

Mitică Iustinian NEACĂ

ELECTROTERMIE

Mitică Iustinian NEACĂ

ELECTROTERMIE



EDITURA UNIVERSITARIA

Craiova, 2014

Referenți științifici:

Conf.univ.dr.ing. Eleonor Stoenescu

Conf.univ.dr.ing. Gheorghe Mihai

Copyright © 2014 Universitaria

Toate drepturile sunt rezervate Editurii Universitaria

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

NEACĂ, IUSTINIAN

Electrotermie / Mitică Iustinian Neacă. - Craiova : Universitaria, 2014

Bibliogr.

ISBN 978-606-14-0846-7

621.36

PREFAȚĂ

Această carte a fost gândită și elaborată pentru a veni în sprijinul studenților din facultățile de profil electric, care prin prisma planului de învățământ trebuie să dobândească competențe în domeniul încălzirii electrice. La baza elaborării ei a stat pe de o parte experiența acumulată în peste două decenii de muncă la catedră, iar pe de altă parte cunoașterea suficient de bună a necesităților în domeniu, datorată faptului că în perioada lucrată în industrie autorul a putut să vină în contact cu multe dintre unitățile cu profil electrotehnic din țară. Pornind de la premisa că studenții posedă suficiente cunoștințe de Bazele Electrotehnicii, fenomenele electrotermice sunt abordate ca fiind chestiuni speciale, aplicative, de electrotehnică.

Pe de altă parte, un obiectiv major care a fost urmărit pe parcursul redactării cărții constă în prezentarea fenomenelor într-o manieră clară și concisă, astfel încât ea să poată fi receptată cu un minim de completări chiar și de persoane care nu au studii în domeniul ingineriei electrice.

După introducere, au fost inserate trei capitole scurte care prezintă o serie de noțiuni și cunoștințe ce vor fi utilizate ulterior în studiul fenomenelor și instalațiilor electrotermice specifice. Capitolul al 2-lea și al 4-lea au rolul de a oferi câteva noțiuni de termotehnică strict necesare înțelegerii fenomenelor și respectiv, de a prezenta principalele materiale ce concurează la construcția instalațiilor industriale sau a aparatelor de uz casnic bazate pe transformarea energiei electrice în căldură. Capitolul al 3-lea este dedicat studierii modului în care se poate realiza în general schimbul de căldură și principalelor aspecte care concurează la definirea eficienței energetice a instalațiilor electrotermice.

Capitolele următoare (cap.5 ÷ cap.14) sunt dedicate, fiecare în parte, prezentării diverselor metode de obținere a căldurii din energia electrică și utilizare a practică a lor.

Capitolele 5+6, 7 și 8 sunt mai extinse, datorită faptului că procedeele abordate (încălzirea rezistivă, prin inducție și respectiv prin arc electric) reprezintă modalitățile electrotermice „tradiționale” și pe baza lor, în decursul timpului, au fost dezvoltate foarte multe instalații industriale. Aspectele teoretice și cele legate de construcția fizică a unor instalații, sunt completate de o serie de considerații de ordin practic legate de modalitățile de proiectare a unor astfel de instalații.

Capitolele 9 și 10 (încălzirea datorată pierderilor în dielectric și încălzirea cu microunde) au fost tratate în mod unitar, datorită faptului că ambele procedee au ca scop încălzirea materialelor dielectrice.

Ultimele patru capitole sunt dedicate prezentării metodelor moderne care stau la baza construcției unor echipamente electrotermice de puteri mai mici, și anume: încălzirii cu radiații infraroșii, cu plasmă, cu laser și cu fascicul de electroni.

În cadrul fiecărui capitol s-a încercat o abordare graduală, punctată de explicații și demonstrații, astfel încât noțiunile să poată fi înțelese și de către acei cititori care vin pentru prima dată în contact cu astfel de termeni și fenomene. Cu alte cuvinte, s-a avut permanent în vedere ideea de a oferi cititorului mai întâi noțiunile fundamentale care stau la baza transformării energiei electrice în căldură, urmând ca apoi să fie prezentat modul concret în care fenomenele respective sunt aplicate la realizarea instalațiilor și dispozitivelor electrotermice. S-a urmărit ca, pe cât posibil, explicațiile respective să fie însoțite de o figură, în scopul asigurării unei înțelegeri cât mai depline a fenomenului sau dispozitivului prezentat.

În general, s-a dorit și sperăm că s-a și reușit, elaborarea unei cărți utile oricărei persoane cu preocupări și înclinații tehnice, ușor de lecturat, și care să evite capcana reală pentru publicațiile cu specific tehnic, de a deveni greoaie, prin utilizarea unui aparat matematic sofisticat, fapt care, în ultimă instanță conduce la restrângerea cercului celor cărora li se adresează.

AUTORUL

1. INTRODUCERE

Odată cu focul omul a descoperit "binefacerile" și "avantajele" pe care i le conferă energia termică în realizarea unor procese tehnologice, fie că acestea aveau un scop lucrativ, de realizare a unor obiecte, fie că aveau un scop de consum, în pregătirea hranei. Treptat a învățat să cerceteze, descopere și utilizeze alte modalități de obținere a energiei termice, surse noi de căldură.

Prin descoperirea și punerea la punct a modalităților de producere a energiei electrice s-a deschis o nouă cale, foarte importantă, de producere a energiei termice necesare.

Electrotermia cuprinde totalitatea procedeelelor care folosesc energia electrică pentru obținerea căldurii necesare unei anumite operații tehnologice.

Utilizarea energiei electrice pentru ridicarea temperaturii a evidențiat posibilitatea de obținere a unor avantaje nete comparativ cu celelalte surse de căldură folosite atât anterior cât și după introducerea pe scară largă a folosirii electricității. Câteva dintre aceste avantaje sunt:

- căldura se poate obține cu un randament bun, pierderile fiind mici;
- căldura se poate obține la locul de consum;
- încălzirea realizată într-un spațiu redus poate fi intensă și rapidă;
- materialele încălzite nu mai sunt impurificate de către produse de ardere care apar în cazul folosirii combustibililor (gaze de ardere, cenușă, etc.);
- procesul de încălzire poate fi dirijat precis, controlat și automatizat;
- spațiul de încălzire poate fi ermetizat, vidat, sau umplut cu gaze nobile sau reducătoare;
- condițiile în care lucrează operatorul uman se pot îmbunătăți prin limitarea radiațiilor termice la care este expus și curățirea mediului de lucru.

Ca urmare a acestor avantaje și a altora care nu au fost enumerate domeniile de aplicație a electrotermiei s-au extins permanent, cuprinzând o arie largă de la metalurgie și tratamente termice, până la medicină umană și uz casnic. În industrie utilizarea electrotermiei s-a impus mai ales la realizarea aliajelor feroase și neferoase, a metalelor pure și la tratamente termice. Acest fapt a fost favorizat de posibilitățile rapide de punere în funcțiune a unei astfel de instalații și de debitul ei relativ constant de metal topit elaborat în unitatea de timp. De asemenea se poate anticipa necesarul de energie care va fi necesară pentru a obține o anumită cantitate de metal la o temperatură dată.

Cuptoarele metalurgice electrice realizează aliaje într-o gamă foarte largă de compoziții, având avantajul unei bune omogenizări datorată proceselor

electrodinamice de amestecare continuă a băii de metal topit. O consecință directă a realizării aliajelor în cuptoare electrice este consumul mai redus de energie (datorat pierderilor de metal prin ardere mai mici și randamentului termic mai bun) în condițiile în care calitatea metalului topit este superioară. Primele cuptoare metalurgice s-au realizat în secolul al 19-lea. În 1879 W.Siemens a construit un cuptor cu arc electric având capacitatea creuzetului mică, cu posibilitatea de a elabora 10 kg/oră metal topit. Primul cuptor cu inducție la frecvență industrială datează din 1891. Treptat cuptoarele cu inducție se dezvoltă cuprinzând și gamele de frecvențe mici și înalte. Punerea la punct a unor procedee de stabilizare a arcului electric a permis dezvoltarea rapidă a cuptoarelor cu arc. Experimental s-a constatat că din punct de vedere economic cuptoarele cu arc electric sunt rentabile la capacități mari, în timp ce cuptoarele cu inducție sunt rentabile la capacități mici ale creuzetului.

Pe lângă metale și aliaje, prin procedee electrotermice se realizează sau se prelucrează și multe materiale cum ar fi: electrocimentul, electrocorundul, carbura de siliciu, sticla, materiale ceramice, etc. Aceasta evidențiază faptul că instalațiile electrotehnice nu se întâlnesc doar la procese metalurgice. Sunt multe ramuri industriale unde folosirea proceselor electrotermice au determinat un progres substanțial. Dintre acestea putem enumera: chimia, construcția de mașini, electrotehnica și electronica, etc.

Dacă în prima fază de aplicare a proceselor electrotermice s-au dezvoltat mai ales cuptoarele cu rezistențe electrice, în ultimii ani acestea au înregistrat o dinamică diminuată, o mare atenție acordându-se dezvoltării tehnologiilor de vârf bazate pe utilizarea plasmei și laserului, precum și a microundelor. Prin dezvoltarea tehnologiilor care utilizează laserul și plasma s-a trecut treptat din domeniul instalațiilor metalurgice în domeniul prelucrărilor de finețe care permit realizarea unor produse finite ce reclamă o mare precizie în prelucrare.

Un domeniu unde electrotermia a pătruns foarte puternic, producând mutații importante în cadrul tehnologiilor folosite este asamblarea metalelor prin sudură. Pe lângă sudura cu arc electric, s-au dezvoltat tehnologii de sudare electrică prin topire sau prin presiune care utilizează căldura dezvoltată prin efect Joule în interiorul materialului care se sudează.

Dezvoltarea unor procedee de realizare a încălzirilor prin utilizarea energiei electrice a presupus la rândul său dezvoltarea unor domenii ajutoare, cum ar fi electronica de putere, care are rolul de a rezolva alimentarea instalațiilor de încălzire cu energia electrică în mod optim dozată și transformată, în scopul obținerii unor anumiți parametri termici (temperatură - timp).

În mod asemănător s-au dezvoltat sistemele de acționare ale instalațiilor electrotermice (mai ales acolo unde se cere o precizie deosebită) și sistemele de măsurare a parametrilor proceselor tehnologice și de reglare automată.

În prezent în tot mai multe instalații electrotermice intervine calculatorul electronic care, pe lângă o viteză de reacție superioară, permite asigurarea unei reproductibilități constante a proceselor tehnologice și implicit a pieselor și produselor obținute.

O tendință care a început a se concretiza o constituie combinarea diverselor procedee electrotermice în instalații complexe. Așa de exemplu s-au realizat cuptoare de inducție care conțin unul sau mai multe breneri cu plasmă (la Brighton funcționează un cuptor cu inducție de 500kg, având o bobină de 200kW la frecvența rețelei, combinat cu un brener cu plasmă de 200kW în curent continuu). Având în vedere tendințele actuale de diversificare a procedeele electrotermice, de dezvoltare a celor cunoscute deja, de găsire de noi aplicații pentru diversele metode tehnologice, devine evidentă necesitatea cunoașterii noțiunilor de bază de către viitorii ingineri, care au șanse mereu sporite de a avea tangență la viitorul loc de muncă cu astfel de instalații de încălzire bazate pe utilizarea energiei electrice.

2. NOȚIUNI DE TERMOTEHNICĂ

În cadrul termodinamicii ca și în cadrul altor domenii se utilizează proprietățile fizice ale sistemelor macroscopice, adică ale sistemelor care sunt compuse dintr-un număr foarte mare de particule (atomi, molecule, etc.). Dimensiunile sistemelor macroscopice sunt întotdeauna mult mai mari decât dimensiunile particulelor ce le compun. Cel mai simplu studiu al sistemelor macroscopice se realizează pe sisteme aflate în stare de echilibru, adică într-o stare în care sistemul izolat nu mai suferă schimbări observabile macroscopice.

Există două metode de studiu al sistemelor macroscopice. Prima metodă este aceea adoptată de termodinamica clasică și se bazează pe un număr mic de principii fundamentale (principiile termodinamicii) care operează numai cu parametri macroscopici (presiune, volum, temperatură, etc.). A doua metodă este cea a fizicii statistice, care descrie sistemele macroscopice ținând seama de structura atomică a acestora. Metoda statistică are ca prim scop stabilirea legilor termodinamicii pentru corpurile macroscopice pornind de la legile care descriu comportarea atomică a acestora. Un alt aspect pe care îl urmărește fizica statistică este deducerea proprietăților sistemului macroscopic, cum ar fi, de exemplu, ecuația de stare, pe baza proprietăților sale microscopice. Mărimile macroscopice care caracterizează un sistem macroscopic împreună cu raportul acestuia față de mediul înconjurător formează parametrii macroscopici ai sistemului. Totalitatea parametrilor macroscopici independenți determină starea sistemului. Descrierea proprietăților unui sistem macroscopic este simplă atunci când acesta se află în stare de echilibru termodinamic, adică parametrii macroscopici care-l definesc rămân neschimbați în timp și au aceeași valoare în tot sistemul.

Sistemele macroscopice neizolate pot interacționa între ele și schimba energie. Cel mai evident exemplu de interacțiune este atunci când un sistem efectuează lucru mecanic asupra altui sistem. Totuși, sunt posibile și interacțiuni de sisteme fără să fie efectuat lucru mecanic macroscopic. Se pot considera două sisteme oarecare puse în contact, la care moleculele nu pot trece de la un sistem la altul, nu interacționează chimic și nu se poate efectua un schimb de energie mecanică prin mișcări macroscopice (cele două sisteme se separă printr-un perete subțire nepenetrabil). Cu toate acestea, este posibilă trecerea energiei mișcărilor haotice microscopice a moleculelor care compun cele două sisteme. Cu alte cuvinte, la scară moleculară este posibil schimbul de energie internă între sistemele aflate în contact. Acest tip de interacțiune este *de tip termic* iar energia transferată între sisteme se numește căldură cedată (respectiv căldură primită). Contactul dintre sisteme, prin care este posibil numai transferul de căldură de la unul la altul se numește contact termic.

2.1. Temperatura

O parte a mărimilor utilizate în descrierea sistemelor macroscopice (de exemplu volumul, presiunea, masa, etc.) au o semnificație cunoscută în cadrul mecanicii. Există însă alte mărimi care nu au o semnificație directă în mecanică; dintre acestea, cea mai importantă pentru întreaga termodinamică este *temperatura*. Pornind de la cele afirmate anterior se poate considera că parametrul "temperatură" are următoarele proprietăți:

Dacă două sisteme separate, în echilibru, sunt caracterizate prin aceeași valoare a parametrului temperatură, atunci echilibrul se va păstra și nu va avea loc nici un transfer de căldură atunci când sistemele sunt puse în contact termic unul cu celălalt;

Dacă sistemele sunt caracterizate prin valori diferite ale parametrului temperatură, atunci echilibrul nu se va păstra și se va produce un transfer de căldură când cele două sisteme sunt puse în contact termic.

Parametrul "temperatură" (T) este un parametru care caracterizează starea sistemului și ia aceeași valoare de îndată ce sistemul revine la aceeași stare de echilibru. Analizând mai atent cele două proprietăți ale temperaturii, enunțate mai înainte, se poate concluziona că parametrul T este o mărime empirică, care depinde de referința aleasă pentru definirea sa și de scara de măsură folosită. Pentru a măsura experimental temperatura se poate utiliza orice proprietate convenabilă a materiei, care depinde de gradul său de încălzire, ca de exemplu, rezistența electrică a unui fir de platină, volumul unei mase de mercur, presiunea unei mase de gaz conținută într-un volum fixat, etc. Pentru fiecare dintre aceste dispozitive, denumite generic termometre, se poate defini o scară centigradă (Celsius) definind punctele de 0°C și 100°C ca fiind temperaturile de înghețare și de fierbere a apei, în condiții normale de presiune. Dar aceste scări de temperatură nu coincid cu excepția punctelor fixe, de capăt, ele depinzând de termometrul particular folosit.

Scara de temperatură este complet definită dacă se fixează un punct al său. S-a ales ca punct fix, *punctul triplu al apei*, adică temperatura la care cele trei faze ale apei (solidă, lichidă, gazoasă) coexistă în echilibru. Acest punct este stabil pentru o temperatură și presiune unică a sistemului. Temperatura punctului triplu, T_{tr} , s-a ales astfel încât la mărirea unui grad de pe scara definită cu ajutorul gazului ideal, să existe o diferență de 100 grade între punctele de înghețare și de fierbere a apei. Acest criteriu a condus la valoarea $T_{tr} = 273,16\text{K}$, iar scara de temperatură absolută se numește scară Kelvin. Temperatura de înghețare a apei este $T_0 = 273,15\text{K}$, care se consideră ca fiind egală cu 0°C . Legătura între cele două scări de temperatură uzuale (Celsius și Kelvin) este dată de relația:

$$t = T - T_0 \text{ [}^{\circ}\text{C]} \quad (2.1)$$