardware);
- programarea PLC-ului (etapa software).

Controlul și optimizarea debitului apei de răcire din zona de răcire secundară a turnării continue, sunt importante pentru buna desfășurare a procesului tehnologic, în vederea obținerii semifabricatelor de calitate.

Actualmente în cadrul ArcelorMittal Hunedoara S.A. debitul apei de răcire este reglat de către un operator uman, care preia informațiile referitoare la temperatura oțelului din zona secundară, furnizate de către alt operator ce măsoară acest parametru la anumite intervale de timp cu ajutorul unei sonde de temperatură. Operatorul aflat în camera de comandă are la dispoziție, în funcție de tipul de produs realizat un tabel Excel, ce conține date referitoare la:

- parametrii de turnare pentru tipul de produs;
- diagrama vitezelor de turnare în funcție de temperatură;
- formula de calcul a temperaturii lichidus.

Operatorul din camera de comandă, identifică pentru profilul 270x240 mm intervalul de temperatură din „diagrama vitezelor de turnare” (în situația prezentată 26-35 °C) și introduce valoarea vitezei de 0,75 m/min în câmpul „viteza setată”. În funcție de această valoare (viteza) programul comandă deschiderea sau închiderea vanei sistemului de răcire, în vederea asigurării debitului total al apei de răcire, dar și repartizarea acestuia pe cele 3 zone.

După un interval de timp (7-10 minute) procesul este reluat și datele reintroduse. Aceasta soluție existentă are următoarele dezavantaje:

- erori subiective introduse de factorul uman (operatorul care citește temperatura);
- intervalul mare de timp la care se fac citirile;
- „întârzierea” deschiderii vanei (diferența dintre momentul citirii temperaturii și momentul deschiderii comandate a vanei).

În vederea realizării determinărilor experimentale s-a efectuat un program de măsurători, care are ca scop determinarea valorilor de temperatură în vederea corelării acestora cu parametrii turnării. Acest program cuprinde următoarele etape:

- pregătirea măsurătorilor, alegerea aparatelor, a senzorilor de temperatură, a materialelor și a accesoriilor necesare efectuării determinărilor experimentale;
- stabilirea condițiilor concrete de efectuare a măsurătorilor;
- montarea și calibrarea senzorilor de temperatură;
- efectuarea determinărilor experimentale și prelucrarea rezultatelor obținute.

În prima etapă de pregătire a măsurătorilor, alegerea aparatelor și a senzorilor de temperatură, atât din practica curentă dar, și din literatura de specialitate s-au identificat mai multe metode practice de determinare a temperaturii:

- măsurarea directă a temperaturii din distribuitor cu ajutorul lancei cu termocuplu (situația actuală);
- măsurarea indirectă a temperaturii din distribuitor prin intermediul unei camere video cu infraroșu;

- măsurarea directă, continuă a temperaturii din distribuitor, utilizând un termocuplu izolat ceramic (cu o durată de viață de 24 de șarje).

Aceste metode au o serie de avantaje și dezavantaje, prima metodă are costuri reduse dar ca și dezavantaje, nu măsoară continuu temperatura din distribuitor (interval de aproximativ 10 minute), inducând erori subiective datorită factorului uman (operator) [17-19].

Cea de-a doua metodă anulează dezavantajele primei metode dar din practică s-a demonstrat faptul că datorită prafurilor de izolare termică citirea cu ajutorul acestor camere video cu infraroșu este eronată (considerabil mai mică față de cea reală).

Ultima metodă de măsurare directă luată în calcul are avantajul măsurării continue a temperaturii din distribuitor, elimină factorul uman, dar are costuri relativ ridicate.

Datorită scopului propus s-a optat pentru ultima metodă analizată, costurile putând fi amortizate prin optimizarea răcirii a zonei secundare din turnarea continuă a oțelului și implicit creșterea calității semifabricatului.

După montarea termocuplei și preluarea semnalului compatibil cu PLC-ul s-au realizat experimentările pentru 3 profile diferite de semifabricat, și anume ϕ 180 mm, ϕ 200 mm, ϕ 250 mm, dar aceeași marcă 20MN10.

Pe un PLC identic cu cel folosit în condiții de laborator și existent în Secția „Turnare Continuă” din cadrul ArcelorMittal Hunedoara S.A., s-a transferat programul complet creat (metoda clasică / Fuzzy).

În prima fază PLC-ul a avut doar rolul de a înregistra, stoca și prelucra datele, în vederea validării bunei funcționări a acestuia, fără a avea posibilitatea de a regla debitul (conexiunea cu vanele fiind anulată), răcirea efectuându-se prin metoda clasică. Datele înregistrate și stocate se regăsesc în Anexele 6-12.

După validarea bunei funcționări PLC-ul a fost legat în sistem (realizând conexiunea cu vanele), apoi s-au realizat 3 seturi de turnări utilizând softul realizat.

Astfel pentru ϕ 250 mm, ca urmare a înregistrării și prelucrării datelor am obținut următoarele grafice, atât pentru metoda clasică cât și pentru metoda Fuzzy:

- diferența de temperatură față de lichidus;
- viteza de turnare;
- poziția vanei pe toate zonele de răcire;
- valoarea debitului pe cele 3 zone.

După cum se observă valoarea maximă a diferenței de temperatură este de 67 °C, ce se încadrează în intervalul 0-70 °C impus de procesul tehnologic, răcirea efectuându-se după parametrii prezențați.

Similar s-au efectuat experimentări pentru ϕ 200 mm, respectiv pentru ϕ 180 mm.

În cazul ϕ 200 mm diferența de temperatură maximă a fost de 60 °C, iar pentru ϕ 180 mm, diferența de temperatură maximă a fost de 50 °C.

Din punct de vedere calitativ graficele diferă (metoda clasică – metoda Fuzzy) prin faptul că în cazul metodei clasice graficele sunt prezentate sub forma unei funcții discrete (treaptă), iar în cazul metodei Fuzzy graficele sunt continue.

Atât prin metoda clasică, cât și prin metoda Fuzzy alura graficelor este în concordanță cu situația reală, observându-se faptul că după un anumit interval de timp în care “variația de temperatură” scade, urmează o creștere a acesteia ca urmare a faptului că temperatura din centrul oalei de turnare a oțelului este mai mare, “variația de temperatură” atingând un nou maxim, urmând logic până la sfârșitul turnării o scădere a acesteia.

Metoda Fuzzy, prin intervale mici de timp (250 ms) permite optimizarea în timp real a debitului de apă necesar răcirii oțelului din zona secundară a turnării împărțită în 3 zone.

După cum se observă din graficele debitelor pe cele 3 zone acestea respectă proporționalitatea tehnologică (exemplu pentru ϕ 180 mm debitul total este repartizat pe cele 3 zone astfel: zona 1 – 40%, zona 2 – 40%, zona 3 – 20%), dar și valoarea debitului minim

pentru răcirea secundară (pentru același exemplu: zona 1 – 80 l/min, zona 2 – 80 l/min și zona 3 – 60 l/min).

Debitele sunt în corelație cu viteza de turnare dar și cu tipul profilului, pentru ϕ 200 mm și ϕ 250 mm atât proporționalitatea tehnologică a acestora, dar și valoarea debitului minim pentru răcirea secundară diferă.

Pentru ϕ 200 mm se identifică clar 3 debite diferite datorită proporționalității tehnologice diferite comparativ cu ϕ 180 mm (zona 1 – 33%, zona 2 – 40%, zona 3 – 27%).

Deși proporționalitatea tehnologică a debitului necesar răcirii profilului ϕ 250 mm este identică pe cele 3 zone ale răcirii secundare cu cea a profilului ϕ 180 mm, graficele diferă datorită valorii debitului minim necesar (zona 1 – 60 l/min, zona 2 – 85 l/min și zona 3 – 105 l/min).

Concluzii

În cadrul acestui capitol s-au avut în vedere trei mari direcții:

- proiectarea și realizarea unui stand experimental de laborator în vederea simulării controlului debitului pe toate cele trei zone de răcire secundară la turnarea continuă a oțelului;
- programarea și implementarea PLC-ului de comandă a clapetei vanei în vederea reglării debitului în condiții reale;
- etapele și metodologia de cercetare în vederea îmbunătățirea calității semifabricatelor cu secțiune circulară turnate continuu prin controlul în timp real a debitului apei de răcire.

În prima parte s-a proiectat standul didactic experimental plecându-se de la situația reală existentă în cadrul ArcelorMittal Hunedoara S.A., realizarea acestuia efectuându-se cu elemente hardware compatibile cu PLC-ul. Acest stand are în componența sa o serie de elemente ce pot permite prin stabilirea legăturilor dintre acestea o similitudine în ceea ce privește comanda și reglarea debitului de răcire a oțelului pe toate cele trei zone.

Programarea PLC-ului s-a realizat în două moduri:

1. Primul mod de programare considerat “clasic”, a luat în calcul doar elemente punctuale din situația existentă. Măsurarea temperaturii efectuându-se la intervale definite de timp, programul calculând automat poziția clapetei vanei.

2. Pentru eliminarea dezavantajelor identificate pentru primul mod de programare s-a introdus logica Fuzzy care permite calcularea continuă a poziției clapetei vanei.

PLC-ul fiind de tipul SIMATIC S7 300, pentru programarea “clasică” s-a utilizat software-ul STEP7, iar pentru programarea în timp real s-a folosit aplicația FuzzyControl++.

În ajutorul utilizatorului s-a proiectat o interfață prietenoasă de comandă Scada, folosind aplicația WinCC.

În condiții de laborator s-au validat funcționalitatea standului didactic experimental, dar și logica programării prin cele două metode.

Pentru testarea dar și implementarea sistemului proiectat și realizat, cu acordul conducerii ArcelorMittal Hunedoara S.A., acesta a fost transferat în unul dintre PLC-urile SIMATIC S7 300 (Anexa 13) existente din cadrul secției de turnare continuă. Față de aparatura de laborator, pentru condițiile concrete de exploatare a instalației de turnare continuă, a fost înlocuit potențiometrul cu senzorul de temperatură de tip S. Practic s-au efectuat trei experimente, pentru trei secțiuni de semifabricat diferite ϕ 180 mm, ϕ 200 mm, ϕ 250 mm, atât prin metoda clasică cât și prin metoda cu reguli Fuzzy. Rezultate obținute fiind în concordanță cu cele obținute în condițiile de laborator.

În urma experimentărilor s-a dovedit faptul că soluția Fuzzy propusă este eficientă și mult superioară soluției actuale de control a debitului, putându-se implementa relativ ușor pe orice instalație de turnare continuă nefiind necesare modificări importante din punct de vedere Hardware ale instalației existente.

CAPITOLUL 7
CONCLUZII FINALE RECAPITULATIVE
CONTRIBUȚII ORIGINALE
DIRECȚII DE CONTINUARE A CERCETĂRILOR

Concluzii finale recapitulative

Din studiul literaturii de specialitate și în urma rezultatelor obținute în cadrul cercetărilor efectuate privind **Conducerea procesului de turnare continuă a oțelului cu ajutorul sistemului inteligent Fuzzy**, se pot formula următoarele concluzii finale:

1) Restructurarea economică care a avut loc în România după 1989, a condus la dezafectarea celor 4 oțelării Siemens - Martin, ultima O.S.M.II Hunedoara în iunie 1999 și ca urmare în aceste noi condiții au rămas ca agregate de bază pentru elaborarea oțelului, convertizoarele cu oxigen și cuptoarele electrice cu arc;

2) În oțelăriile electrice care au rămas funcționale după restructurarea economică, au fost instalate cuptoare electrice cu arc moderne tip EBT (Excentric Bottom Tapping), echipate cu transformatoare de mare și foarte mare putere;

3) Echiparea acestor oțelării cu instalații de turnare continuă și de procesare a oțelului în oala de turnare (LF și VD) asigură condiții optime pentru turnarea secvențială și ca urmare acestea pot fi considerate oțelării moderne;

4) Durata șarjei la cuptoarele electrice cu arc tip EBT este cuprinsă între 45 – 75 min (foarte apropiată de cea la convertizoarele cu oxigen), fiind foarte mult influențată de calitatea încărcăturii și gradul de pregătire a acesteia, precum și de calificarea personalului ;

5) Productivitatea în medie 100t/h, fiind influențată de durata șarjei, gradul de pregătire a încărcăturii și foarte mult de conținutul de fier a acesteia;

6) Durata procesării în asemenea instalații LF este cuprinsă între 42 – 80 minute, fiind influențată de structura secvenței de turnare, respectiv de sincronizarea procesului de elaborare și turnare;

7) Se tinde spre creșterea cantității de oțel turnat într-o secvență (respectiv a numărului de oale turnate);

8) Instalațiile moderne de turnare asigură turnarea unei game variate de semifabricate de diferite secțiuni poligonale, circulare și produse plate;

9) Tendința actuală este de a se turna semifabricate cu secțiune cât mai apropiată de cea finală;

10) Referitor la calitatea încărcăturii metalice în ultimii 8-10 ani se constată o creștere a sortimentului de încărcătură de tip scoarțe (de proveniență internă sau externă) cu conținut de fier în limite largi, ceea ce are influență mare asupra consumurilor specifice (metal, energie, materiale refractare etc.

11) Sistemul Fuzzy, spre deosebire de un regulator clasic, nu tratează informația printr-o relație matematică bine definită (algoritm de reglare), ci utilizează inferențe cu mai multe reguli, bazându-se pe variabile lingvistice;

12) Primele aplicații ale logicii Fuzzy în sistemele de reglare au apărut în 1975 iar din 1985 japonezii au început să o utilizeze în procesele industriale pentru rezolvarea problemelor de conducere;

13) În Europa, cercetările în aplicarea logicii Fuzzy în reglare au debutat mai târziu, de exemplu, pentru Germania anul demarării unor cercetări sistematice se consideră 1991;

14) Sistemele de reglare Fuzzy pot fi considerate de dată recentă și ca urmare cu cât se efectuează mai multe cercetări pot fi furnizate noi informații tehnice în acest domeniu.

15) Din analiza corelațiilor simple și multiple, stabilite între grosimea crustei (parametru dependent), lungimea cristalizorului și viteza de tragere (parametrii independenți)

iese foarte bine în evidență interacțiunea tehnologică dintre acești parametri;

16) Creșterea lungimii cristalizorului conduce la creșterea grosimii crustei solidificate, în schimb creșterea vitezei de tragere la scăderea acesteia (ca urmare a reducerii cantității specifice de căldura evacuată);

17) Corelațiile obținute pot fi utilizate în practica curentă și în mod deosebit în cercetare, ba mai mult se consideră că pot fi îmbunătățite și extinse.

18) Calitatea suprafeței semifabricatelor turnate continuu este influențată de caracteristicile zgurii de lubrifiere, mai precis de vâscozitate și tensiunea superficială;

19) Corelațiile stabilite între vâscozitatea zgurii și tensiunea superficială a acesteia, considerați parametri dependenți, parametrii de influență reprezentați prin temperatură și compoziția zgurii sunt reprezentative, atât din punct de vedere matematic, cât și tehnologic;

20) Pe baza corelațiilor obținute, se pot stabili limitele de variație pentru temperatura de topire și cele privind compoziția chimică pentru zgura de lubrifiere, astfel încât să se obțină pentru vâscozitate și tensiunea superficială valori în limitele tehnologice;

21) Între parametrii de răcire a semifabricatelor din zona secundară a instalației de turnare continuă și viteza de turnare a oțelului, au fost stabilite corelații tehnologice reprezentative, exprimate analitic și grafic;

22) Pe baza reprezentărilor grafice, în funcție de temperatura de turnare a oțelului și debitul apei de răcire se poate alege viteza de turnare prescrisă;

23) Aplicarea propusă o soluție Fuzzy originală pe structura existentă a sistemului de conducere a turnării continue, poate conduce la eliminarea fisurii apărute în semifabricatul turnat în zona secundară de răcire;

24) În vederea eliminării fisurilor, a fost concepută schema unui sistem Fuzzy care analizând o serie de mărimi preluate din proces, produce modificări ale debitului apei de răcire și ale vitezei de turnare;

25) În literatura de specialitate, de pe plan național cât și de pe plan mondial, nu există o corecție inteligentă (IFS) a debitului apei în răcirea secundară a oțelului, cu un reglaj în timp real și pe zone de răcire;

26) Întocmirea bazelor de reguli s-a făcut utilizând experiența operatorilor umani și informații culese direct din proces la instalația de turnare continuă, din cadrul Societății Comerciale ArcelorMittal Hunedoara (A.M.-HD);

27) Verificarea și confirmarea bazei de reguli și a Intelligent Fuzzy Sistem (IFS) proiectat, a fost efectuată prin simulare în Simulink

28) Din analiza rezultatelor simulării rezultă că, indiferent de valorile mărimilor generate la intrare, IFS-ul elaborează corecțiile necesare pentru viteza de turnare și debitul apei de răcire secundară, ceea ce confirmă validitatea funcționării sistemului;

29) Din punct de vedere calitativ, utilizarea sistemului de decizie Fuzzy este o metodă eficientă, practică și ușor de implementat, în scopul analizei unor fenomene complexe și neliniare.

30) Sistemul proiectat poate fi adaptat pentru răcirea secundară la toate tipodimensiunile de semifabricate turnate continuu.

Contribuții originale

Pe baza studiului literaturii de specialitate privitor la tematica tezei de doctorat, a experimentărilor în fază de laborator și industriale, a analizei matematice și tehnologice a rezultatelor obținute, rezultă următoarele contribuții originale:

1. Realizarea unei sinteze tehnologice privind:

- fluxul tehnologic de elaborare și turnare a oțelului în cuptoare electrice cu arc de mare putere tip EBT (excentric bottom tapping) de capacitate 100t, tratate în afara cuptorului, respective în oala de turnare, LF (Ladle-Furnace) și VD (vidare-degazare), și turnare continuă

sub formă de blumuri, țagle și bare pe o instalație cu 5 fire;

- o sinteză foarte bine documentată, referitoare la utilizarea în industrie/in siderurgie a sistemului inteligent Fuzzy (IFS), considerat de dată recentă și ca urmare cu cât se efectuează mai multe cercetări pot fi furnizate noi informații tehnice în acest domeniu;

2) Utilizarea programelor de calcul EXCEL și MATLAB, pentru obținerea unor corelații tehnologice prin prelucrarea unor date din literatura de specialitate, dar în mod deosebit obținute în cadrul experimentărilor; toate corelațiile simple (prezentate în lucrare sunt reprezentative) prin funcții polinomiale de gradul 1, gradul 2 și gradul 3.

3) Utilizarea programelor de calcul EXCEL și MATLAB pentru prelucrarea unor date din literatura de specialitate, dar în mod deosebit obținute în cadrul experimentărilor și obținerea unor corelații tehnologice simple și multiple (duble și triple), reprezentative atât din punct de vedere matematic, cât și tehnologic;

4) Corelațiilor obținute, cele simple, exprimate prin funcții polinomiale de gradul 1; 2; 3 și exponențiale, și cele multiple prin funcții polinomiale de gradul 2; 5 și sub formă combinată, sunt prezentate atât sub formă analitică cât și grafică;

5) Analiza corelațiilor din punct de vedere tehnologic și stabilirea domeniilor optime de variație a parametrilor tehnologici;

6) Stabilirea domeniului optim pentru vâscozitatea zgurii în limitele 0,4 – 0,4-1,4Ns/m², ceea ce conduce la limitele de variație ale variabilelor independente: CaO/SiO₂ = 0.7 - 1.14 ; (Al₂O₃+MgO) = 5.85 - 14.9% și T =1200 – 1500 °C;

7) Limitele de variație a compoziției chimice zgurii care asigură vâscozitatea corespund și pentru tensiunea superficială, mai precis asigură pentru această caracteristică valori mai mari de 400mJ/m²;

8) Determinarea unor corelații tehnologice între parametrii de răcire din zona secundară a instalației de turnare continuă și viteza de turnare continuă a oțelului se pot stabili corelații tehnologice reprezentative, exprimate analitic și grafic;

9) Stabilirea pe baza reprezentărilor grafice, a valorilor pentru temperatura de turnare a oțelului și debitul apei de răcire astfel încât să se obțină viteza de turnare prescrisă;

În urma experimentărilor s-a dovedit faptul că soluția Fuzzy propusă este extrem de eficientă și mult superioară soluției actuale de control a debitului, putându-se implementa relativ ușor pe orice instalație de turnare continuă nefiind necesare modificări importante din punct de vedere Hardware ale instalației existente.

Direcții de continuare a cercetărilor

Având în vedere rezultatele obținute în cadrul elaborării tezei de doctorat, se consideră că prezintă interes continuarea cercetărilor în următoarele direcții:

1) Experimentarea în continuare a sistemului Fuzzy proiectat, la Oțelăria Electrică nr. 2 –ArcelorMittal Hunedoara și compararea/verificarea rezultatelor obținute utilizând corelațiile Excel și Matlab;

2) extinderea sistemului proiectat și la turnarea continuă a șleburilor și a bramelor;

3) proiectarea unui sistem Fuzzy (IFS) pentru conducerea proceselor de elaborare a oțelului pe fluxul cuptoarele electrice cu arc EBT și Metalurgia în Oală (LF și VD).

Bibliografie

1. E. Ardelean, „Turnarea semifabricatelor de oțel”, Ed. Mirton Timișoara, 2004.
2. E. Ardelean, T. Hepuț, M. Ardelean, „Turnarea continuă a oțelului”, Ed. Politehnica Timișoara, 2001.
3. E. Ardelean, A. Socalici, T. Hepuț, M. Ardelean, „Research regarding the temperature influence on continuous casting process”, Scientific Bulletin of the „Politehnica” University of Timișoara, 2005.
4. N. Oargă, T. Hepuț, E. Ardelean, E. Popa, „Studiu privind defectele interne a semifabricatelor turnate continuu”, Analele Facultății de Inginerie Hunedoara, Tomul III, Fascicola 1, 2001.
5. E. Ardelean, „Teză de doctorat”, Universitatea Politehnica Timișoara, 2004.
6. E. Popa, „Teză de doctorat”, Universitatea Politehnica Timișoara, 2009.
7. F. Drăgoi, „Teză de doctorat”, Universitatea Politehnica Timișoara, 2012.
8. I. Dragomir, „Teoria proceselor siderurgice”, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1962.
9. E. Popa, „Cercetari privind influența proceselor fizico-chimice-metalurgice ce au loc la interfețele cristalizor-zgură-oțel lichid”, Ed. Politehnica Timișoara, 2009.
10. Ș. Preitl, R. Precup, „Introducere în conducerea Fuzzy a proceselor”, Editura Tehnică, București, 1997.
11. C. Voloșencu, „Reglare Fuzzy și neuronală”, Editura Eurobit, Timișoara, 1997.
12. F. Angela, L. Marcel, „Quality control în die casting with neural networks”, Proceedings of 1 st International Symposium on Neuro-Fuzzy Systems, pp 1-7, 1996.
13. S. Anghel, C. Cuntan, „Conducerea Fuzzy a procesului de răcire secundară la turnarea continuă”, Sesiunea de comunicări științifice, Hunedoara 2001.
14. S. Anghel, N. Rusu, C. Cuntan, „Sistem expert pentru conducerea procesului de turnare continuă, bazat pe logica Fuzzy”, Sesiunea de comunicări științifice, Petroșani 2001.
15. G. O. Tirian, C. A. Gheorghiu, T. Hepuț, R. Rob, „Fuzzy control strategy for secondary cooling of continuous steel casting”, Innovative Ideas in Science 2016 IOP Publishing, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 200 (2017) 012046 doi:10.1088/1757-899X/200/1/012046, (Scopus).
16. G. O. Tirian, C. A. Gheorghiu, T. Hepuț, C. P. Chioncel, „Control system of water flow and casting speed in continuous steel casting”, Innovative Ideas in Science 2016 IOP Publishing, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 200 (2017) 012047 doi:10.1088/1757-899X/200/1/012047, (Scopus).
17. V. Alexa, I. Kiss and C. A. Gheorghiu “The educational practices and e-learning courses in performing the laboratory works specifics to the hydraulics and pneumatics applications”, Analecta Technica Szegedinensia Issue 3, pp 10-16, Szeged, Hungary, 2013, ISSN 1788-6392.
18. C. A. Gheorghiu and T. Hepuț “Studiu privind parametrii de influență a turnării continue asupra calității semifabricatelor”, pp 1-6, HD-44-STUD, Hunedoara, Romania, May 2014, Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara, (annals.fih.upt.ro).
19. C. A. Gheorghiu, T. Hepuț, “Controlul debitului apei de racire realizat cu ajutorul unui automat programabil PLC”, HD-47-STUD Hunedoara, Romania, 2017, (fih.upt.ro).