

# สารบัญ

<b>บทที่ 1</b>	<b>บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1	วัสดุและวิศวกรรมศาสตร์ (Materials and Engineering) .....	2
1.2	วัสดุศาสตร์และวัสดุวิศวกรรม (Materials Science and Engineering) .....	5
1.3	ประเภทของวัสดุ (Types of Materials) .....	6
1.4	การแข่งขันกันระหว่างวัสดุประเภทต่างๆ (Competition among Materials) ...	13
1.5	ความก้าวหน้าใหม่ๆในวัสดุศาสตร์และเทคโนโลยีและแนวโน้มในอนาคต (Recent Advances in Materials Science and Technology and Future Trends) .....	14
1.6	การออกแบบและการเลือกใช้วัสดุ (Design and Selection) .....	16
1.7	สรุป .....	17
1.8	คำนิยาม .....	17
1.9	แบบฝึกหัด .....	18
1.10	แบบฝึกหัด การเลือกใช้และการออกแบบวัสดุ (Materials Selection and Design) .....	19
<b>บทที่ 2</b>	<b>โครงสร้างอะตอมและพันธะเคมี</b> .....	<b>21</b>
2.1	โครงสร้างของอะตอม .....	22
2.2	เลขอะตอมและมวลอะตอม (Atomic Number and Atomic Masses) .....	22
2.3	โครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ของอะตอม (The Electronic structure of Atoms) .....	28
2.4	ชนิดของพันธะอะตอมและพันธะโมเลกุล (Types of Atomic and Molecular Bonds) .....	39
2.5	การเกิดพันธะไอออนิก (Ionic Bonding) .....	40
2.6	พันธะโคเวเลนต์ (Covalent Bonding) .....	46
2.7	พันธะโลหะ (Metallic Bonding) .....	51
2.8	พันธะทุติยภูมิ (Secondary Bonding) .....	54
2.9	พันธะผสม (Mixed Bonding) .....	57
2.10	สรุป .....	59
2.11	คำนิยาม .....	60
2.12	แบบฝึกหัด .....	61
2.13	แบบฝึกหัดการเลือกใช้และการออกแบบวัสดุ..... (Materials selection design problems) .....	62
<b>บทที่ 3</b>	<b>โครงสร้างของผลึกและอสัณฐานในวัสดุ</b> .....	<b>65</b>
3.1	สเปซแลตทิซ (Space lattice) และหน่วยเซลล์ (unit cells) .....	66
3.2	ระบบผลึกและบราวส์แลตทิซ (Crystal Systems and Bravais Lattices) .....	67

3.3	ความสำคัญของโครงสร้างผลึกของโลหะ .....	68
3.4	ตำแหน่งของอะตอมต่างๆในหน่วยเซลล์คิวบิก .....	75
3.5	ทิศทางในหน่วยเซลล์คิวบิก .....	75
3.6	ดรรชนีมิลเลอร์ของระนาบผลึกในหน่วยเซลล์คิวบิก .....	79
3.7	ระนาบและทิศทางในโครงสร้างผลึกเฮกซะโกนัล .....	84
3.8	เปรียบเทียบโครงสร้างผลึกของ FCC, HCP และ BCC .....	86
3.9	การคำนวณหาความหนาแน่นของหน่วยเซลล์เชิงปริมาตร พื้นที่และเชิงเส้น .....	88
3.10	ภาวะพหุสัณฐานหรือการมีอัญรูป (Polymorphism or Allotropy) .....	91
3.11	การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก (Crystal Structure Analysis) .....	93
3.12	วัสดุอสัณฐาน (Amorphous Materials) .....	100
3.13	สรุป .....	101
3.14	คำนิยาม .....	102
3.15	แบบฝึกหัด .....	103

#### **บทที่ 4 การแข็งตัวของโลหะ ความไม่สมบูรณ์ของผลึกและกระบวนการแพร่ ภายในของแข็ง .....** **107**

4.1	การแข็งตัวของโลหะ .....	108
4.2	การผลิตวัสดุผลึกเดี่ยว .....	117
4.3	สารละลายของแข็งโลหะ .....	119
4.4	ความไม่สมบูรณ์ของผลึก .....	123
4.5	เทคนิคในการทดลองสำหรับการศึกษาโครงสร้าง microstructure และ ความไม่สมบูรณ์ .....	129
4.6	สรุป .....	140
4.7	คำนิยาม .....	141
4.8	แบบฝึกหัด .....	143

#### **บทที่ 5 กระบวนการที่ถูกระตุ้นด้วยความร้อน และการแพร่ภายในของแข็ง .....** **145**

5.1	อัตราเร็วของกระบวนการในสภาวะของแข็ง .....	146
5.2	การแพร่ของอะตอมในของแข็ง .....	150
5.3	การประยุกต์ใช้กระบวนการแพร่ในอุตสาหกรรม .....	155
5.4	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการแพร่ของอะตอมในของแข็ง .....	162
5.5	สรุป .....	164
5.6	คำนิยาม .....	165
5.7	แบบฝึกหัด .....	165

#### **บทที่ 6 สมบัติเชิงกลของโลหะ 1 .....** **169**

6.1	กระบวนการผลิตโลหะและโลหะผสม (The Processing of Metals and Alloys) .....	170
-----	--	-----



6.2	ความเค้นและความเครียดในโลหะ (Stress and Strain in Metals) .....	179
6.3	การทดสอบแรงดึงและแผนภาพของความเค้น-ความเครียดทางวิศวกรรม .....	184
6.4	ความแข็งและการทดสอบความแข็ง .....	191
6.5	การเปลี่ยนรูปหรือผิดรูปอย่างถาวรของโลหะที่เป็นผลึกเดี่ยว .....	193
6.6	การเปลี่ยนรูปอย่างถาวรของโลหะหลายผลึก .....	
	(Plastic Deformation of Polycrystalline Metals) .....	203
6.7	สารละลายของแข็งทำให้โลหะแข็งแรงขึ้น .....	
	(Solid-Solution Strengthening of Metals) .....	207
6.8	การคืนตัว (Recovery) และการตกผลึกใหม่ (Recrystallization) ของโลหะที่เปลี่ยนรูปอย่างถาวร .....	208
6.9	การเปลี่ยนรูปอย่างถาวรที่เยื่อมยอดในโลหะ (Superplasticity in Metals) .....	215
6.10	โลหะผลึกนาโน (Nanocrystalline Metals) .....	217
6.11	สรุป .....	218
6.12	คำนิยาม .....	219
6.13	แบบฝึกหัด .....	221
<b>บทที่ 7</b>	<b>สมบัติเชิงกลของโลหะ 2 .....</b>	<b>223</b>
7.1	การเกิดรอยแตกของโลหะ (Fracture of Metals) .....	224
7.2	ความล้าของโลหะ (Fatigue of Metals) .....	233
7.3	อัตราการทวีรอยแตกช้า (Fatigue crack propagation rate) .....	239
7.4	การคืบและความเค้นแตกหักของโลหะ (Creep and Stress Rupture of Metals) .....	244
7.5	กราฟที่แสดง Creep และ Stress-Rupture Time-Temperature Data โดยใช้ Larsen-Miller Parameter .....	247
7.6	กรณีศึกษาในความล้มเหลวของชิ้นส่วนที่ทำด้วยโลหะ .....	250
7.7	ความก้าวหน้าใหม่ๆ และทิศทางในอนาคตเพื่อปรับปรุงโลหะ ให้มีสมรรถนะเชิงกลดีขึ้น .....	251
7.8	สรุป .....	254
7.9	คำนิยาม .....	254
7.10	แบบฝึกหัด .....	255
<b>บทที่ 8</b>	<b>เฟสโลหะผสม .....</b>	<b>257</b>
8.1	เฟสโลหะผสมของสารที่บริสุทธิ์ .....	258
8.2	กฎเฟสของ Gibbs .....	259
8.3	เส้นโค้งการเย็นตัว (cooling curves) .....	260
8.4	ระบบของโลหะผสมที่มีส่วนประกอบ 2 ชนิดแบบ somorphous (Binary Isomorphous Alloy) .....	262
8.5	กฎ Lever .....	264
8.6	การแข็งตัวของโลหะผสมอย่างไม่สมดุล .....	267

8.7	ระบบของโลหะผสมที่มีส่วนประกอบ 2 ชนิดแบบ Eutectic	270
8.8	ระบบของโลหะผสมที่มีส่วนประกอบ 2 ชนิดแบบ peritectic	277
8.9	ระบบที่มีส่วนประกอบ 2 ชนิดแบบ Monotectic	281
8.10	ปฏิกิริยา Invariant	283
8.11	เฟสไดอะแกรมที่มีเฟสของสารละลายของแข็ง Intermediate และสารประกอบ Intermediate	283
8.12	เฟสไดอะแกรม Ternary	287
8.13	สรุป	289
8.14	คำนิยาม	290
8.15	แบบฝึกหัด	291

## บทที่ 9 โลหะอัลลอยด์หรือโลหะผสม ..... 297

9.1	การผลิตเหล็กและเหล็กกล้า	298
9.2	ระบบของเหล็ก-คาร์บอน	301
9.3	การปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้า Plain-carbon ด้วยการบำบัดด้วยความร้อน	309
9.4	เหล็กกล้า low-alloy	326
9.5	โลหะผสมอะลูมิเนียม	333
9.6	โลหะผสมทองแดง	346
9.7	เหล็กกล้าไร้สนิม	352
9.8	เหล็กหล่อ	355
9.9	โลหะผสมแมกนีเซียม โทเทเนียม และนิกเกิล	362
9.10	โลหะผสมที่มีวัตถุประสงค์เฉพาะ (special-purpose alloys) และการประยุกต์ใช้	366
9.11	โลหะในชีวเวช การประยุกต์ใช้-biometal	371
9.12	สรุป	375
9.13	คำนิยาม	376
9.14	แบบฝึกหัด	378

## บทที่ 10 วัสดุพอลิเมอร์ ..... 381

10.1	บทนำ (Introduction)	382
10.2	ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน	384
10.3	วิธีทำให้เกิดพอลิเมอไรเซชันในทางอุตสาหกรรม	395
10.4	การเกิดผลึกและสเตอริโอไอโซเมอร์ในเทอร์โมพลาสติกบางชนิด	396
10.5	กระบวนการผลิตวัสดุพลาสติก	402
10.6	สมบัติพื้นฐานและการเลือกใช้ประโยชน์ทั่วไปของเทอร์โมพลาสติก	408
10.7	เทอร์โมพลาสติกวิศวกรรม (Engineering Thermoplastics)	418
10.8	เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting plastics, (Thermosets))	427
10.9	อีลาสโตเมอร์หรือยาง (Elastomers or Rubbers)	434



10.10	การเปลี่ยนรูปและการเพิ่มความแข็งแรงของพลาสติก .....	442
10.11	การเกิดครีพและการแตกหักของวัสดุพอลิเมอร์ .....	448
10.12	การประยุกต์ใช้พอลิเมอร์ใน Biomedical-Biopolymers .....	452
13.13	บทสรุป .....	457
10.14	คำนิยาม .....	462
10.15	แบบฝึกหัด .....	465
10.16	การเลือกใช้วัสดุและการออกแบบ .....	466
<b>บทที่ 11 วัสดุเซรามิก.....</b>		<b>469</b>
11.1	บทนำ .....	470
11.2	โครงสร้างผลึกอย่างธรรมดาของเซรามิก .....	471
11.3	โครงสร้างซิลิเกต .....	487
11.4	กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก .....	491
11.5	วัสดุเซรามิกธรรมดาและเซรามิกวิศวกรรม .....	497
11.6	สมบัติเชิงกลของเซรามิก .....	501
11.7	สมบัติทางความร้อนของวัสดุเซรามิก .....	507
11.8	แก้ว .....	511
11.9	การฉาบเซรามิก และวิศวกรรมพื้นผิว .....	519
11.10	วัสดุเซรามิกในการประยุกต์ใช้ในงานชีวเวช .....	521
11.11	นาโนเทคโนโลยีและเซรามิก .....	524
11.12	สรุป .....	525
11.13	คำนิยาม .....	526
11.14	แบบฝึกหัด .....	528
<b>บทที่ 12 วัสดุผสม.....</b>		<b>531</b>
12.1	บทนำ (Introduction) .....	532
12.2	วัสดุที่เป็นพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใย .....	532
12.3	วัสดุผสมพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใย (Fiber-Reinforced Plastic Composite Materials) .....	538
12.4	กระบวนการผลิตวัสดุผสมพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใย โดยใช้แม่พิมพ์แบบเปิด (Open-Mold Processes) .....	546
12.5	กระบวนการทำวัสดุผสมพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใย โดยใช้แม่พิมพ์แบบปิด (Closed-Mold Processes) .....	550
12.6	คอนกรีต (Concrete) .....	552
12.7	ยางมะตอยและยางมะตอยผสม (Asphalt and Asphalt Mixes) .....	561
12.8	ไม้ (wood) .....	562
12.9	โครงสร้างแบบแซนวิช (Sandwich Structures) .....	570
12.10	วัสดุผสมที่เป็นโลหะเมทริกซ์และเซรามิกเมทริกซ์ .....	571
12.11	กระดูก: วัสดุผสมธรรมชาติ (Bone: A Natural Composite Material) .....	578

12.12	บทสรุป .....	582
12.13	คำนิยาม .....	583
12.14	แบบฝึกหัด .....	586

### **บทที่ 13 การกัฏกร้อน ..... 589**

13.1	บทนำ .....	590
13.2	การกัฏกร้อนของโลหะเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า .....	591
13.3	เซลล์แกลแวนิก .....	594
13.4	อัตรากรการกัฏกร้อน (จลนพลศาสตร์) .....	604
13.5	ประเภทของการกัฏกร้อน .....	613
13.6	ออกซิเดชันของโลหะ .....	625
13.7	การควบคุมการกัฏกร้อน .....	630
13.8	สรุป .....	635
13.9	คำนิยาม .....	635
13.10	แบบฝึกหัด .....	636

### **บทที่ 14 สมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุ ..... 641**

14.1	การนำไฟฟ้าในโลหะ .....	642
14.2	แบบจำลองแถบพลังงานสำหรับโลหะตัวนำ .....	650
14.3	สารกึ่งตัวนำแบบ Intrinsic .....	652
14.4	สารกึ่งตัวนำแบบ Extrinsic .....	657
14.6	ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ .....	670
14.7	สารกึ่งตัวนำจำพวกสารประกอบ .....	679
14.8	สมบัติทางไฟฟ้าของเซรามิก .....	681
14.9	นาโนอิเล็กทรอนิกส์ .....	689
14.10	สรุป .....	690
14.11	คำนิยาม .....	691
14.12	แบบฝึกหัด .....	693

### **บทที่ 15 เส้นใยแก้วนำแสง สมบัติด้านทัศนศาสตร์ และวัสดุตัวนำยิ่งยวด ..... 695**

15.1	บทนำ .....	697
15.2	แสงและสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า .....	697
15.3	การหักเหของแสง .....	698
15.4	การดูดกลืน การส่องผ่าน และการสะท้อนของแสง .....	700
15.5	การเรืองแสง (Luminescence) .....	704
15.6	การกระตุ้นให้คายรังสีและเลเซอร์ (stimulated emission of radiation and lasers) .....	707
15.7	เส้นใยนำแสง .....	711
15.8	วัสดุตัวนำยิ่งยวด .....	715



15.9	คำนิยาม .....	721
15.10	แบบฝึกหัด .....	722
<b>บทที่ 16 วัสดุแม่เหล็ก ..... 725</b>		
16.1	บทนำ .....	726
16.2	หน่วยพื้นฐานต่างๆ ในวิชาที่ว่าด้วยเรื่องของแม่เหล็ก .....	727
16.3	ประเภทของสภาวะแม่เหล็ก .....	730
16.4	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อสมบัติแม่เหล็กแบบ Ferromagnetism .....	735
16.5	Ferromagnetic Domains .....	736
16.6	ประเภทต่างๆ ของพลังงานที่เป็นตัวกำหนดโครงสร้างของ Ferromagnetic domains .....	737
16.7	การทำให้โลหะจำพวก Ferromagnetic เกิดสภาวะแม่เหล็ก และหมดสภาวะแม่เหล็ก .....	741
16.8	วัสดุแม่เหล็กแบบ Soft .....	742
16.9	วัสดุแม่เหล็กแบบ Hard .....	748
16.10	Ferrites .....	755
16.11	สรุป .....	759
16.12	คำนิยาม .....	760
16.13	แบบฝึกหัด .....	762
<b>ภาคผนวก 1 .....</b>		
<b>ภาคผนวก 2 .....</b>		
<b>ภาคผนวก 3 .....</b>		
<b>ภาคผนวก 4 .....</b>		
<b>บทที่ 12 วัสดุผสม ..... 531</b>		
12.1	บทนำ .....	532
12.2	วัสดุเชิงประกอบเส้นใยแรงดึงเส้นใย .....	532
12.3	วัสดุผสมพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใย (Fiber Reinforced Plastic Composite Materials) .....	535
<b>12.4 วัสดุเชิงประกอบอีพ็อกซี อิมพาร์ทกับกลีเซอรีน และบิสฟีนอล เอ</b>		
<b>โดยใช้นาโนซิลิกา (Open-Cell Nanosilica) .....</b>		
12.5	กระบวนการทำวัสดุพอลิเมอร์เชิงประกอบเส้นใยผสมผสม .....	545
<b>โดยใช้นาโนซิลิกา (Open-Cell Nanosilica) .....</b>		
12.6	คานาไฟ ใยสังเคราะห์แรงดึงผสม ภาชนะพลาสติก ภาชนะพลาสติก .....	552
12.7	ขั้วต่อของสายส่งแรงดันสูง (ออลเซรามิก) ใยสังเคราะห์ .....	561
12.8	ไม้ (wood) .....	562
12.9	โครงไม้ (wood) .....	570
12.10	วัสดุเชิงประกอบใยสังเคราะห์คาร์บอน .....	571
12.11	การเติม วัสดุเชิงประกอบคาร์บอน (Carbon Fiber) ลงในพลาสติก .....	578

# Foundations of Materials Science and Engineering 4<sup>th</sup> edition

## วัสดุวิศวกรรม

ผู้แต่ง W. Smith และ J. Hashemi  
แปลและเรียบเรียง รศ.แมน อมรสิทธิ์ รศ.ดร.สมชัย อัครทิวา และ อ.ธรรมบุญ อุดมมัน  
ที่ปรึกษา วิฑิต แซ่ลิ้ม  
บรรณาธิการบริหาร วรธนา พันธุ์สว่าง  
กองบรรณาธิการ ณัชชา อีระเกตุ

Translation Copyright © 2008 by McGraw-Hill International Enterprises, Inc.  
All Rights Reserved. Authorized translation from the English language edition published by The McGraw-Hill Companies, Inc. No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

เลขมาตรฐานสากลประจำหนังสือ

ISBN 13 978-974-9965-38-2

MHID 10 974-9965-38-8

ราคา 580 บาท

ผลิตและจัดพิมพ์โดย

สำนักพิมพ์แมคกรอ-ฮิลล์

**Mc  
Graw  
Hill**

**Education**

620.1  
เลขหมู่ 216  
2551  
เลขทะเบียน 15462  
วันที่ 9/ก.ค. 2551  
96627

BSTI DEPT. OF SCIENCE SERVICE  
สำนักหอสมุดฯ กรมวิทยาศาสตร์บริการ



1110003269

40/27 ซอยอินทามาระ 8 ถนนสุทธิสาร พญาไท กรุงเทพฯ 10400

โทร.0-2615-6555 โทรสาร 0-2615-6500

ผู้จัดจำหน่าย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330  
อาคารวิทยกิตติ์ ชั้น 14 สยามสแควร์ ซอย 9 โทร 0-2218-9868  
โทรสาร 0-2254-9495  
Call Center โทร. 0-2255-4433 <http://www.chulabook.com>

ร้านค้าติดต่อ แผนกขายส่ง สยามสแควร์ ชั้น 14 โทร. 0-2218-9889-90  
โทรสาร 0-2254-9495