

# สารบัญ

<b>บทที่ 1</b>	<b>บทนำ</b> .....	1
1.1	ประวัติการหล่อโลหะ.....	1
1.1.1	การหลอมโลหะ.....	1
1.1.2	แบบหล่อ.....	2
1.2	การทำชิ้นงานหล่อ.....	2
1.3	โลหะที่ใช้ในการหล่อ.....	4
1.3.1	เหล็กหล่อ.....	4
1.3.2	เหล็กเหนียวหล่อ.....	5
1.3.3	ทองแดงผสมหล่อ.....	6
1.3.4	โลหะเบาผสมหล่อ.....	6
1.3.5	โลหะผสมหล่ออื่น ๆ.....	6
1.4	การใช้ชิ้นงานหล่อ.....	7
1.4.1	ปริมาณการผลิตของชิ้นงานหล่อ.....	7
1.4.2	คุณสมบัติที่ต้องการและโลหะหล่อที่ให้คุณสมบัตินั้น ๆ.....	7
1.4.3	การใช้โลหะหล่อในงานด้านต่าง ๆ.....	7
<b>บทที่ 2</b>	<b>หลักวิชาการหล่อโลหะ</b> .....	11
2.1	คุณสมบัติของน้ำโลหะ.....	11
2.1.1	ความแตกต่างระหว่างโลหะและน้ำ.....	11
2.1.2	ความหนืดของน้ำโลหะ.....	11
2.1.3	การไหลของน้ำโลหะ.....	13
2.1.4	ความตึงผิวของน้ำโลหะ.....	14
2.2	การแข็งตัวของโลหะ.....	14
2.2.1	การแข็งตัวของโลหะบริสุทธิ์.....	14
2.2.2	การแข็งตัวของโลหะผสม.....	14
2.2.3	การแข็งตัวของชิ้นงานหล่อ.....	15
2.3	แผนภูมิสมดุลของโลหะผสม.....	17
2.3.1	คุณลักษณะของแผนภูมิสมดุล.....	17
2.3.2	ลำดับการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของเหล็กหล่อจากของเหลว จนเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง.....	19

2.4	โครงสร้างและคุณสมบัติของชิ้นงานหล่อ .....	20
2.4.1	โครงสร้างของชิ้นงานเหล็กหล่อเทา .....	20
2.4.2	คุณสมบัติของชิ้นงานเหล็กหล่อ .....	29
2.4.3	โครงสร้างและคุณสมบัติของเหล็กหล่อมัลดีเบิ้ล .....	32
2.4.4	โครงสร้างและคุณสมบัติของเหล็กเหนียวหล่อ .....	34
2.4.5	โครงสร้างและคุณสมบัติของทองแดงผสมหล่อ .....	40
2.4.6	โครงสร้างและคุณสมบัติของอลูมิเนียมผสมหล่อ .....	42
2.5	รูปร่างและมิติของชิ้นงานหล่อ .....	44
2.5.1	ตัวอย่างการปรับปรุงรูปร่างและมิติของชิ้นงานหล่อ .....	44
2.5.2	รูปร่างและมิติมาตรฐานของชิ้นงานหล่อ .....	46
2.5.3	ความเที่ยงของมิติของชิ้นงานหล่อ .....	48
<b>บทที่ 3</b>	<b>กระสวน</b> .....	<b>51</b>
3.1	แบบรูป (Drawing) สำหรับการหล่อ .....	51
3.1.1	การกำหนดว่าส่วนไหนจะอยู่กับแบบหล่อส่วนบน ส่วนไหนอยู่กับ แบบหล่อส่วนล่าง และการกำหนดหน้าผ่า .....	51
3.1.2	การกำหนดขนาดเพื่อหด .....	52
3.1.3	การกำหนดขนาดเพื่อแต่งด้วยเครื่องกลโรงงาน .....	52
3.1.4	การลาดของกระสวน .....	52
3.1.5	การเผื่อไว้สำหรับการบิดการโค้ง .....	53
3.1.6	บ่าของแบบไส้แบบ .....	54
3.2	ชนิดต่าง ๆ ของกระสวน .....	56
3.2.1	กระสวน .....	56
3.2.2	หีบไส้แบบ .....	59
3.3	วัสดุสำหรับใช้ทำกระสวน .....	61
3.3.1	ไม้ .....	61
3.3.2	เรซินเทียชม .....	61
3.3.3	วัสดุที่ใช้ในการทำกระสวนโลหะ .....	61
3.4	การทำกระสวน .....	62
3.4.1	ข้อควรระวังในการทำกระสวน .....	62
3.4.2	เครื่องกลและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำกระสวน .....	62
3.5	การตรวจกระสวน .....	62
3.5.1	ความเข้าใจแบบรูปของกระสวน .....	62
3.5.2	การตรวจด้วยสายตา .....	62
3.5.3	การตรวจมิติ .....	62

<b>บทที่ 4</b>	<b>การจัดระบบงานหล่อ</b>	<b>63</b>
4.1	ระบบจ่ายน้ำโลหะ	63
4.1.1	ชื่อและหน้าที่ของส่วนต่าง ๆ ของระบบจ่ายน้ำโลหะ	63
4.1.2	รูปร่างของส่วนต่าง ๆ ของระบบจ่ายน้ำโลหะ	64
4.1.3	รูเข้านิตต่าง ๆ	66
4.1.4	ระบบรูเข้าสำหรับชิ้นงานเหล็กหล่อ	68
4.1.5	ระบบรูเข้าสำหรับชิ้นงานเหล็กเหนียวหล่อ	70
4.1.6	ระบบรูเข้าสำหรับชิ้นงานหล่อนอกกลุ่มเหล็ก	70
4.2	รูถัน	74
4.2.1	รูถันชนิดต่าง ๆ และความแตกต่างในการใช้งาน	74
4.2.2	รูถันสำหรับชิ้นงานเหล็กหล่อ	74
4.2.3	รูถันสำหรับชิ้นงานเหล็กเหนียวหล่อ	76
4.2.4	รูถันสำหรับชิ้นงานหล่อนอกกลุ่มเหล็ก	77
4.3	ทุนเย็น	79
4.3.1	ทุนเย็นประเภทต่าง ๆ	79
4.3.2	ทุนเย็นสำหรับชิ้นงานเหล็กหล่อ	79
4.3.3	ทุนเย็นสำหรับชิ้นงานเหล็กเหนียวหล่อ	79
4.3.4	การเลือกใช้ทุนเย็นสำหรับชิ้นงานหล่อนอกกลุ่มเหล็ก	80
<b>บทที่ 5</b>	<b>แบบหล่อทรายและทรายทำแบบหล่อ</b>	<b>85</b>
5.1	การทำแบบหล่อด้วยมือ	85
5.1.1	วิธีการทำแบบหล่อสำหรับแบบหล่อนบนและแบบหล่อล่างชนิดธรรมดา	85
5.1.2	การทำแบบปาด	86
5.2	การทำแบบหล่อโดยใช้เครื่อง	87
5.2.1	การทำแบบหล่อโดยใช้เครื่องกระแทก	87
5.2.2	การทำแบบหล่อโดยใช้เครื่องทำแบบหล่อชนิดอัด	89
5.2.3	การทำแบบหล่อโดยใช้เครื่องทำแบบหล่อชนิดกระแทกอัด	89
5.2.4	การทำแบบหล่อโดยใช้เครื่องทำแบบหล่อชนิดความดันสูง	92
5.2.5	การทำแบบหล่อโดยใช้เครื่องทำแบบหล่อชนิดเป่าและอัด	93
5.2.6	การทำแบบหล่อด้วยเครื่องเหวี่ยงทราย	93
5.3	การทำไส้แบบ	95
5.3.1	การทำไส้แบบด้วยมือ	95
5.3.2	การทำไส้แบบโดยใช้เครื่อง	96
5.4	การฉาบผิวแบบหล่อ	96

5.4.1	การฉาบผิวแบบหล่อสำหรับแบบหล่อทรายเปียก.....	97
5.4.2	การฉาบผิวแบบหล่อสำหรับแบบหล่อทรายแห้ง.....	97
5.5	อุปกรณ์เพิ่มเติมของแบบหล่อ.....	98
5.5.1	หมุดยึดไม้แบบ.....	98
5.5.2	เดือยเสริม.....	99
5.5.3	น้ำหนักทับแบบหล่อ.....	99
5.6	ทรายหล่อ.....	100
5.6.1	คุณสมบัติของทรายหล่อ.....	100
5.6.2	ทรายหล่อชนิดต่าง ๆ.....	100
5.6.3	ส่วนประกอบของทรายหล่อ.....	101
5.6.4	คุณสมบัติของทรายทำแบบหล่อ.....	102
5.6.5	การจัดระบบสำหรับทรายทำแบบหล่อ.....	105
5.6.6	การทดสอบทรายทำแบบหล่อ.....	109
<b>บทที่ 6</b>	<b>แบบหล่อทรายที่ใช้ตัวประสานพิเศษ.....</b>	<b>113</b>
6.1	แบบหล่อเปลือก.....	113
6.1.1	วิธีการทำแบบหล่อเปลือก.....	113
6.1.2	ทรายทำแบบหล่อเปลือก.....	114
6.2	วิธีหีบร้อน.....	115
6.2.1	เค้าโครงวิธีหีบร้อน.....	115
6.2.2	ทรายสำหรับวิธีหีบร้อน.....	115
6.3	วิธี CO <sub>2</sub> .....	115
6.3.1	วิธีการทำแบบโดยใช้ CO <sub>2</sub> .....	115
6.3.2	ทรายสำหรับวิธี CO <sub>2</sub> .....	116
6.4	แบบหล่อแข็งเอง.....	116
6.4.1	แบบหล่อแข็งเองชนิดใช้ตัวประสานอินทรีย์.....	116
6.4.2	แบบหล่อแข็งเองใช้ซีเมนต์.....	117
6.4.3	แบบหล่อแข็งเองใช้น้ำแก้ว.....	117
6.4.4	แบบหล่อชนิดทรายไหลและแข็งเอง.....	118
6.5	วิธีหีบเย็น.....	118
6.5.1	การทำแบบหล่อชนิดหีบเย็น.....	118
6.5.2	ทรายสำหรับวิธีหีบเย็น.....	119
6.6	การฉาบผิวแบบหล่อ.....	120

<b>บทที่ 7</b>	<b>การหลอมและการเทเหล็กหล่อ</b>	121
7.1	การหลอมเหล็กหล่อโดยใช้คิวโปลา	121
7.1.1	ส่วนต่าง ๆ ของคิวโปลาโดยย่อ	121
7.1.2	ทฤษฎีการหลอมในคิวโปลา	126
7.1.3	การใช้คิวโปลา	130
7.1.4	วิธีการใช้คิวโปลาในสมัยปัจจุบัน	133
7.2	การหลอมละลายเหล็กหล่อโดยใช้เตาเหนียวนำความดีต่ำ	134
7.2.1	ประเภทและรูปร่างลักษณะของเตาเหนียวนำความดีต่ำ	135
7.2.2	คุณลักษณะสำคัญของการหลอมโลหะโดยใช้เตาเหนียวนำความดีต่ำ	136
7.2.3	การใช้เตาเหนียวนำความดีต่ำ	137
7.3	การตรวจและการปรับคุณสมบัติน้ำเหล็ก	139
7.3.1	วิธีการตรวจน้ำเหล็ก	139
7.3.2	การปรับคุณสมบัติของน้ำเหล็ก	142
7.4	การทำเหล็กหล่อกราไฟท์กลม	144
7.4.1	การหลอมละลายและลดซัลเฟอร์	144
7.4.1	การกระทำให้กราไฟท์กลม	145
7.5	การเทเหล็กหล่อ	147
7.5.1	เข้าเท	147
7.5.2	การระมัดระวังในการเท	148
7.5.3	การเทโดยอัตโนมัติ	148
<b>บทที่ 8</b>	<b>การหลอมละลายและการเทโลหะชนิดต่าง ๆ</b>	151
8.1	การหลอมละลายและการเทเหล็กหล่อกราไฟท์จับกลุ่มหรือเหล็กหล่อเหนียวหรือเหล็กหล่อมัลลีเบิล	151
8.2	การหลอมละลายและการเทเหล็กเหนียวหล่อ	151
8.2.1	วิธีการหลอมละลาย	152
8.2.2	วิธีการเท	153
8.2.3	การทดสอบในการหล่อ	155
8.2.3.1	การวัดอุณหภูมิ	155
8.2.3.2	การทดสอบซีตะกักรัน	155
8.3	การหลอมละลายและการเทโลหะผสมที่มีทองแดงเป็นส่วนผสมหลัก	156
8.3.1	การหลอมละลายโลหะผสมทองเหลือง	156
8.3.2	การหลอมละลายโลหะผสมทองเหลืองทนแรงดึงได้สูง	156
8.3.3	การหลอมละลายโลหะผสมบรอนซ์	157

8.3.4	การหลอมละลายฟอสเฟอไรบรอนซ์ .....	157
8.3.5	การหลอมละลายอลูมิเนียมบรอนซ์ .....	158
8.4	การหลอมละลายโลหะผสมอลูมิเนียม .....	158
<b>บทที่ 9</b>	<b>การกระทำหลังหล่อเสร็จและการปรับด้วยความร้อน .....</b>	<b>161</b>
9.1	การแกะชิ้นงานและทรายจากหีบหล่อ .....	161
9.1.1	การแกะชิ้นงานจากแบบหล่อ .....	161
9.1.2	เครื่องเอาทรายออกและทำความสะอาดผิวชิ้นงาน .....	161
9.1.3	การจัดการกับทรายที่เอาออกจากงานหล่อ .....	164
9.2	การตกแต่งชิ้นงาน .....	164
9.2.1	การเอารูเทและรูสันออก .....	164
9.2.2	การตกแต่ง .....	165
9.3	การซ่อมชิ้นงานหล่อ .....	167
9.3.1	การซ่อมโดยการเชื่อม .....	167
9.3.2	การซ่อมโดยวิธีกด .....	172
9.3.3	การอุด .....	172
9.3.4	วิธีอื่น ๆ .....	172
9.4	การปรับคุณสมบัติของชิ้นงานหล่อด้วยความร้อน .....	172
9.4.1	การปรับคุณสมบัติของเหล็กหล่อด้วยความร้อน .....	173
9.4.2	การปรับคุณสมบัติด้วยความร้อนสำหรับเหล็กหล่อมัลดีเบิ้ล .....	174
9.4.3	การปรับคุณสมบัติด้วยความร้อนสำหรับเหล็กหล่อเหนียว .....	175
9.4.4	การปรับคุณสมบัติด้วยความร้อนสำหรับเหล็กเหนียวหล่อ .....	176
9.4.5	การปรับคุณสมบัติด้วยความร้อนสำหรับโลหะผสมทองแดงหล่อ .....	179
9.4.6	การปรับคุณสมบัติด้วยความร้อนสำหรับโลหะผสมอลูมิเนียมหล่อ .....	180
<b>บทที่ 10</b>	<b>การตรวจชิ้นงานหล่อ .....</b>	<b>181</b>
10.1	จุดประสงค์ของการตรวจชิ้นงานหล่อ .....	181
10.2	การตรวจรูปร่างลักษณะ .....	182
10.2.1	วิธีการตรวจรูปร่างลักษณะ .....	182
10.2.2	การตรวจมิติ .....	182
10.3	การตรวจจุดเสียภายใน .....	184
10.3.1	การเคาะตรวจ .....	184
10.3.2	การตรวจโดยวิธีซึมเข้าผิว .....	184
10.3.3	การตรวจวิธีแมกนัฟลักซ์หรือเส้นแรงแม่เหล็ก .....	185
10.3.4	การตรวจโดยใช้ความถี่เหนือเสียง .....	186

10.3.5	การตรวจโดยใช้รังสี (Radiographic inspection).....	187
10.3.6	การทดสอบโดยใช้ความดันน้ำและอากาศ.....	187
10.4	การทดสอบวัสดุ.....	189
10.4.1	การวัดความแข็ง.....	189
10.4.2	การทดสอบโดยการดึง.....	191
10.4.3	การทดสอบทางกลอื่น ๆ.....	192
10.4.4	การทดสอบโดยการวิเคราะห์.....	192
10.4.5	การตรวจโครงสร้างผลึก.....	192
<b>บทที่ 11</b>	<b>จุดเสียในงานหล่อและวิธีแก้ไข.....</b>	<b>195</b>
11.1	จุดเสียชนิดต่าง ๆ และลักษณะ.....	195
11.2	จุดเสียในชิ้นงานเหล็กหล่อ.....	195
11.2.1	รูพรุน.....	195
11.2.2	รูเข็ม.....	201
11.2.3	รูแกสที่เกิดจากทุ่นเย็น.....	201
11.2.4	โพรงที่เกิดจากการหดตัว.....	202
11.2.5	การหดตัวที่เกิดตรงส่วนนอก.....	203
11.2.6	โพรงที่เกิดจากการหดตัว.....	204
11.2.7	ผิวหยาบเห็นเป็นโครงสร้างของเม็ดผลึก.....	204
11.2.8	สะเก็ดที่เกิดจากผิวแบบหล่อหลุด.....	204
11.2.9	จุดเสียหางหนู หรือจุดเสียเป็นเส้น ๆ.....	205
11.2.10	แบบหล่อหักเป็นบางส่วน.....	205
11.2.11	แบบหล่อปูดขึ้นที่หน้าผา.....	206
11.2.12	ทรายติดกระสวน.....	206
11.2.13	ทรายหลวมแข็ง.....	206
11.2.14	น้ำโลหะแทรกเข้าในเนื้อทราย.....	207
11.2.15	แบบหล่อโป่ง.....	207
11.2.16	การเคลื่อนของแบบหล่อ.....	208
11.2.17	ไส้แบบเข้ซ้อน.....	209
11.2.18	รอยร้าวหรือรอยแตก.....	209
11.2.19	การเกิดเหล็กหล่อเย็นเร็ว.....	210
11.2.20	การเกิดเหล็กหล่อเย็นเร็วกลับทาง.....	211
11.2.21	น้ำโลหะเข้าไม่ถึงและน้ำโลหะแข็งปิดทาง.....	211
11.2.22	ขี้ตะกรันแทรกอยู่ในเนื้องาน.....	212
11.2.23	ทรายแทรกอยู่ในเนื้อโลหะ.....	212
11.2.24	การบิดโก่ง.....	212

11.3	จุดเสียของชิ้นงานเหล็กหล่อกราไฟท์กลม .....	213
11.3.1	ซีโลหะ (Dross) .....	213
11.3.2	โครงสร้างยูเทคติก .....	214
11.4	จุดเสียของชิ้นงานเหล็กเหนียวหล่อ .....	214
11.4.1	โพรงเกิดจากการหดตัว .....	214
11.4.2	ทรายแทรกในเนื้อโลหะ .....	215
11.5	จุดเสียของโลหะผสมทองแดงหล่อ .....	215
11.5.1	ผิวหยาบเห็นเป็นเม็ดผลึก .....	216
11.5.2	ซีโลหะ .....	216
11.6	จุดเสียของโลหะผสมเบ้าหล่อ .....	217
11.6.1	รูพรุน .....	217
11.6.2	ซีโลหะ .....	219
<b>บทที่ 12</b>	<b>วิธีการหล่อพิเศษ .....</b>	<b>221</b>
12.1	ข้อเปรียบเทียบการหล่อชนิดต่าง ๆ .....	221
12.2	การหล่อเหวียง .....	221
12.3	การหล่อแบบแม่พิมพ์ .....	222
12.4	การหล่อด้วยความดันต่ำ .....	228
12.5	การหล่อในแบบหล่อโลหะ (การหล่อด้วยแรงตึง) .....	229
12.6	วิธีซีพิงหาย .....	230
<b>บทที่ 13</b>	<b>โรงหล่อ .....</b>	<b>233</b>
13.1	อุปกรณ์และการวางผังโรงหล่อ .....	233
13.1.1	ขบวนการผลิตชิ้นงานหล่อ .....	233
13.1.2	อุปกรณ์ในโรงหล่อ .....	235
13.1.3	ผังโรงหล่อ .....	237
13.2	อุปกรณ์รักษาสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงหล่อ .....	239
13.2.1	ปัญหาการรักษาสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงหล่อ .....	239
13.2.2	เครื่องดักฝุ่นจากกิวโปลา .....	241
13.2.3	เครื่องดักฝุ่นสำหรับเตาไฟฟ้า .....	243
13.2.4	เครื่องดักฝุ่นสำหรับเครื่องปรับคุณสมบัติทราย .....	244
13.2.5	การกำจัดน้ำโสโครก .....	245
13.2.6	วิธีแก๊สเสียงดัง .....	245
13.3	การจัดระบบบำรุงรักษาอุปกรณ์และการรักษาความปลอดภัย .....	246
13.3.1	จุดสำคัญในระบบบำรุงรักษาอุปกรณ์ .....	247



13.3.2	การตรวจและซ่อม .....	247
13.3.3	การรักษาความปลอดภัยในโรงหล่อ .....	247

# หล่อโลหะ

โดย

ดร. หริส สุตะบุตร

อาจารย์เอก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ศูนย์ชนบุรี

เลขหมู่	671.25
	ท 17
เลขทะเบียน	4881
วันที่	6 ม.ค. 131

และ

ดร. เกนยิ จิยิอิวา

ศาสตราจารย์มหาวิทยาลัยโตเกียว



บริษัท สำนักพิมพ์ดวงกมล จำกัด

(สงวนลิขสิทธิ์)

ราคา 70 บาท

ห้องสมุดกรมวิทยาศาสตร์บริการ