สารบัญ

สารบัญตาราง

สารบัญภาพ

บทที่ 1 บทนำ **13**

บทที่ 2 ภาพทางโลหะวิทยา **15**

บทที่ 3 การตัด (cutting) **21**

3.1 การตัดด้วยใบตัดแอบเรซีฟ (abrasive cutoff wheel) 21

3.2 การตัดด้วยใบตัดเพชร (diamond cutting) 24

3.3 เลื่อยเส้นลวด (wire saw) 25

บทที่ 4 การขึ้นเรือน (mounting) **27**

4.1 วัสดุสำหรับขึ้นเรือน (mounting materials) 27

4.1.1 เรซินชนิดเทอร์โมเซ็ต (thermosetting resins) 28

4.1.2 เรซินชนิดเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic resins) 29

4.1.3 เรซินชนิดเทหล่อ (castable resins) 29

4.2 เทคนิคการขึ้นเรือนแบบพิเศษ 32

4.2.1 การขึ้นเรือนในสภาวะสุญญากาศ (vacuum impregnation) 32

4.2.2 การขึ้นเรือนแบบมุมเอียง (taper mounting) 32

4.2.3 การขึ้นเรือนแบบทำให้เกิดการคงรูปขอบ (edge retention) 34

4.2.4 การขึ้นเรือนแบบนำไฟฟ้า (conducting mount) 34

บทที่ 5 การขัดผิว **35**

5.1 การขัดผิวแบบหยาบ (grinding) 35

5.2 การขัดผิวแบบกึ่งละเอียด (lapping) 36

5.3 การขัดผิวแบบละเอียด (polishing) 37

5.3.1 ผ้าขัด (polishing cloths) 37

5.3.2 เม็ดขัด (polishing abrasives) 38

5.4 เทคนิคการขัดผิวแบบละเอียดด้วยวิธีทางไฟฟ้า (electropolishing) 39

5.5 การทำความสะอาดชิ้นงานและการทำให้แห้ง 40

content

บทที่ 6 การกัดขึ้นรอย (etching) 42

บทที่ 7 เทคนิคการเตรียมโครงสร้างโลหะและโลหะผสม 46

7.1 อะลูมิเนียม 46

7.2 ทองแดง 56

7.3 เหล็ก เหล็กกล้า และเหล็กกล้าหล่อ 65

บทที่ 8 ข้อบกพร่องในโครงสร้างจุลภาคที่เกิดจากการเตรียมผิวชิ้นงาน 88

บทที่ 9 กรณีศึกษาตัวอย่างโครงสร้างจุลภาคโลหะผสมประเภทต่างๆ 90

บทที่ 10 วิธีมาตรฐานสำหรับการหาสัดส่วนปริมาตร (volume fraction) 121

10.1 ขอบเขตเนื้อหา 121

10.2 คำศัพท์และสัญลักษณ์ 121

10.3 สรุปวิธีการทดสอบ 123

10.4 ข้อสังเกตและการนำไปใช้ 123

10.5 อุปกรณ์ 123

10.6 การคัดเลือกตัวอย่าง 124

10.7 การเตรียมตัวอย่าง 124

10.8 ขั้นตอนของการทดสอบ 125

10.9 การคำนวณค่าประมาณของเปอร์เซ็นปริมาตรและเปอร์เซ็นความถูกต้องสัมพัทธ์ 127

10.10 การปรับปรุงประสิทธิภาพของการประมาณสัดส่วนปริมาตร 128

10.11 รายงาน 129

10.12 Effort Required 129

10.13 ความแม่นยำและความเอนเอียง 129

ข้อมูลอ้างอิง 131

อภิธานศัพท์ 132

ภาคผนวก ก วัสดุผงโลหะ (Powder Metallurgy materials) 139

ภาคผนวก ข งานเชื่อม (Weldments) 140

ภาคผนวก ค รายชื่อสารเคมี 141

ภาคผนวก ง ข้อแนะนำสำหรับการใช้วัสดุที่เป็นอันตราย 142

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3-1	ปัญหา สาเหตุ และวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดจากสภาวะของการตัดที่ไม่เหมาะสม	23
4-1	สมบัติทั่วไปของเรซินฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์และเรซินไดอัลลิลพาทาเลต	30
4-2	สมบัติทั่วไปของเรซินเมทิลเมตาไครเลต โพลิสไตรีน โพลีไวนิลฟอร์มอล และโพลีไวนิลคลอไรด์	30
4-3	ปัญหาที่มักปรากฏในการใช้วัสดุขึ้นเรือนเรซินชนิดเทอร์โมเซ็ตและเทอร์โมพลาสติก	31
4-4	ปัญหาที่มักปรากฏในการใช้วัสดุขึ้นเรือนเรซินชนิดอะคริลิก โพลิเอสเทอร์ และอิพอกซี	33
5-1	ข้อเสนอแนะในการเลือกใช้เม็ดขัดซิลิคอนคาร์ไบด์	37
5-2	ปัญหาที่มักพบในการทำความสะอาดชิ้นงาน	41
7-1	เทคนิคการขัดผิวแบบละเอียดด้วยวิธีเคมีไฟฟ้าสำหรับอะลูมิเนียม	49
7-2	การกัดขึ้นรอยโครงสร้างมหภาคสำหรับอะลูมิเนียม	50
7-3	การกัดขึ้นรอยโครงสร้างจุลภาคสำหรับอะลูมิเนียม	51
7-4	การกัดขึ้นรอยด้วยวิธีทางไฟฟ้าสำหรับอะลูมิเนียม	53
7-5	การกัดขึ้นรอยโครงสร้างมหภาคอะลูมิเนียมจำแนกตามประเภทสารกัดขึ้นรอย	54
7-6	การกัดขึ้นรอยโครงสร้างจุลภาคอะลูมิเนียมจำแนกตามประเภทสารกัดขึ้นรอย	55
7-7	เทคนิคการขัดผิวแบบละเอียดด้วยวิธีเคมีไฟฟ้าสำหรับทองแดง	58
7-8	การกัดขึ้นรอยโครงสร้างมหภาคสำหรับทองแดง	59
7-9	การกัดขึ้นรอยโครงสร้างจุลภาคสำหรับทองแดง	60
7-10	การกัดขึ้นรอยด้วยวิธีทางไฟฟ้าสำหรับทองแดง	62
7-11	การกัดขึ้นรอยโครงสร้างมหภาคทองแดงและสารประกอบของทองแดงจำแนกตามประเภทสารกัดขึ้นรอย	62
7-12	การกัดขึ้นรอยโครงสร้างจุลภาคทองแดงและสารประกอบทองแดงจำแนกตามประเภทสารกัดขึ้นรอย	63
7-13	การกัดขึ้นรอยโครงสร้างโลหะด้วยวิธีทางไฟฟ้าจำแนกตามประเภทอิเล็กโตรไลต์	64
7-14	เทคนิคการขัดผิวแบบละเอียดด้วยวิธีทางไฟฟ้า	67
7-15	การกัดขึ้นรอยโครงสร้างมหภาคสำหรับเหล็ก	68
7-16	การกัดขึ้นรอยโครงสร้างจุลภาคสำหรับเหล็ก	70
7-17	การกัดขึ้นรอยด้วยวิธีทางไฟฟ้าสำหรับเหล็ก	74
7-18	การกัดขึ้นรอยชั้นออกไซด์ของเหล็ก	74
7-19	การกัดขึ้นรอยชั้นออกไซด์ของเหล็กด้วยวิธีทางไฟฟ้า	75
7-20	การกำจัดชั้นออกไซด์ของเหล็ก	76
7-21	การกัดขึ้นรอยโครงสร้างมหภาคของเหล็กหล่อและเหล็กกล้าจำแนกตามประเภทสารกัดขึ้นรอย	76
7-22	การกัดขึ้นรอยโครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อและเหล็กกล้าจำแนกตามประเภทสารกัดขึ้นรอย	78
7-23	การกัดขึ้นรอยโครงสร้างมหภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าผสมจำแนกตามประเภทสารกัดขึ้นรอย	79
7-24	การกัดขึ้นรอยโครงสร้างของเหล็กกล้าแมงกานีสจำแนกตามประเภทสารกัดขึ้นรอย	81
7-25	การกัดขึ้นรอยโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าเครื่องมือจำแนกตามประเภทสารกัดขึ้นรอย	82

ตารางที่		หน้า
7-26	การขัดผิวแบบละเอียดด้วยวิธีทางไฟฟ้าสำหรับเตรียมการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของเหล็กกล้าไร้สนิม โดยจำแนกตามประเภทอิเล็กโตรไลต์	83
7-27	การกัดขึ้นรอยโครงสร้างมหภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมจำแนกตามประเภทสารกัดขึ้นรอย	84
7-28	การกัดขึ้นรอยโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมจำแนกตามประเภทสารกัดขึ้นรอย	85
8-1	ข้อบกพร่องที่มักพบในโครงสร้างจุลภาคที่เกิดในขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน และข้อเสนอแนะสำหรับการตรวจสอบหรือแก้ไขข้อบกพร่อง	88
10-1	คำอธิบายในรายละเอียดของคำศัพท์และสัญลักษณ์	121
10-2	การหาค่า n จากฟังก์ชันของความถูกต้องสัมพัทธ์ที่กำหนดและค่าประมาณขนาดสัดส่วนปริมาตรของส่วนผสม	122
10-3	แนวทางสำหรับการเลือกใช้ขนาดของกริด	126
10-4	แสดงค่า 95% Confidence Interval Multipliers	126
10-5	ผลของ Interlaboratory Point Counting Round-Robin	130

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	โซนอันตรายที่เกิดจากการเตรียมผิวโดยเปรียบเทียบจากประเภทการขัดผิวแบบละเอียดวิธีเชิงกลและวิธีทางไฟฟ้า	14
1-2	การแบ่งลักษณะทางโครงสร้างของวัสดุตามขนาดของสสาร	14
2-1	จุดบกพร่องประเภทการเสียรูปในลักษณะเส้นสั้นและเส้นคม	18
2-2	อินคลูชันหลุดออกจากโครงสร้างและทำให้เกิดจุดบกพร่องประเภทรอยขูดขีด (scratches) และผิวหลุด (pull-outs)	18
2-3	เหล็กกล้าที่มีลักษณะเหนียวและมีความแข็งไม่สูงมากนักเกิดจุดบกพร่องประเภท ผิวซ้อน (smearing)	19
2-4	จุดบกพร่องประเภทขอบมน (edge rounding) ในโครงสร้างของเหล็กกล้าไร้สนิม	19
3-1	ความเสียหายของผิวหน้าวัสดุประเภทต่างๆ ที่ขึ้นอยู่กับวิธีการตัด	21
3-2	ตัวอย่างใบตัดอะแบรซีฟ (abrasive cutoff wheel)	22
3-3	พฤติกรรมของเม็ดขัดบนใบตัดอะแบรซีฟในขณะใช้งาน	22
3-4	ตัวอย่างของใบตัดเพชร	25
3-5	เครื่องตัดของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค)	25
3-6	เลื่อยเส้นลวด	26
4-1	ชิ้นตัวอย่างที่ขึ้นเรือนด้วยสารขึ้นเรือนชนิดต่างๆ	27
4-2	เรซินเบเคอไลท์ชนิดผงสีดำและผงสีขาว	28
4-3	ลักษณะการเตรียมชิ้นตัวอย่างแบบมุมเอียง (taper mounting)	32
4-4	การขึ้นเรือนแบบ epoxy-sandwich (คงรูปขอบ)	34
4-5	การขึ้นเรือนชิ้นงานสำหรับการขัดผิวด้วยวิธีทางไฟฟ้า (electrolytic polishing)	34
5-1	ลักษณะการสึกของเม็ดขัดบนกระดาษซิลิคอนคาร์ไบด์	36
5-2	การขัดผิวแบบกึ่งละเอียด (lapping)	36
5-3	ลักษณะการยึดเกาะของเม็ดขัดบนเส้นใยผ้า	38
5-4	ลักษณะผิวขรุขระของชิ้นงานเมื่อสัมผัสกับกรดจะเกิดปฏิกิริยาได้ชั้นของเหลวpolishing film	39
5-5	หลักการของการขัดผิวแบบละเอียดด้วยวิธีทางไฟฟ้า	40
9-1	โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนสูง	90
9-2	ชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนสูงที่ปรากฏโครงสร้างมาร์เทนไซต์แบบ plate และ retained austainite	92
9-3	เหล็กกล้าคาร์บอนสูงโครงสร้างเทมเปอร์มาร์เทนไซต์ มีซีเมนไทต์กระจายอยู่ในโครงสร้างเฟอร์ไรต์	93
9-4	โครงสร้างเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดมาร์เทนซิติก เกรด 440 ปรากฏโครงสร้างพื้นของมาร์เทนไซต์ที่มีเฟสโครเมียมคาร์ไบด์ทั้ง primary และ secondary กระจายอยู่	94
9-5	เหล็กกล้าผสมต่ำเกรด 4140 ที่ทำการอบชุบ การทำเทมเปอร์ และเพิ่มความแข็งที่ผิวด้วยการทำไนไตรดิง	94
9-6	โครงสร้างเหล็กกล้าชนิดแผ่นที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำปรากฏเฟสเฟอร์ไรต์และเพิร์ลไลต์เรียงตัวตามแนวการรีดขึ้นรูป	95
9-7	โครงสร้างเหล็กกล้าผสมต่ำ AISI 8620	96
9-8	โครงสร้างตามแนวการรีดของลวดเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (คาร์บอน 0.1%) จากการอัดรีดขึ้นรูปจึงปรากฏโครงสร้างเฟอร์ไรต์และเพิร์ลไลต์ที่ยืดตัวตามแนวอัดรีด	96
9-9	โครงสร้างภาคตัดขวางของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (0.1%C) ที่ถูกรีดขึ้นรูป และทำการอบอ่อนจึงปรากฏโครงสร้างเฟอร์ไรต์และเพิร์ลไลต์	97
9-10	โครงสร้างตามแนวการรีดของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (ต่ำกว่า 0.08%C) ที่ถูกรีดขึ้นรูป และผ่านการอบอ่อน ทำให้เกิดโครงสร้างของเฟอร์ไรต์ (ferritic structure)	97

ภาพที่		หน้า
9-11	โครงสร้างเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ถูกรีดขึ้นรูปเย็น อบอ่อน และรีดซ้ำเพื่อลดความเค้น	98
9-12	แผ่นเหล็กกล้าเคลือบอะลูมิเนียม (Aluminized steel) ที่เกิดการกัดกร่อนในชั้นเหล็ก	100
9-13	เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำชนิดแผ่นถูกเคลือบด้วย Zn – Al หรือ Galvalume	100
9-14	ชิ้นงานหล่อแบบเหวี่ยงของเหล็กเครื่องมือผสมโครเมียมสูง	102
9-15	เหล็กหล่อเทาที่มีแกรไฟต์แบบเกล็ดกระจายอย่างสม่ำเสมอในโครงสร้างพื้น (type A)	103
9-16	เหล็กหล่อเทา FC25 ที่มีเพิร์ลไลต์เป็นโครงสร้างพื้นและมีแกรไฟต์ชนิดเกล็ดใน รูปแบบการกระจายแบบ type A	104
9-17	เหล็กหล่อเทาที่มีรูปแบบแกรไฟต์ type E	105
9-18	เหล็กหล่อเทาที่มีแกรไฟต์กระจายแบบไร้ทิศทาง (type D)	106
9-19	เหล็กหล่อเทาชนิดไฮเปอร์ยูเทกติคที่มีแกรไฟต์แบบ Kish graphite	107
9-20	เหล็กหล่อเทาชนิดแกรไฟต์กลมที่เกิดการแตกร้าวในโครงสร้างเนื่องจากมีก๊าซแทรกอยู่ภายในเนื้อโลหะ	107
9-21	เหล็กหล่อเทาที่มีแกรไฟต์รูปร่างคล้ายตัวหนอน หรือ compacted graphite	108
9-22	โลหะผสมอะลูมิเนียมชนิดไฮโปยูเทกติคที่มีโครงข่ายของเฟสทุติยภูมิล้อมรอบสารละลายของแข็งอะลูมิเนียม	109
9-23	โครงสร้างไฮเปอร์ยูเทกติคของอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนที่มีเฟสซิลิคอนปฐมภูมิ และเฟสทุติยภูมิที่มีลักษณะกระจัดกระจายและเป็นโครงข่าย	109
9-24	โลหะผสมอะลูมิเนียมเกรด ADC10	110
9-25	โลหะผสมอะลูมิเนียมเกรด ADC10Z	110
9-26	โลหะผสมอะลูมิเนียมเกรด ADC12	111
9-27	ชิ้นงานหมุดของอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนซึ่งถูกขึ้นรูปเย็นโดยการทุบ	111
9-28	แนวเชื่อมของโลหะผสมอะลูมิเนียมที่ปรากฏเดนไดรต์อย่างชัดเจน	112
9-29	แนวการไหลของลวดทองแดงที่ถูกรีดขึ้นรูป	112
9-30	เส้นทองแดงที่ได้จากการรีดขึ้นรูปเย็นจึงปรากฏโครงสร้างของ twinning	113
9-31	ทองเหลืองที่ถูกขึ้นรูปด้วยแรงกระทำจึงเกิดแถบของ twinning	113
9-32	โครงสร้างตามแนวรีดของทองเหลืองที่ถูกรีดขึ้นรูปและอบอ่อนจึงพบเกรน equiaxed ของสารละลายของแข็งที่มีแถบของ twinning	114
9-33	โครงสร้างยูเทกติคและอนุภาคของเฟส e ที่แทรกอยู่รอบยูเทกติคในงานหล่อโลหะผสมสังกะสี	115
9-34	ภาคตัดขวางของเหล็กกล้าแผ่นรีดร้อนที่ไม่ผ่านการกำจัดสเกลจึงปรากฏสเกลปกคลุมเหนือผิวโครงสร้าง	115
9-35	การแตกผ่าเกรนในโครงสร้างของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ถูกรีดขึ้นรูปร้อนและถูกลากขึ้นรูป	116
9-36	โครงสร้างของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางที่ปรากฏเฟอร์ไรต์และเบนไนต์ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมเงื่อนไขในการอบชุบให้มีประสิทธิภาพ	117
9-37	โครงสร้างของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางที่มีความร้อนสะสมอยู่มากจึงเกิดการ burning	117
9-38	เหล็กหล่อเทาแกรไฟต์กลมไม่สมบูรณ์	118
9-39	จุดบกพร่องจากการบวมพองที่ผิวหรือบลิสเตอร์ในงานหล่อมีลักษณะโพรงที่บริเวณใกล้ผิวชิ้นงานซึ่งเกิดจากฟองก๊าซขยายตัว	118
9-40	เส้นทองเหลืองจากการรีดขึ้นรูปเย็นที่เกิดการแตกร้าวแบบผ่านเกรน	119
9-41	เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเทนนิติกที่เกิดการกัดกร่อนทั้งภายในเกรนและขอบเกรน เนื่องจากคาร์บอนในเนื้อวัสดุถูกนำไปสร้างเป็นสารประกอบประเภทคาร์ไบด์	120
10-1	แสดงตัวอย่างกริดที่นิยมนำมาใช้งาน	123

การศึกษาและวิเคราะห์โลหะจากภาพ

ผู้เขียน
คุณวิลาสินี วุฒิถิรสกล
คุณอุมารินทร์ พงศ์โสภิตานันท์
คุณธนาภรณ์ โกราษฎร์
โปรแกรมเทคโนโลยีโลหะ

จัดพิมพ์โดย
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค)
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
114 อุทยานวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ถ.พหลโยธิน กม.42 ต.คลองหนึ่ง
อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
โทรศัพท์ 0 2564 6500 โทรสาร 0 2564 6501-5
http://www.mtec.or.th

เลขหมู่ 669
Q37
2548
เลขทะเบียน 13216
วันที่ 8 S.A. 2548
33758

ISBN 974-229-835-1
พิมพ์ครั้งที่ 1 พฤศจิกายน 2548
จำนวน 1,500 เล่ม
พิมพ์ที่ บริษัท ไทยเอฟเฟค สตูดิโอ จำกัด โทรศัพท์ 0 2895 1087
ราคา 150 บาท

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537
โดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
วันที่ 10 พฤศจิกายน 2548

ด้วยอภินันทนาการ
จาก
อาจ. สุรินทร์
L 6 S.A. 2548

จัดจำหน่ายโดย
บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
อาคารเนชั่นทาวเวอร์ ชั้นที่ 19 เลขที่ 46/87-90
ถนนบางนา-ตราด แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260
โทรศัพท์ 0 2739 8222, 0 2739 8000 โทรสาร 0 2739 8356-9
http://www.se-ed.com