

Sorin Vasile SAVU

**PROCESAREA MATERIALELOR ÎN
CÂMP DE MICROUND**



**EDITURA UNIVERSITARIA
Craiova, 2013**

CUPRINS

1. Istoria undelor electromagnetice	11
2. Fizica undelor electromagnetice de înaltă frecvență	21
2.1 Spectrul și undele electromagnetice	21
2.2 Mecanismele încălzirii cu microunde	23
2.2.1 Pierderi în dielectrici	24
2.2.2 Ecuatiile undelor electromagnetice la încălzirea MW	26
2.2.3 Puterea disipată în dielectric	30
2.2.4 Distribuția termică la încălzirea cu MW	31
2.3 Interacțiunea microundelor cu materialele	31
2.3.1 Absorbția microundelor de către mediile dielectrice solide	32
2.3.2 Proprietățile fizice și termice ale materialelor în MW	39
2.4 Principiile fundamentale actuale ale teoriei de transfer de căldură și masă în procesul de încălzire	43
2.5 Aplicații ale microundelor	49
2.5.1 Uscarea cu MW a produselor alimentare	49
2.5.2 Uscarea cu MW a produselor nealimentare	51
2.5.3 Pasteurizarea MW a produselor alimentare	52
2.5.4 Îmbinarea și sinterizarea materialelor ceramice cu MW	52
2.5.5 Reducerea noxelor prin catalizare MW	53
3. Echipamente de procesare în câmp de microunde	55
3.1 Generalități	55
3.2 Generatoare de microunde	58
3.2.1 Clotronul	58
3.2.2 Tubul cu undă progresivă	63

3.2.3	Amplitronul	68
3.2.4	Magnetronul	69
3.3	Ghidul de undă	78
3.4	Aplicatorul	84
3.4.1	Aplicatoare Mono-Mode	86
3.4.2	Aplicatoare Multi-Mode	88
3.5	Instalații de procesare prin încălzire cu microunde	90
3.5.1	Sursa de alimentare a dispozitivului magnetron tip MUEGGE Electronics GmbH	92
3.5.2	Acordorul de impedanță TRISTAN	95
3.5.3	Sistemul de monitorizare și comandă al procesului de încălzire	96
3.5.4	Regulator de proces JUMO IMAGO 500	97
3.5.5	Camera de încălzire	100
4.	Microundele – sursă termică pentru sinterizarea materialelor	101
4.1	Analiza termică diferențială a materialelor în câmp de microunde	101
4.1.1	Analiza termică simplă	101
4.1.2	Analiza termică diferențială	103
4.1.3	Aplicații ale analizei termice	105
4.1.4	Analiza termică diferențială în câmp de microunde DTA-MW	107
4.2	Elaborarea și caracterizarea magneților ceramici nanostructurați pe bază de ferită de bariu tip W (FB - W) în câmp de microunde	112
4.2.1	Elaborarea magneților ceramici nanostructurați prin sinterizare cu microunde	112
4.2.2	Caracterizarea structurală a probelor de FB-W sinterizate	115
4.2.3	Caracterizarea magnetică a magneților ceramici permanenți	119
4.3	Elaborarea și caracterizarea materialelor magnetice pe bază de ferită de bariu tip M în câmp de microunde	121
4.3.1	Pirosinteza MW a FB – M din amestec omogen AO	122

4.3.2	Pirosinteza MW a FB – M din amestec omogen 5BO	124
4.3.3	Pirosinteza MW a FB – M din amestec omogen 20BO	125
4.3.4	Pirosinteza MW a FB – M a amestecurilor tip AM5	128
4.3.5	Pirosinteza MW a FB – M a amestecurilor tip AM20	130
4.3.6	Pirosinteza MW a FB – M a amestecurilor BM	132
4.3.7	Pirosinteza MW a FB – M a amestecurilor 5BM20	133
4.3.8	Pirosinteza MW a FB – M a amestecurilor 20BM5	134
4.3.9	Pirosinteza MW a FB – M a amestecurilor 20BM20	136
4.3.10	Caracterizarea magnetică a FB – M sintetizată prin MW	138
4.4	Optimizarea procesului de încălzire cu microunde în vederea sinterizării materialelor	142
5.	Microundele – sursă termică pentru îmbinarea materialelor	149
5.1	Îmbinarea materialelor polimerice	149
5.1.1	Îmbinarea polimerilor cu plăcuțe susceptoare	149
5.1.2	Îmbinarea polimerilor utilizând pulbere susceptoare	152
5.2	Îmbinarea cu plasmă de microunde a sârmelor de cupru	154
5.3	Îmbinarea eutectică cu MW	161
5.4	Îmbinarea sticlei cu MW	167
6.	Microundele – sursă termică pentru degenerarea structurală a materialelor	175
6.1	Degenerare structurală a materialelor în câmp de microunde	175

6.2	Monitorizarea noxelor emise în procesele de degenerare structurală a materialelor în câmp de microunde	178
-----	--	-----

7. Bibliografie

181

Cuvânt înainte

Cartea reprezintă rezultatele cercetărilor efectuate în cadrul bursei postdoctorale câștigate prin competiție în anul 2010. Primele cercetări în domeniul microundelor au fost realizate la sfârșitul anului 2006 în urma solicitărilor domnului prof. dr. ing. Mihail MANGRA, căruia îi mulțumesc pe această cale. De asemenea, mulțumesc domnului prof. dr. ing. Ion CIUPITU pentru libertatea și sprijinul acordat în efectuarea oricăror cercetări care au condus la formarea și dezvoltarea mea ca om de știință și domnului prof. dr. ing. Gabriel BENGĂ pentru sprijinul logistic asigurat prin accesul la infrastructura de laboratoare de cercetare din cadrul Departamentului de Ingineria și Managementul Sistemelor Tehnologice Drobeta Turnu Severin.

Mulțumiri deosebite se cuvin fratelui meu, conf. dr. ing. Danuț SAVU, pentru sprijinul științific acordat pe întreaga perioadă de derulare a cercetărilor.

Cartea reprezintă de asemenea o realizare personală pe care o datorez tatălui meu care și-a dorit întotdeauna ca cei doi copii ai săi să exceleze în tot ceea ce și-au propus să facă.

Toate aceste cuvinte așezate în carte sunt în mare parte datorate viitoarei mele soții Cristina STATIE care a înțeles și sprijinit tot timpul munca mea atât în cercetare cât și în partea de redactare, dar mai ales pentru încrederea pe care mi-a insuflat-o permanent că pot duce la bun sfârșit ceea ce am început.

Această lucrare a fost finanțată din contractul POSDRU/89/1.5/S/61968, proiect strategic ID 61968 (2009), cofinanțat din Fondul Social European, prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013.

Istoria undelor electromagnetice

Undele electromagnetice sunt cunoscute din cele mai vechi timpuri. Studiul acestora a pornit în anul 600 IC când Thales din Milet (624 – 546 IC), un filozof grec, a constatat că o bucată de chihlimbar poate atrage mici particule doar prin frecarea acestuia.

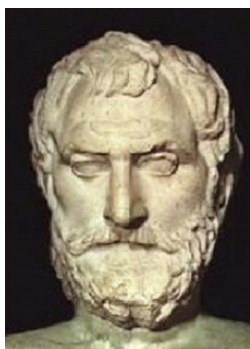


Fig. 1.1 Thales din Milet

Mult mai târziu, în anul 400 IC, Aristotel (384 – 322 IC) a enunțat teoria cu privire la interacțiunea a două corpuri. Acesta afirma faptul că nu poate exista interacțiune între două corpuri fără a exista contact între acestea. Expresia contactului între cele două corpuri se referea la presiuni create de corpuri la contactul dintre ele, respectiv la impactul generat.

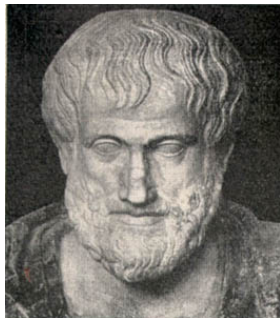


Fig. 1.2 Aristotel

Următorul pas a fost efectuat de Lucretius din Magnesia, filozof epicurianist grec care a studiat metafizica, în ultima sută de ani înainte de erea noastră (98 – 55 î.C.). Acesta a constatat capacitatea rocilor magnetice de a atrage materiale care prezentau fier în structura lor.

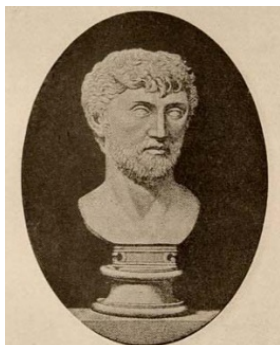


Fig. 1.3 Lucretius din Magnesia

În studiul undelor electromagnetice urmează o perioadă de stagnare experimentală cauzată în principal de frământările generate de civilizația acelor timpuri. Practic aproape 1500 de ani știința microundelor este abandonată. Primele referiri se pot constata în secolul 16 când William Gilbert (1544 – 1603), fizician englez la curtea reginei Elizabeth I, prezintă o serie de cercetări proprii în domeniul electromagnetismului. În urma cercetărilor acesta exprimă opinia că prin frecarea corpurilor materiale sunt eliberate sarcini electrice fără ca aceste corpuri să piardă din masă sau volum.



Fig. 1.4 William Gilbert (cunoscut și sub numele de Gilbert)

În perioada imediat următoare oamenii de știință au început să prezinte primele cercetări experimentale și să elaboreze studii teoretice în domeniul electromagnetismului. Astfel, René Descartes (1596 – 1650), matematician și filozof celebru, considera că magnetismul constă în existența unor vortex-uri în eterul omniprezent.



Fig. 1.5 René Descartes

Ideea prezentată de René Descartes va fi exprimată mai târziu de Leonhard Euler (1707 – 1783), matematician și fizician elvețian cunoscut în principal pentru teoriile dezvoltate în calculul infinitezimal respectiv pentru faptul că este singurul om de știință care și-a impus numele în două constante utilizate în calcule. Cercetările acestuia au vizat domenii largi de interes precum fizica, matematica care pot fi sintetizate în aproximativ 80 de cărți.



Fig. 1.6 Leonhard Euler

Un secol mai târziu, Karl Friederich Gauss (1777 – 1855) a fost primul om de știință care a încercat să statujeze legile electromagnetismului efectuând studii asupra propagării câmpului electric cu viteză constantă.



Fig. 1.7 Karl Friederich Gauss

Deși Gauss a făcut primele încercări în studiul electromagnetismului, prima lege a fost enunțată de Michael Faraday (1791 – 1867), om de știință britanic cu studii în domeniul electromagnetismului și electrochimiei. Acesta a arătat în 1846 fenomenul propagării perturbațiilor magnetice prin intermediul unor vibrații transversale. Descoperirea cea mai mare a lui Faraday a fost totuși fenomenul inducției electromagnetice.

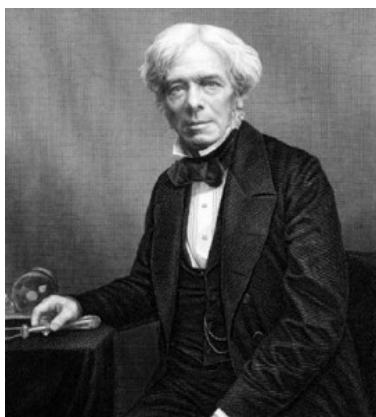


Fig. 1.8 Michael Faraday

Următorul promotor al studiului energiei electromagnetice a fost James Clark Maxwell (1831 – 1879). Omul de știință scoțian poate fi considerat părintele electromagnetismului modern. Fiind fizician teoretician, Maxwell a pus bazele electromagnetismului clasic reunind în teoriile sale cercetări asupra electricității, magnetismului și opticii. Este considerat un Newton al electromagnetismului fiind primul după Isaac Newton (care a dezvoltat ample cercetări în domeniul mecanicii clasice) care a reunit cercetările experimentale și a elaborat teorii în domeniul electromagnetismului. Maxwell a tradus experimentările efectuate de Faraday în legi care să guverneze fenomenele descoperite de acesta.



Fig. 1.7 James Clark Maxwell

Următorul pas a fost efectuat de Heinrich Hertz (1857 – 1894) care printr-o serie de experimente absolut remarcabile a reușit să confirme teoriile enunțate de Maxwell și să determine fără nici un dubiu caracterul de undă al luminii.



Fig. 1.8 Heinrich Hertz