

**Controlul de calitate
în metalurgia extractivă
și procesarea materialelor metalice**

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

Controlul de calitate în metalurgia extractivă și procesarea materialelor metalice / Florin Ștefănescu, Mihai Chisamera, Dănuț Cojocaru, - București : Editura Academiei Oamenilor de Știință din România, 2011

Bibliogr.

Index

ISBN 978-606-8371-32-0

I. Ștefănescu, Florin,

II. Chisamera, Mihai

III. Cojocaru, Dănuț

669

Editura Academiei Oamenilor de Știință din România

Adresa: Splaiul Independenței, nr. 54, sectorul 5, cod 050094 București, România

Redactor: ing. Mihail CĂRUȚAȘU

Documentarist: ing. Ioan BALINT

Coperta: ing. sist. Adrian Nicolae STAN

**Copyright © Editura Academiei Oamenilor de Știință din România,
București, 2011**

Florin Stefanescu

Mihai Chisamera

Danut Cojocaru

Stelian Stan

Octavian Trante

**Controlul de calitate
în metalurgia extractivă
și procesarea
materialelor metalice**



Editura Academiei Oamenilor de Știință din România

București

2011

Cuprins

1. Controlul temperaturii în metalurgia extractivă și industria procesării materialelor metalice	7
2. Controlul solidificării aliajelor turnate	23
3. Controlul compoziției chimice	37
4. Controlul semifabricatelor metalice	51
5. Controlul de calitate în metalurgia extractivă și procesarea materialelor metalice	65
6. Sisteme neconvenționale. Controlul câmpului de temperatură în sistemele de solidificare neconvenționale	71
Bibliografie	83

Capitolul 1

Controlul temperaturii în metalurgia extractivă și industria procesării materialelor metalice

1.1. Importanța controlului temperaturii în industria prelucrării la cald

Cunoașterea și controlul temperaturii sunt condiții esențiale în procesele de prelucrare la cald specifice industriei procesării materialelor metalice (metalurgia extractivă, fabricația de piese prin turnare, sudare sau deformare plastică la cald, tratamentul termic al pieselor, etc.). Un control deficitar al temperaturii într-un flux de procesare la cald a unui material metalic conduce la o serie de efecte negative legate atât de calitatea produsului/semifabricatului (compoziție chimică, proprietăți de turnare, structură, proprietăți fizico-mecanice, etc.) cât și de eficiența procesului de fabricație (randament termic, consum de energie, consum de materiale refractare, consum de manoperă, etc.) putându-se ajunge la o fabricație neeficientă sau la blocarea procesului de fabricație. De aceea, temperatura metalului prelucrat trebuie să fie situată strict între limitele determinate și cerute de tehnologia de fabricație și departamentul de control al calității produsului.

Precizia, reproductibilitatea și fiabilitatea măsurătorilor de temperatură în condițiile în care aceasta atinge curent valori de ordinul 500...1800 °C (aliaje feroase și neferoase uzuale) și 1800... 4000 °C (materiale refractare, aliaje speciale) depind atât de tehnica și performanța sistemului de măsurare cât și de calificarea personalului care manipulează sau întreține instrumentele de măsură. Alegerea corectă a instrumentului de măsură, în concordanță cu specificul măsurătorii (corpuri solide, metale/aliaje lichide, mediu gazos, suprafețe curate, oxidate, sau acoperite de zgură, medii neutre sau corozive, expuneri de scurtă sau lungă durată, etc) contribuie de asemenea la succesul măsurătorii. La alegerea sistemului de măsurare a temperaturii trebuie să se țină cont de: valoarea maximă a temperaturii de măsurat, precizia indicației aparatului, sensibilitatea aparatului la sollicitări mecanice, sensibilitatea aparatului la acțiunea chimică a mediului în care lucrează, distanța la care se face măsurarea, dacă temperatura trebuie numai citită, înregistrată sau eventual reglată după un program, etc.

1.1.1. Tehnici de măsurare a temperaturii

Temperatura, una dintre cele șapte mărimi fundamentale ale Sistemului Internațional de Unități de Măsură (SI), are la bază unitatea temperaturii

8 CONTROLUL DE CALITATE ÎN METALURGIA EXTRACTIVĂ ȘI PROCESAREA MATERIALELOR METALICE

termodinamice (kelvinul, K), definită ca fracțiunea $1/273,16$ din temperatura termodinamică a punctului triplu al apei. Măsurarea temperaturii în conformitate cu definiția scării fundamentale necesită stabilirea unei scări practice de uz internațional, în care măsurările de temperatură să fie ușor de efectuat, să fie precise și cu grad ridicat de reproductibilitate. În prezent este în vigoare **Scara Internațională de Temperatură** din 1990 (SIT-90) care definește temperatura Kelvin internațională (T_{90} , K) dar, din considerente istorice, utilizează și temperatura Celsius internațională (t_{90} , °C) definită prin relația:

$$t_{90} = T_{90} - 273,15, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.1)$$

Particularități - Scara Internațională de Temperatură din 1990 (SIT 90):

- se bazează pe o serie de puncte fixe de definiție;
- utilizează patru mijloace de interpolare și extrapolare: termometrul cu presiune de vapori, termometrul cu gaz, termometrul cu rezistență din platină și termometrul cu radiație;

- este etalonată la unul sau mai multe puncte fixe; pe baza acestor etalonări și folosind ecuațiile de interpolare specificate în SIT-90, se stabilește întregul domeniu de temperatură al scării, de la 0,65 K până la cea mai ridicată temperatură ce poate fi măsurată pe baza legii de radiație a lui Planck.

Scara națională de temperatură este realizată pe baza termometriei prin contact și termometriei prin radiație. În tabelul 1.1 sunt prezentate punctele fixe de temperatură, între $-189 \text{ } ^\circ\text{C}$ și $1085 \text{ } ^\circ\text{C}$, care stau la baza SIT 90, în cazul **termometriei prin contact**.

Punctele fixe de temperatură care stau la baza termometriei prin contact

Tabelul 1.1

T_{90}, K	$t_{90}, \text{ } ^\circ\text{C}$	Punct fix
83,8058	-189,344 2	Punctul triplu al argonului
234,3156	- 38,834 4	Punctul triplu al mercurului
273,16	0,01	Punctul triplu al apei
302,9146	29,764 6	Punctul de topire al galiului
429,7485	156,598 5	Punctul de solidificare al indiului
505,078	231,928	Punctul de solidificare al staniului
692,677	419,527	Punctul de solidificare al zincului
933,473	660,323	Punctul de solidificare al aluminiului
1 234,93	961,78	Punctul de solidificare al argintului
1 357,773	1 084,62	Punctul de solidificare al cuprului

În domeniul **termometriei de radiație**, scara națională de temperatură este realizată cu ajutorul unui pirometru fotoelectric monocromatic liniar, trasabil la PTB, care reprezintă etalonul de referință al României între $800 \text{ } ^\circ\text{C}$ și $2200 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Metodele și aparatele folosite pentru măsurarea temperaturii se clasifică în funcție de proprietatea fizică a corpului termometric utilizată în acest scop. În general, se folosește variația următoarelor proprietăți fizice ale materialelor sau corpurilor termometrice funcție de temperatură:

- variația dimensiunilor liniare ale unor corpuri solide cu temperatura (termometre cu tub și tijă, termometre cu lamă bimetalică);
- variația volumului funcție de temperatură a unor lichide în tuburi capilare (termometre cu lichid);
- variația presiunii funcție de temperatură a unor vapori, gaze sau lichide aflate într-un volum închis (termometre manometrice);
- variația funcție de temperatură a rezistenței electrice a unor conductoare (termorezistente) și semiconductoare (termistoare) [traductoare termorezistive];
- apariția unei tensiuni termoelectromotoare (t.t.e.m.) la capetele libere a doua conductoare diferite, sudate între ele, când sudura se afla la temperatura de măsurat iar capetele libere la o temperatură cunoscută și constantă (termocupluri);
- acțiunea termică și distribuția spectrală a energiei radiate de un corp încălzit (pirometre optice cu radiație totală, pirometre optice cu benzi de radiație, pirometre spectrale și pirometre cu dispersie sau de culoare);
- alte metode bazate pe variația proprietăților fizice și chimice ale corpurilor.

Din multitudinea de instrumente construite pe aceste principii, utilizate la măsurarea temperaturii, vor fi analizate cele care sunt specifice temperaturilor medii și înalte din sectoarele de prelucrare la cald a materialelor metalice și anume: termorezistențe, termocupluri, pirometre cu radiație și indicatoare de temperatură.

1.1.1.1. Termometre cu rezistență electrică

Termometrele cu rezistență electrică se utilizează pe scară largă la măsurarea temperaturilor cuprinse între $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ și $+900\text{ }^{\circ}\text{C}$. Acestea constau în esență dintr-un rezistor cu o variație cunoscută a rezistenței în funcție de temperatură. Prin măsurarea valorii rezistenței se poate afla temperatura sa și a mediului în care se află.

Relația dintre temperatură (t) și rezistență (R_t) este aproape liniară

$[R_t = R_{t_0}(1 + a \cdot t)]$ dar, o acuratețe mai bună se obține cu relația:

$$R_t = R_{t_0}(1 + a \cdot t + b \cdot t^2 + c \cdot t^3) \quad (1.2)$$

Pentru platină; $a = 0.4 \cdot 10^{-2}$; $b = \sim 10^{-6}$; $c = \sim 10^{-12}$.

Materialele destinate confecționării rezistoarelor pentru aceste termometre trebuie să satisfacă următoarele condiții :

- coeficientul de temperatură al rezistenței, a , să aibă o valoare mare ;
- curba de variație relativă a rezistenței cu temperatura să fie uniformă ;
- rezistivitate mare ;
- compoziția chimică și structura metalului să fie omogene și stabile la variația temperaturii (metalul nu trebuie să se oxideze sau să reacționeze cu mediul înconjurător).

Metalele care satisfac cel mai bine aceste condiții sunt platina, cuprul și nichelul. Traductoarele pe baza de Cu sau Ni lucrează în domeniul $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$... $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ iar cele cu Pt, până la $900\text{ }^{\circ}\text{C}$.

10 CONTROLUL DE CALITATE ÎN METALURGIA EXTRACTIVĂ ȘI PROCESAREA MATERIALELOR METALICE

Termometrul cu rezistență (fig.1.1) se compune din: rezistorul (traductorul) (1), conductoarele de legătură (2), cablul de compensație (3), sursa electrică (4) și aparatul electric de măsurat variația rezistenței (5)

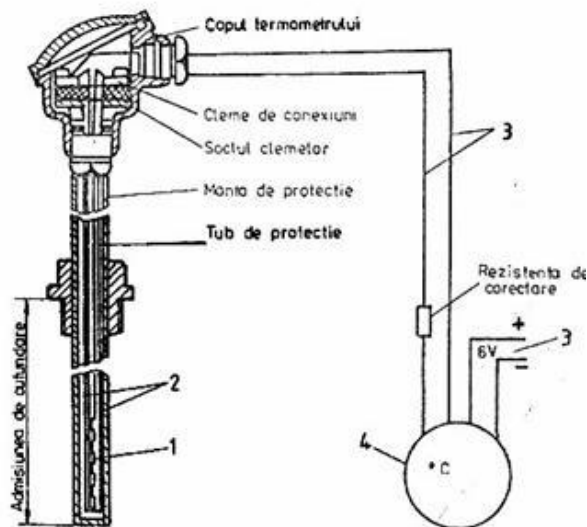


Fig. 1.1. Termometru cu rezistență: 1 – rezistor(traductor); 2 – conductori de legatură; 3 - cablu de compensație; 4 – sursa electrică; 5 – aparatul de măsură.

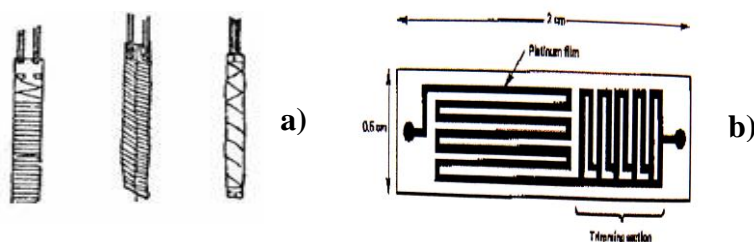


Fig. 1.2. Forme constructive de rezistori: a – varianta clasică; b – varianta perfecționată

Rezistorul este de fapt o bobina înfășurată pe un schelet realizat dintr-un material bun izolator electric (mică, cuarț, porțelan, sticlă, mase plastice). În fig.1.2 a. se prezintă câteva forme constructive ale elementului sensibil în varianta clasică.

În variantele perfecționate, senzorii se realizează prin depunerea unui strat sub formă de grilă din Pt pe suport ceramic, rectificat apoi cu un fascicul laser astfel încât să se obțină o rezistență de exact 100Ω la $300 ^\circ\text{C}$ (Fig. 1.2 b).

Senzorul se introduce într-o manta de protecție care la rândul ei se afla într-un tub metalic sau ceramic care nu diferă de cel pentru termocupluri (Fig.1.3). Pentru măsurarea variației rezistenței trebuie ca senzorul să fie străbătut de un curent electric constant. În acest sens se utilizează o sursă de curent continuu cu tensiunea de 4 -12V. Aparatele lucrează cu punte Wheatstone echilibrată sau neechilibrată și prezintă avantajul ca sunt stabile, reproductibile și au o liniaritate ridicată.

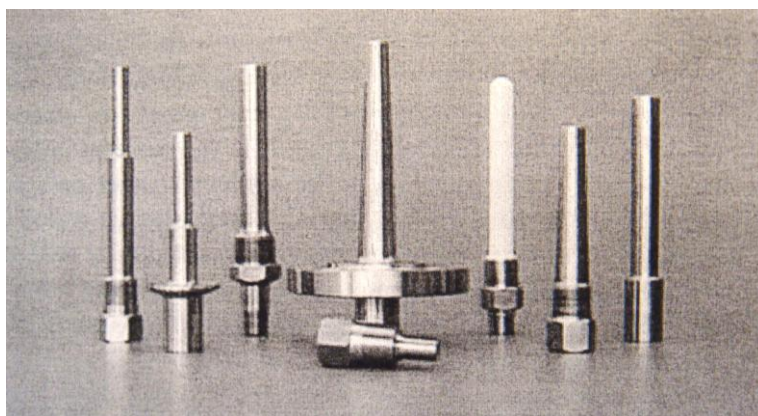


Fig.1.3. Variante de teci de protecție pentru termorezistențe și termocupluri

1.1.1.2. Termometre termoelectrice (termocupluri)

Funcționarea termocuplurilor se bazează pe efectul termoelectric generat de un circuit închis format din doi conductori din metale sau aliaje diferite, dacă cel puțin două puncte de sudură au temperaturi diferite.

Punctul de legătură numit sudură caldă se amplasează în mediul căruia i se măsoară temperatura, iar celălalt punct numit sudură rece, este înlocuit cu aparatul de măsură.

Partea sensibilă la temperatură a termocuplului (perechea de conductori) constă din două fire sau benzi de metale diferite sudate la un capăt în mediu protector. Dacă joncțiunea celor doi conductori este încălzită, la capetele lor libere apare o tensiune continuă (t.e.m.), a cărei valoare depinde de felul metalelor și de diferența de temperatură dintre punctul de sudură încălzit și capetele reci.

Materialele care servesc la fabricarea termocuplelor trebuie să satisfacă următoarele condiții: să creeze o t.e.m. cât mai mare iar aceasta să fie proporțională cu temperatura și constantă în timp, la temperatură constantă; să aibă o bună conductibilitate electrică; proprietățile electrice ale materialului să nu se modifice la acțiunea mediului în care lucrează.

În tabelul 1.2 se prezintă materialele utilizate curent la confecționarea termocuplurilor iar în Fig.1.4, schema de principiu a unui termocuplu. Din punct de