

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ	
คำนำ	
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เหล็กกล้า	5
2.1 การจำแนกประเภทของเหล็กกล้า	6
2.1.1 เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา	8
2.1.2 เหล็กกล้าผสม	10
2.2 การกำหนดชื่อเหล็กกล้าประเภทต่าง ๆ	10
บทที่ 3 พันธะโลหะ	13
3.1 โครงสร้างอะตอมของธาตุ Fe	13
3.2 พันธะโลหะ	16
3.3 อิทธิพลของพันธะโลหะต่อสมบัติทางวิศวกรรม	17
บทที่ 4 โครงสร้างผลึกของโลหะ Fe	21
4.1 ผลึกรูปลูกบาศก์ BCC	23
4.2 ผลึกรูปลูกบาศก์ FCC	24
4.3 ตำแหน่งแทรกที่ระหว่างอะตอมและขนาด	25
บทที่ 5 โลหะผสมของ Fe กับ C	31
5.1 ข้อบกพร่องในผลึกของแข็ง	31
5.2 สารละลายของแข็ง	34
5.2.1 สารละลายของแข็งแบบแทนที่	35
5.2.2 สารละลายของแข็งแบบแทรกที่	37
5.3 โลหะผสมของ Fe กับ C	38

บทที่ 6	โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสม Fe กับ C และพฤติกรรมทางกล	41
6.1	เพอร์ไลต์	43
6.2	เบไนต์	47
6.3	สเฟียรอยด์	49
6.4	เทมเปอร์มาร์เทนไซต์	51
บทที่ 7	การแปลงเฟสในเหล็กกล้า	59
7.1	กฎเฟส	60
7.1.1	เฟส	60
7.1.2	องค์ประกอบ	60
7.2	การแปลงเฟสโดยการแพร่ของอะตอม	61
7.2.1	การก่อนิวเคลียสและการเติบโตของเฟส	61
7.2.2	การเย็นยิ่งยวด	65
7.3	การแปลงเฟสโดยไม่มีการแพร่ของอะตอม	68
บทที่ 8	แผนภูมิเฟสของระบบ Fe-C	75
8.1	แผนภูมิจากอุณหภูมิกับส่วนผสม	75
8.2	เฟสต่าง ๆ ที่สมดุลในแผนภูมิ Fe-Fe ₃ C	77
8.3	ปฏิกิริยายูเทคตอยด์	79
8.4	การแปลความหมายของแผนภูมิ Fe-Fe ₃ C	83
8.4.1	อุณหภูมิวิกฤต	83
8.4.2	กฎคานังด์	84
8.5	ผลของธาตุผสมต่อแผนภูมิ Fe-C	91
8.6	การประยุกต์ใช้แผนภูมิ Fe-Fe ₃ C	93
บทที่ 9	แผนภูมิการแปลงเฟสที่อุณหภูมิคงที่	95
9.1	แผนภูมิการแปลงเฟสที่อุณหภูมิคงที่	95
9.2	แผนภูมิการแปลงเฟสตามเวลาและอุณหภูมิ	97
9.2.1	การแปลงเฟสเป็นเพอร์ไลต์	99

9.2.2	การแปลงเฟสเป็นเบสไนต์	102
9.2.3	การแปลงเฟสเป็นมาร์เทนไซต์	106
บทที่ 10	แผนภูมิการแปลงเฟสระหว่างการเย็นลงอย่างต่อเนื่อง	111
บทที่ 11	ความสามารถในการชุบแข็งของเหล็กกล้า	119
11.1	การทดสอบปลายที่เย็นตัวเร็วตาม Jominy	120
11.2	กราฟแสดงพฤติกรรมความสามารถในการชุบแข็ง	122
11.3	อิทธิพลของตัวกลางที่ทำให้เย็นตัวเร็ว ขนาด และรูปทรงเรขาคณิต ของตัวอย่าง	131
11.4	การใช้ประโยชน์ของความสามารถในการชุบแข็ง	137
11.4.1	การทำนายความแข็ง	137
11.4.2	การออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต	139
บทที่ 12	กรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กกล้า	145
12.1	การอบอ่อน	147
12.1.1	การอบอ่อนเต็มที	148
12.1.2	การอบอ่อนในกระบวนการแปรรูป	149
12.1.2.1	การแปรรูปเย็น	150
12.1.2.2	การตกผลึกใหม่	151
12.2	การอบปกติ	155
12.3	การอบให้ซีเมนไต์กลม	156
12.4	การอบคืนตัว	156
12.5	การชุบแข็ง	158
12.5.1	การชุบแข็งทั่วไป	158
12.5.2	การชุบแข็งแบบขัดจังหวะ	159
12.5.2.1	มาร์เทมเปอริง	160
12.5.2.2	ออสเทมเปอริง	161
12.6	ปัญหาในกรรมวิธีทางความร้อน	162
12.7	อิทธิพลของธาตุผสม	168

ภาคผนวก	การศึกษาค้นคว้าของนักศึกษาระดับปริญญาตรีในสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล	175
ก	ค่าคงที่และแฟกเตอร์สำหรับแปลงหน่วย	177
ข	สมบัติทางกล	181
เอกสารอ้างอิง		187
ดัชนี		189
ประวัติผู้เขียน		197
หน้า 1	การแปลงหน่วยจากหน่วยอังกฤษเป็นหน่วย SI	175
หน้า 2	1.1 หน่วย SI	177
หน้า 3	1.2 หน่วย SI	177
หน้า 4	1.3 หน่วย SI	177
หน้า 5	1.4 หน่วย SI	177
หน้า 6	1.5 หน่วย SI	177
หน้า 7	1.6 หน่วย SI	177
หน้า 8	1.7 หน่วย SI	177
หน้า 9	1.8 หน่วย SI	177
หน้า 10	1.9 หน่วย SI	177
หน้า 11	1.10 หน่วย SI	177
หน้า 12	1.11 หน่วย SI	177
หน้า 13	1.12 หน่วย SI	177
หน้า 14	1.13 หน่วย SI	177
หน้า 15	1.14 หน่วย SI	177
หน้า 16	1.15 หน่วย SI	177
หน้า 17	1.16 หน่วย SI	177
หน้า 18	1.17 หน่วย SI	177
หน้า 19	1.18 หน่วย SI	177
หน้า 20	1.19 หน่วย SI	177
หน้า 21	1.20 หน่วย SI	177
หน้า 22	1.21 หน่วย SI	177
หน้า 23	1.22 หน่วย SI	177
หน้า 24	1.23 หน่วย SI	177
หน้า 25	1.24 หน่วย SI	177
หน้า 26	1.25 หน่วย SI	177
หน้า 27	1.26 หน่วย SI	177
หน้า 28	1.27 หน่วย SI	177
หน้า 29	1.28 หน่วย SI	177
หน้า 30	1.29 หน่วย SI	177
หน้า 31	1.30 หน่วย SI	177
หน้า 32	1.31 หน่วย SI	177
หน้า 33	1.32 หน่วย SI	177
หน้า 34	1.33 หน่วย SI	177
หน้า 35	1.34 หน่วย SI	177
หน้า 36	1.35 หน่วย SI	177
หน้า 37	1.36 หน่วย SI	177
หน้า 38	1.37 หน่วย SI	177
หน้า 39	1.38 หน่วย SI	177
หน้า 40	1.39 หน่วย SI	177
หน้า 41	1.40 หน่วย SI	177
หน้า 42	1.41 หน่วย SI	177
หน้า 43	1.42 หน่วย SI	177
หน้า 44	1.43 หน่วย SI	177
หน้า 45	1.44 หน่วย SI	177
หน้า 46	1.45 หน่วย SI	177
หน้า 47	1.46 หน่วย SI	177
หน้า 48	1.47 หน่วย SI	177
หน้า 49	1.48 หน่วย SI	177
หน้า 50	1.49 หน่วย SI	177
หน้า 51	1.50 หน่วย SI	177
หน้า 52	1.51 หน่วย SI	177
หน้า 53	1.52 หน่วย SI	177
หน้า 54	1.53 หน่วย SI	177
หน้า 55	1.54 หน่วย SI	177
หน้า 56	1.55 หน่วย SI	177
หน้า 57	1.56 หน่วย SI	177
หน้า 58	1.57 หน่วย SI	177
หน้า 59	1.58 หน่วย SI	177
หน้า 60	1.59 หน่วย SI	177
หน้า 61	1.60 หน่วย SI	177
หน้า 62	1.61 หน่วย SI	177
หน้า 63	1.62 หน่วย SI	177
หน้า 64	1.63 หน่วย SI	177
หน้า 65	1.64 หน่วย SI	177
หน้า 66	1.65 หน่วย SI	177
หน้า 67	1.66 หน่วย SI	177
หน้า 68	1.67 หน่วย SI	177
หน้า 69	1.68 หน่วย SI	177
หน้า 70	1.69 หน่วย SI	177
หน้า 71	1.70 หน่วย SI	177
หน้า 72	1.71 หน่วย SI	177
หน้า 73	1.72 หน่วย SI	177
หน้า 74	1.73 หน่วย SI	177
หน้า 75	1.74 หน่วย SI	177
หน้า 76	1.75 หน่วย SI	177
หน้า 77	1.76 หน่วย SI	177
หน้า 78	1.77 หน่วย SI	177
หน้า 79	1.78 หน่วย SI	177
หน้า 80	1.79 หน่วย SI	177
หน้า 81	1.80 หน่วย SI	177
หน้า 82	1.81 หน่วย SI	177
หน้า 83	1.82 หน่วย SI	177
หน้า 84	1.83 หน่วย SI	177
หน้า 85	1.84 หน่วย SI	177
หน้า 86	1.85 หน่วย SI	177
หน้า 87	1.86 หน่วย SI	177
หน้า 88	1.87 หน่วย SI	177
หน้า 89	1.88 หน่วย SI	177
หน้า 90	1.89 หน่วย SI	177
หน้า 91	1.90 หน่วย SI	177
หน้า 92	1.91 หน่วย SI	177
หน้า 93	1.92 หน่วย SI	177
หน้า 94	1.93 หน่วย SI	177
หน้า 95	1.94 หน่วย SI	177
หน้า 96	1.95 หน่วย SI	177
หน้า 97	1.96 หน่วย SI	177
หน้า 98	1.97 หน่วย SI	177
หน้า 99	1.98 หน่วย SI	177
หน้า 100	1.99 หน่วย SI	177

ไพลิน ฤกษ์จิรสวัสดิ์

หลักพื้นฐานของกรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กกล้า/ 56 ลิน ฤกษ์จิรสวัสดิ์

1. เหล็กกล้า, 2. เหล็กกล้า - วิธีทางความร้อน.

672.36

ISBN 978-974-03-2987-9

สปพจ. 1651



assคุณค่าวิชาการ สู้อัจฉริยะ
www.ChulaPress.com
Knowledge to All

ลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 1,000 เล่ม พ.ศ. 2555

การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้น
ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้จัดจำหน่าย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา

ศาลาพระเกษีย โทร. 0-2218-7000-3 โทรสาร 0-2255-4441

สยามสแควร์ โทร. 0-2218-9881-2 โทรสาร 0-2254-9495

ม.นครสวรรค์ จ.พิษณุโลก โทร. 0-5526-0162-4 โทรสาร 0-5526-0165

ม.เทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา โทร. 0-4421-6131-4 โทรสาร 0-4421-6135

ม.บูรพา จ.ชลบุรี โทร. 0-3839-4855-9 โทรสาร 0-3839-3239

โรงเรียนนายร้อย จปร. จ.นครนายก โทร. 0-3739-3023 โทรสาร 0-3739-3023

จัตุรัสจามจุรี (CHAMCHURI SQUARE) ชั้น 4 โทร. 0-2160-5301-2 โทรสาร 0-2160-5304

รัตนานิเบส (แยกแคราย) โทร. 0-2950-5408-9 โทรสาร 0-2950-5405

Call Center (จัดส่งทั่วประเทศ) โทร. 0-2255-4433 <http://www.chulabook.com>

เครือข่าย

ศูนย์หนังสือ ม.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย โทร. 0-5391-7020-4 โทรสาร 0-5391-7025

ศูนย์หนังสือ ม.วลัยลักษณ์ จ.นครศรีธรรมราช โทร. 0-7567-3648-51 โทรสาร 0-7567-3652

ร้านหนังสือบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) รามคำแหง 43/1 โทร. 0-2538-2573 โทรสาร 0-2539-7091

ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ โทร. 0-5377-6000

ศูนย์หนังสือ ม.อุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี โทร. 0-4535-3140, 0-4528-8400-3 ต่อ 1803
โทรสาร 0-4535-3145

ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏสุราษฎร์ธานี จ.สุราษฎร์ธานี โทร. 0-7735-5466, 0-7791-3333
โทรสาร 0-7735-5468

ศูนย์หนังสือเทคโนโลยีโออาร์พีซี จ.ระยอง โทร. 0-3889-9130-2 ต่อ 331
โทรสาร 0-3889-9130 ต่อ 301

ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏเทพสตรี จ.ลพบุรี โทร. 0-3642-7485-93

ร้านค้า, หนังสือเข้าชั้นเรียน ติดต่อแผนกขายส่ง สาขารัตนานิเบส (แยกแคราย) โทร. 0-2950-5408-9
โทรสาร 0-2950-5405

กองบรรณาธิการ : ทศนีย์ สิวขำ

พิสูจน์อักษร : ปุญญา ปุญญา

ออกแบบปกและรูปเล่ม : ชรินทร์ นามมุงคุณ

ซื้อ

BSTI DEPT. OF SCIENCE SERVICE
สำนักหอสมุดฯ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



1110015340

เลขหมู่ 672.36
เลขหมู่ ๗๙๙๔
๕๕๕๕
เลขทะเบียน 19984
วันที่ 1 ๗ ส.ค. / ๒๕๕๕
114950

ดัชนี

(ฉบับปรับปรุงครั้งที่ ๑๕๖) กรุงเทพมหานคร

ก

การจัดเรียงลำดับอิเล็กตรอนในโครงสร้างอะตอม (electron configurations)	15
แกนไอออนของอะตอม (ion cores)	16
การยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม (bonding)	16
กราฟพลังงานยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม (bond energy curve)	18
การมีรูปผลึก (crystalline)	21
การทำให้เป็นสารละลายของแข็ง/โลหะผสม (solid solution/alloying)	35, 37
การเปลี่ยนรูปร่างถาวร (permanent/plastic deformation)	31
การวางระนาบอะตอมผิดที่ (dislocation)	31
การทำให้แข็งขึ้น (hardening)	158
การแปรรูปขณะเย็น (cold working)	150
การเคลื่อนของระนาบอะตอม (slide/glide)	31, 33
การรีดโลหะ (rolling)	150
การดึงลวด (wire drawing)	150
การลดลงของพื้นที่หน้าตัด (reduction of area)	150
การยาวขึ้น (elongation)	46
การอบคืนตัว (recovery)	151
การตกผลึกใหม่ (recrystallization)	151
การเติบโตของเกรน (grain growth)	151
การแข็งขึ้นโดยความเครียด (strain hardening)	150
การอบอ่อนในกระบวนการแปรรูป (process annealing)	149
เกรนที่มีหลายด้าน (equiaxed grain)	152
การเกิดทวิน (twinning)	154
เกรน (grain)	154
กฎเฟสตาม Gibbs (Gibbs phase rule)	60
กฎคานังด์ (lever rule)	84
การละลายในสถานะของแข็ง (solid solubility)	75

การแปลงเฟส (phase transformations)	59
การแพร่ของอะตอมในสถานะของแข็ง (solid-state diffusion)	31
การก่อนิวเคลียสของเฟส (phase nucleation)	61
การเติบโตของเฟส (phase growth)	61
การแปลงเฟสโดยไม่มีการแพร่ของอะตอม (diffusionless transformation)	68
การบิดเบี้ยวของโครงสร้างผลึกตาม Bain (Bain distortion)	69
การแปลงเฟสที่ไม่ขึ้นกับความร้อน (athermal transformation)	68
การทำให้เป็นออสเทนไนต์ (austenitizing)	148
การร้อนขึ้น/เย็นลงอย่างยิ่งยวด (superheating/undercooling)	65
กรรมวิธีทางความร้อน (heat treatment)	146
การอบอ่อนเต็มที (full annealing)	148
การอบปกติ (normalizing)	155
การอบให้ซีเมนไทต์กลม (spheroidizing)	156
กลุ่มเพอร์ไลต์ (pearlite colonies)	43
แกรไฟต์ (graphite)	78
การทำให้เย็นตัวเร็ว (quenching)	158
การอบคืนตัว (tempering)	158
การแตกร้าวเนื่องจากเย็นตัวเร็ว (quench crack)	167
การทดสอบความสามารถในการชุบแข็งตาม Jominy (Jominy end-quench test)	120
การทดสอบแรงกระแทกตาม Izod (Izod impact test)	46

ข

ขนาดรัศมีของอะตอม (atomic radius)	37
ข้อบกพร่องในโครงสร้างผลึก (crystalline imperfections/defects)	31
ข้อบกพร่องแบบจุด (point defects)	31
ข้อบกพร่องแบบเส้น (linear defects)	31
ขอบเกรน (grain boundary)	61
ขอบเขตของเฟส (phase boundary/region)	76
ขอบเขตของการละลาย (solvus boundary)	76

ค

โครงสร้างระดับที่เล็กกว่าอะตอม (subatomic structure)	1
ความชอบอิเล็กตรอนของธาตุต่าง ๆ (electronegativity)	37
ความยาวด้านของลูกบาศก์/ค่าคงที่ของแลตทิซ (lattice constant)	23
ความแข็งเกร็ง (stiffness)	18
โครงสร้างผลึก (crystal structure)	37
ความแข็งรอกเวลล์ซี (Rockwell C hardness value, HRC)	122
ความแข็งบริเนลล์ (Brinell hardness number, BHN)	104
โครงสร้างจุลภาค (microstructure)	37
ความต้านแรงดึง (tensile strength)	55
ความต้านแรงดึงที่จุดคราก (yield strength)	55
ความเค้นตกค้าง (residual stress)	166
ความสามารถในการชุบแข็ง (hardenability)	119
ความรุนแรงของการเย็นตัวเร็ว (severity of quench)	131
ความเปราะเนื่องจากการอบคืนตัว (temper embrittlement)	56

จ

จำนวนอิเล็กตรอนชั้นนอกสุด (valence)	16
จำนวนอะตอมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด (coordination number)	16
จุดหลอมเหลว (melting point)	20
จุดแสดงอะตอมในแลตทิซ (lattice point)	23
จุดที่ไม่สามารถเปลี่ยนค่าตัวแปรได้ (invariant point)	83
จลนศาสตร์ (kinetics)	63

ช

ซีเมนไทต์ (cementite)	43
-----------------------	----

ด

ดิสโลเคชัน (dislocation)	31
ดิสโลเคชันแบบขอบ (edge dislocation)	33

ด

ตารางลำดับธาตุต่าง ๆ (periodic table)	14
ตำแหน่งอะตอมที่หายไปในโครงสร้างผลึกที่สมบูรณ์ (vacancies/interstices)	32
ตำแหน่งแทรกที่ (interstitial sites)	25
ตำแหน่งแทรกที่แบบออกตะฮีดรัล (octahedral sites)	26
ตำแหน่งแทรกที่แบบเตตระฮีดรัล (tetrahedral sites)	26

ท

ทวินนิ่ง, ทวิน (twinning, twin)	154
ทองเหลือง (brass)	154
เทมเปอร์มาร์เทนไซต์ (tempered martensite)	51

น

น้ำ เป็นตัวกลางที่ทำให้เย็นตัวเร็ว (water as quenching medium)	131
น้ำมัน เป็นตัวกลางที่ทำให้เย็นตัวเร็ว (oil as quenching medium)	131

บ

แบบจำลองอะตอมด้วยทรงกลมแข็งตาม Bohr (Bohr atomic model)	16
บริเวณเฟส (phase field/region)	76
บริเวณที่มีแต่เฟสของเหลวเท่านั้น (liquidus boundary)	76
บริเวณที่มีแต่เฟสของแข็งเท่านั้น (solidus boundary)	76
เบইไนต์ (bainite)	47

ป

เปอร์เซ็นต์โดยจำนวนอะตอม (atomic percent, at%)	86
เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (weight percent, wt%)	86
เปอร์เซ็นต์การแปรรูปเย็น (% cold work)	155
เปอร์เซ็นต์การลดลงของพื้นที่หน้าตัด (area reduction, %AR)	47
ปฏิกิริยายูเทคทอยด์ (eutectoid reaction)	79

ผ

ผลึกรูปลูกบาศก์ (cubic structure)	23
ผลึกรูปลูกบาศก์ BCC (body-centered cubic structure)	23
ผลึกรูปลูกบาศก์ FCC (face-centered cubic structure)	24
แผนภูมิสององค์ประกอบ (binary diagram)	77
แผนภูมิเฟสสมดุล (equilibrium phase diagram)	42
แผนภูมิการแปลงเฟสที่มีการเย็นลงอย่างต่อเนื่อง (continuous cooling transformation, CCT diagram)	112
แผนภูมิการแปลงเฟสที่อุณหภูมิคงที่ (isothermal transformation, IT diagram)	98
แผนภูมิเฟสของระบบ Cu-Ni (Cu-Ni phase diagram)	85
แผนภูมิเฟสของระบบ Fe-Fe ₃ C (Fe-Fe ₃ C phase diagram)	42
แผนภูมิ เวลา-อุณหภูมิ-การแปลงเฟส (time-temperature-transformation, TTT diagram)	105
แผ่นสลับในโครงสร้างเพอร์ไลต์ (lamellae)	43

พ

พลังงานกระตุ้น (activation energy)	63
พันธะโลหะ (metallic bond)	16
พันธะปฐมภูมิ (primary bond)	16
พลังงานยึดเหนี่ยวอะตอม (bond energy)	19
เพอร์ไลต์ (pearlite)	43
เพอร์ไลต์หยาบ (coarse pearlite)	43
เพอร์ไลต์ละเอียด (fine pearlite)	43
โพรยูเทคทอยด์เฟร์ไรต์ (proeutectoid ferrite)	88
โพรยูเทคทอยด์ซีเมนไทต์ (proeutectoid cementite)	90

ฟ

แฟกเตอร์การอัดแน่นของอะตอม (atomic packing factor)	25
เฟส (phase)	60
เฟร์ไรต์ (ferrite)	41

ม

มอดุลัสของยัง (Young's modulus)	18
มาร์เทนไซต์ (martensite)	68

ย

ยูนิตเซลล์ของระบบผลึก (unit cell)	23
ยูเทคทอยด์เฟอไรต์ (eutectoid ferrite)	88
ยูเทคทอยด์ซีเมนไทต์ (eutectoid cementite)	91

ร

ระบบการจำแนกประเภทของเหล็กกล้าตามแนว AISI/SAE และ UNS (steel designation systems)	11
แรงดึงดูดระหว่างอะตอม (attractive force)	17
แรงผลักระหว่างอะตอม (repulsive force)	17
แรงผลักดัน (driving force)	68
ระบบ Fe-Fe ₃ C (Fe-Fe ₃ C system)	42
ระดับของควมอิสระในการเลือกค่าตัวแปร (degree of freedom)	60
ระนาบพิเศษที่มีอะตอมอยู่เพียงครึ่งหนึ่ง (extra-half plane)	31
ระนาบที่สัมพันธ์กันระหว่างโครงสร้างจุลภาค (habit planes)	69
รอยแตกไปตามขอบเกรน (intergranular fracture)	56
ระบบสององค์ประกอบ (binary system)	84

ล

แลตทิซตาม Bravais (Bravais lattice point)	22
โลหะผสมกลุ่มเหล็ก (ferrous alloys)	5
โลหะผสม Cu-Ni (Cu-Ni alloys)	84
โลหะผสม Fe-C, Fe-Fe ₃ C (Fe-C, Fe-Fe ₃ C alloys)	42

วิทยาศาสตร์วัสดุ (Materials Science)	1
วิศวกรรมวัสดุ (Materials Engineering)	1
วัสดุวิศวกรรม (engineering materials)	5
เวลา (Time)	148

ส

สภาวะที่มีพลังงานต่ำสุด (ground state)	13
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (coefficient of thermal expansion)	19
สารละลายของแข็ง (solid solution)	34
สารละลายของแข็งแบบแทรกที่ (interstitial solid solution)	37
สารละลายของแข็งแบบแทนที่ (substitutional solid solution)	35
สารประกอบเชิงโลหะ (intermetallic compounds)	34
เสถียรชั่วคราว (metastable)	42
สมการ Avrami (Avrami's equation)	63
ส่วนผสมของเฟส (phase composition)	84
สเฟียรอยด์ (spheroidite)	49
เส้นตึง (tie line)	84

ห

เหล็กกล้า (steels)	6
เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา (plain carbon steels)	8
เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (low-carbon steels)	8
เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (medium-carbon steels)	9
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (high-carbon steels)	10
เหล็กกล้าผสมต่ำแต่แข็งแรงมาก (high-strength, low-alloy steels, HSLA)	8
เหล็กกล้าผสม (alloy steels)	10
เหล็กกล้ายูเทคทอยด์ (eutectoid steels)	86
เหล็กกล้าไฮเปอร์ยูเทคทอยด์ (hypereutectoid steels)	90

เหล็กกล้าไฮโปยูเทคทอยด์ (hypoeutecoid steels)	87
เหล็กแอลฟา (α -Iron)	41
อ	
อิเล็กตรอนชั้นนอกสุดของอะตอม (valence electron)	16
อิเล็กตรอนที่เป็นแกนในอะตอม (core electrons)	16
อิเล็กตรอนอิสระ (free electrons)	17
อิเล็กตรอนไม่ประจำที่ (delocalized electrons)	16
อะตอมแทรกที่ระหว่างอะตอมหลัก (interstitials/interstitialcy)	32
อุณหภูมิการตกผลึกใหม่ (recrystallization temperature)	153
อัตราการแปลงเฟส (rate of phase transformation)	63
อะตอมมลทิน (impurity atom)	34
อะตอมถูกละลาย (solute atoms)	34
อะตอมทำละลาย (solvent atoms)	34
อุณหภูมิวิกฤต (critical temperature)	83
อุณหภูมิการเปลี่ยนจากเหนียวเป็นเปราะ (ductile-brittle transition temperature)	56
องค์ประกอบ (component)	60
อัตราการเย็นลงวิกฤต (critical cooling rate)	115
ออสเทนไนต์ (austenite)	41
ออสเทนไนต์เหลือค้าง (retained austenite)	165
ออสเทมเปอริง (austempering)	161
ออสฟอร์มมิง (ausforming)	174
อากาศเป็นตัวกลางที่ทำให้เย็นตัวเร็ว (air as quenching medium)	162

ไพลิน ฤกษ์จิรสวัสดิ์

หลักพื้นฐานของกรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กกล้า / 56 ลิน ฤกษ์จิรสวัสดิ์
1. เหล็กกล้า. 2. เหล็กกล้า - วิธีทางความร้อน.

ชื่อ

BSTI DEPT. OF SCIENCE SERVICE
สำนักหอสมุดฯ กรมวิทยาศาสตร์บริการ



1110015340

672.36

ISBN 978-974-03-2987-9

ลพจ. 1651



สรรคุณคำวิชาการ ผู้สังคม
www.ChulaPress.com
Knowledge to All

เลขหมู่ 672.36
เลขหมู่ พ994
2555
เลขทะเบียน 19984
วันที่ 1 ๗ ส.ค./๒๕๕๕
114950

ลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 1,000 เล่ม พ.ศ. 2555

การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้น
ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้จัดจำหน่าย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา

ศาลาพระแก้ว โทร. 0-2218-7000-3 โทรสาร 0-2255-4441
สยามสแควร์ โทร. 0-2218-9881-2 โทรสาร 0-2254-9495
ม.นครสวรรค์ จ.พิษณุโลก โทร. 0-5526-0162-4 โทรสาร 0-5526-0165
ม.เทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา โทร. 0-4421-6131-4 โทรสาร 0-4421-6135
ม.บูรพา จ.ชลบุรี โทร. 0-3839-4855-9 โทรสาร 0-3839-3239
โรงเรียนนายร้อย จปร. จ.นครนายก โทร. 0-3739-3023 โทรสาร 0-3739-3023
จัตุรัสจามจุรี (CHAMCHURI SQUARE) ชั้น 4 โทร. 0-2160-5301-2 โทรสาร 0-2160-5304
รัตนานิเบศร์ (แยกแคราย) โทร. 0-2950-5408-9 โทรสาร 0-2950-5405
Call Center (จัดส่งทั่วประเทศ) โทร. 0-2255-4433 <http://www.chulabook.com>

เครือข่าย

ศูนย์หนังสือ ม.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย โทร. 0-5391-7020-4 โทรสาร 0-5391-7025
ศูนย์หนังสือ ม.วลัยลักษณ์ จ.นครศรีธรรมราช โทร. 0-7567-3648-51 โทรสาร 0-7567-3652
ร้านหนังสือบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) งามคำแหง 43/1 โทร. 0-2538-2573 โทรสาร 0-2539-7091
ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ โทร. 0-5377-6000
ศูนย์หนังสือ ม.อุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี โทร. 0-4535-3140, 0-4528-8400-3 ต่อ 1803
โทรสาร 0-4535-3145
ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏสุราษฎร์ธานี จ.สุราษฎร์ธานี โทร. 0-7735-5466, 0-7791-3333
โทรสาร 0-7735-5468
ศูนย์หนังสือเทคโนโลยีโออาร์พีซี จ.ระยอง โทร. 0-3889-9130-2 ต่อ 331
โทรสาร 0-3889-9130 ต่อ 301
ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏเทพสตรี จ.ลพบุรี โทร. 0-3642-7485-93

ร้านค้า, หนังสือเข้าชั้นเรียน ติดต่อแผนกขายส่ง สาขารัตนานิเบศร์ (แยกแคราย) โทร. 0-2950-5408-9
โทรสาร 0-2950-5405

กองบรรณาธิการ : ทศนิย์ ผิวขำ พิสูจน์อักษร : ปณณิสา บุญเปี่ยม

ออกแบบปกและรูปเล่ม : ชวินทร์ นามมุงคุณ

พิมพ์ที่ : บริษัทแอคทีฟ พรินท์ จำกัด โทร. 0-2215-7698 โทรสาร 0-2214-0038

สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี