

**ELENA MANUELA STANCIU  
ALEXANDRU PASCU**

# **SUDAREA CU LASER**



**EDITURA  
LUX LIBRIS**

ELENA MANUELA STANCIU  
ALEXANDRU PASCU

## SUDAREA CU LASER



**Recenzenți științifici:** prof. univ. dr. ing. **Florin Andreescu**  
- Universitatea *Transilvania* din Brașov  
**Consilier editorial:** prof. univ. dr. ing. **Florin Andreescu**  
**Tehnoredactare:** **AUTORII**  
**Coperta:** **AUTORII**  
**Corectura:** **AUTORII**

**Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României**

**STANCIU, ELENA MANUELA**

**Sudarea cu laser** / Elena-Manuela Stanciu, Alexandru Pascu. - Brașov  
: Lux Libris,

2014

Bibliogr.

ISBN 978-973-131-304-4

I. Pascu, Alexandru

II. Andreescu Florin, (ed)

621.721

**Copyright © Lux Libris, 2014**

Toate drepturile sunt rezervate autorilor. Nici o parte din această lucrare nu poate fi reprodusă, stocată sau transmisă prin indiferent ce formă, fără acordul prealabil scris al autorilor.

Editura acreditată CNCSIS, cod 201

**ISBN 978-973-131-304-4**

# CUPRINS

<b>Prefață .....</b>	<b>2</b>
<b>Cuprins .....</b>	<b>3</b>
<b>1. EVOLUȚIA LASERILOR</b>	
1.1. Generalități .....	5
1.2. Aspecte privind fizica laserilor.....	6
1.2.1. Radiația corpului negru.....	7
1.2.2. Coeficienți specifici radiației laser .....	9
1.2.2.1. Absorbția.....	10
1.2.2.2. Emisia spontană.....	10
1.2.2.3. Emisia stimulată.....	11
1.2.3. Inversiunea de populație.....	12
1.3. Sisteme de realizare a fasciculului laser.....	13
1.3.1. Moduri de oscilație și cavități rezonante.....	14
1.3.2. Stabilitatea cavității optice.....	16
1.4. Proprietățile generale ale radiației laser.....	18
1.4.1. Monocromaticitatea.....	19
1.4.2. Coerența.....	21
1.4.2.1. Coerența temporal.....	21
1.4.2.2. Coerența spațială.....	23
1.4.3. Direcționalitatea fasciculului laser.....	23
1.4.4. Strălucirea.....	25
1.4.5. Aberația de sfericitate.....	25
1.5. Clasificarea generatoarelor laser.....	26
1.5.1. Laseri cu mediul activ solid.....	27
1.5.2. Laseri cu mediu activ gazos.....	29
1.5.3. Laseri cu semiconductori.....	30
1.6. Aplicații ale laserilor.....	31
1.6.1. Modificarea proprietăților fizico-chimice ale unui material.....	31
1.6.2. Tratamente termice.....	32
1.6.3. Îndepărtarea unor straturi subțiri.....	32
1.6.4. Marcarea, gravarea și inscripționarea termică.....	33
1.6.5. Prelucrarea unor suprafețe tridimensionale.....	33
1.6.6. Găurirea termică cu laser.....	34
1.6.7. Tăierea termică cu laser.....	34

1.6.8.	Depunere cu fascicul laser.....	35
1.6.9.	Sudarea materialelor.....	36
<b>2.</b>	<b>SUDAREA CU LASER A MATERIALELOR METALICE</b>	
2.1.	Aspecte tehnologice ale procesului de sudare cu laser.....	41
2.2.	Tehnici de sudare cu laser.....	45
2.2.1.	Sudarea cu laser prin conducție.....	45
2.2.2.	Sudarea cu laser în modul „Keyhole”.....	47
2.2.2.1.	Interfața lichid-vaporizare.....	49
2.2.2.2.	Modelarea matematică a modului de sudare „keyhole”.....	51
2.2.2.3.	Zona lichidă la sudarea cu laser în modul „keyhole”.....	53
2.2.2.4.	Interacțiunea fascicului laser în baia de metal topit la sudarea „keyhole”.....	57
2.3.	PARAMETRII PROCESULUI DE SUDARE CU FASCICUL LASER.....	61
2.3.1.	Densitatea de putere.....	61
2.3.2.	Viteza de sudare.....	64
2.3.3.	Distanța de focalizare.....	64
2.3.4.	Absorbțivitatea materialelor.....	64
2.4.	CÂMPUL TERMIC LA SUDAREA CU LASER.....	65
<b>3.</b>	<b>SUDABILITATEA OȚELURILOR INOXIDABILE</b>	
3.1.	Noțiuni generale privind sudarea oțelurilor inoxidabile.....	66
3.2.	Clasificarea oțelurilor inoxidabile.....	67
3.2.1.	Oțeluri inoxidabile martensitice.....	67
3.2.2.	Oțeluri inoxidabile feritice.....	68
3.2.3.	Oțeluri inoxidabile austenitice.....	68
3.3.	Caracterizare generală a oțelurilor inoxidabile cu conținut de Cr mai mare de 10%.....	70
3.3.1.	Comportarea la sudare a oțelurilor inoxidabile austenitice.....	71
3.3.2.	Influența elementelor de aliere și a impurităților asupra fisurării la cald... Măsuri pentru scăderea sensibilității la fisurare la cald a metalului	74
3.3.3.	austenitic sudat.....	74
3.3.4.	Analiza structurală în concordanță cu diagrama Schaeffler.....	75
<b>4.</b>	<b>METODE PENTRU SUDAREA CU LASER A OȚELULUI AISI 304</b>	
4.1.	Sudarea cu laser a componentelor din oțel inoxidabil austenitic aisi 304.....	77
4.1.1.	Analiza materialului AISI 1010.....	77
4.1.2.	Analiza materialului AISI 304.....	78
4.1.3.	Analiza compatibilității la sudare a materialului AISI 1010 cu AISI 304..	80

4.2.	Sudarea cap la cap a componentelor din oțel inoxidabil austenitic aisi 304.....	84
4.3.	Sudarea de colț prin suprapunerea pieselor din oțel aisi 304.....	94
4.3.1.	Influența parametrilor de sudare asupra geometriei îmbinărilor de colț....	94
4.3.2.	Influența parametrilor de sudare asupra microstructurii îmbinărilor de colț.....	97
4.3.3.	Microscopie electronică (SEM și EDS) a îmbinărilor de colț prin suprapunerea materialului.....	103
4.3.4.	Determinarea microdureității zonelor caracteristice ale îmbinărilor sudate	108
4.3.5.	Comportarea la tracțiune a îmbinărilor sudate.....	112
<b>5.</b>	<b>SUDAREA CU LASER A MATERIALELOR ETEROGENE</b>	
5.1.	Îmbinări eterogene realizate prin sudarea de colț cu laser.....	134
5.1.1.	Influența parametrilor de sudare asupra geometriei îmbinărilor eterogene de colț.....	136
5.1.2.	Influența parametrilor de sudare asupra microstructurii îmbinărilor eterogene de colț.....	141
5.1.3.	Microscopie electronică (SEM și EDS) pentru îmbinările eterogene de colț prin suprapunere.....	157
5.1.4.	Determinarea microdureității zonelor caracteristice ale îmbinărilor de colț eterogene.....	159
5.1.5.	Comportarea la tracțiune a îmbinărilor sudate.....	160
5.2.	Sudarea cu străpungere a îmbinări eterogene pentru materialele suprapuse	161
5.2.1.	Influența parametrilor de sudare asupra geometriei îmbinărilor eterogene prin străpungere.....	161
5.2.2.	Influența parametrilor de sudare asupra microstructurii îmbinărilor eterogene prin străpungere.....	165
5.2.3.	Microscopie electronică (SEM și EDS) a îmbinărilor străpungere a materialelor suprapuse.....	169
5.2.4.	Determinarea microdureității zonelor caracteristice ale îmbinărilor eterogene prin suprapunere.....	170
5.2.5.	Comportarea la tracțiune a îmbinărilor eterogene sudate prin străpungere.....	171
	<b>BIBLIOGRAFIE.....</b>	<b>173</b>

150. [\*\*LAM] <http://www.lamet.ro/>
151. [\*\*ERA] <http://www.eramet.ro/>
152. [\*\*ROW] <http://ro.wikipedia.org/wiki/Laser>
153. [\*\*ENW] [http://en.wikipedia.org/wiki/Theodore\\_Maiman](http://en.wikipedia.org/wiki/Theodore_Maiman)
154. [\*\*EVO] <http://evolutiestelara.wordpress.com/2010/03/30/culoarea-stelelor>
155. [\*\*WEM] [http://ro.wikipedia.org/wiki/Experimentul\\_Michelson-Morley](http://ro.wikipedia.org/wiki/Experimentul_Michelson-Morley)
156. [\*\*WGR] [http://ro.wikipedia.org/wiki/Gravur%C4%83\\_laser](http://ro.wikipedia.org/wiki/Gravur%C4%83_laser)
157. [\*\*OPT] [http://www.optoel.ro/07\\_INOVARE\\_MAP-O.html](http://www.optoel.ro/07_INOVARE_MAP-O.html)
158. [\*\*LAS] [http://www.laserbeamweld.com/Laser\\_Welding.html](http://www.laserbeamweld.com/Laser_Welding.html)
159. [\*\*IWS] [http://www.iws.fhg.de/projekte/001/e\\_pro001-25.html](http://www.iws.fhg.de/projekte/001/e_pro001-25.html)
160. [\*\*QME] <http://www.qmed.com/supplier/9213/mound-laser-photonics-center>
161. [\*\*IMA] [http://images.pennnet.com/articles/ils/cap/cap\\_318678.gif](http://images.pennnet.com/articles/ils/cap/cap_318678.gif)
162. [\*\*MLP] <http://www.mlpc.com/index.php?page=laser-welding-applications>
163. [\*\*YUR] <http://homepage3.nifty.com/yurioka/exp.html>
164. [\*\*EMC] [http://www.efunda.com/materials/alloys/carbon\\_steels/show\\_carbon.cfm?ID=AISI\\_1010&all&Page\\_Title=AISI%201010](http://www.efunda.com/materials/alloys/carbon_steels/show_carbon.cfm?ID=AISI_1010&all&Page_Title=AISI%201010)
165. [\*\*PRA] <http://practicalmaintenance.net/?p=1559>
166. [\*\*EMS] [http://www.efunda.com/materials/alloys/stainless\\_steels/list\\_stainless.cfm?m=ais&Page\\_Title=AISI%20Type%203xx&ID\\_Low=AISI\\_Type\\_3](http://www.efunda.com/materials/alloys/stainless_steels/list_stainless.cfm?m=ais&Page_Title=AISI%20Type%203xx&ID_Low=AISI_Type_3)
167. [\*\*WLS] [http://en.wikipedia.org/wiki/Laser\\_safety](http://en.wikipedia.org/wiki/Laser_safety)
168. [\*\*WLN] [http://en.wikipedia.org/wiki/Nd-YAG\\_laser](http://en.wikipedia.org/wiki/Nd-YAG_laser)
169. [\*\*GRU] [http://www.google.ro/imgres?imgurl=http://www.grupoogman.com/imagenes/anton.gif&imgrefurl=http://www.grupoogman.com/og\\_it\\_manual.html&usq=99jnwVDP4cKeMLHznZ1z0pXhT4w=&h=335&w=542&sz=48&hl=ro&start=0&sig2=icjkiUAxl8wiejueisEZQ&zoom=1&tbnid=YwQyUP9rFHm7RM:&tbnh=132&tbnw=214&ei=khwKTcyuPIeZ8QO6wZUN&prev=/images%3Fq%3Ddiagrama%2Bschaeffler%26um%3D1%26hl%3Dro%26sa%3DX%26biw%3D1408%26bih%3D640%26tbs%3Disch:1&um=1&itbs=1&iact=hc&vpx=629&vpy=99&dur=573&hovh=176&hovw=286&tx=161&ty=100&oei=khwKTcyuPIeZ8QO6wZUN&esq=1&page=1&ndsp=19&ved=1t:429,r:2,s:0](http://www.google.ro/imgres?imgurl=http://www.grupoogman.com/imagenes/anton.gif&imgrefurl=http://www.grupoogman.com/og_it_manual.html&usq=99jnwVDP4cKeMLHznZ1z0pXhT4w=&h=335&w=542&sz=48&hl=ro&start=0&sig2=icjkiUAxl8wiejueisEZQ&zoom=1&tbnid=YwQyUP9rFHm7RM:&tbnh=132&tbnw=214&ei=khwKTcyuPIeZ8QO6wZUN&prev=/images%3Fq%3Ddiagrama%2Bschaeffler%26um%3D1%26hl%3Dro%26sa%3DX%26biw%3D1408%26bih%3D640%26tbs%3Disch:1&um=1&itbs=1&iact=hc&vpx=629&vpy=99&dur=573&hovh=176&hovw=286&tx=161&ty=100&oei=khwKTcyuPIeZ8QO6wZUN&esq=1&page=1&ndsp=19&ved=1t:429,r:2,s:0)
170. [\*\*SST] <http://www.stainless-steel-tube.org/309S-1.4833-Stainless-Steel-Tube-Pipe-Tubing.htm>
171. [\*\*MIG] <http://www.migweld.de/english/service/welding-stainless-steels/schaeffler-diagram-for-standard-analysis.html>
172. [\*\*PAT] <http://www.patentgenius.com/patent/4222773.html>
173. [\*\*WEC] [http://en.wikipedia.org/wiki/Equivalent\\_carbon\\_content](http://en.wikipedia.org/wiki/Equivalent_carbon_content)
174. [\*\*WDS] [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagramme\\_schaeffler\\_soudure.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagramme_schaeffler_soudure.svg)

ISBN 978-973-131-304-4



Râșnov, Brașov  
Str. Panseluțelor, Nr. 22  
tel/fax: 0268230181  
mobil: 0737147687  
E-mail: [luxlibris@gmail.com](mailto:luxlibris@gmail.com)