

# สารบัญ

## CONTENTS

คำนำ

สารบัญ

<b>บทที่ 1</b>	<b>ความปลอดภัยในงานเชื่อม Welding Safety</b>	<b>1</b>
	จุดประสงค์การเรียนรู้.....	1
	บทนำ.....	2
<b>1.1</b>	<b>อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัย (Safety equipment).....</b>	<b>2</b>
	อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยส่วนบุคคล (Personal protective equipment : PPE).....	2
	อุปกรณ์ความปลอดภัยระหว่างปฏิบัติงาน (Operation protective equipment : OPE).....	6
<b>1.2</b>	<b>อันตรายที่ต้องระวังจากการเชื่อม (Welding hazards).....</b>	<b>12</b>
	อันตรายจากความร้อนและเปลวไฟ (Heat and fire hazards).....	12
	อันตรายจากรังสี ควันและแก๊ส (Rays, Fumes and Gases hazards).....	13
	อันตรายจากประกายไฟ เพลิงและระเบิด (Sparks, Fires and Explosions hazards).....	19
	อันตรายจากเสียง ไฟฟ้าดูดและพื้นที่ทำงาน (Noise, Electric shock and Work area hazards).....	24
	ดัชนีคำศัพท์บทที่ 1.....	29
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1.....	30
	บรรณานุกรมบทที่ 1.....	31
<b>บทที่ 2</b>	<b>กรรมวิธีการตัดและการเจาะร่อง Cutting and Gouging Processes</b>	<b>33</b>
	จุดประสงค์การเรียนรู้.....	33
	บทนำ.....	34
<b>2.1</b>	<b>ขบวนการตัดด้วยแก๊สออกซิเจน (Oxy-fuel gas cutting : OFC).....</b>	<b>35</b>
	เครื่องมือและอุปกรณ์ในขบวนการตัดด้วยแก๊สออกซิเจน.....	35

ขบวนการตัด (Cutting processes).....	38
การเตรียมหัวตัดและหัวทูป (Preparation of cutting torches and cutting tip).....	41
การวางตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของหัวตัด (Alignment and movement of the cutting torch).....	46
การป้องกันการบิดเบี้ยวของงานตัด (Distortion in flame cutting).....	53
<b>2.2 ขบวนการตัดด้วยลำอาร์กพลาสมา (Plasma arc cutting : PAC).....</b>	<b>54</b>
องค์ประกอบของกรรมวิธีการตัดพลาสมา (Plasma arc cutting component).....	55
เทคนิคของกรรมวิธีการตัดพลาสมา (Technic of plasma arc cutting).....	60
การเลือกกระบอกการอาร์กหัวตัดพลาสมา (Type of arc torch).....	60
ความกว้างของร่องตัด (Widths of kerf).....	63
การเลือกแก๊สตัดพลาสมา (Gases for plasma cutting).....	64
ความปลอดภัยจากระบบการอาร์กหัวตัดพลาสมา (Type of arc torch).....	65
การบิดตัวจากการตัดพลาสมา (Plasma cutting distortion).....	67
การตัดเจาะร่องด้วยพลาสมา (Plasma arc gouging).....	69
<b>2.3 ขบวนการตัดและเจาะร่องด้วยอากาศ-คาร์บอนอาร์ก (Carbon arc-air cutting and gouging).....</b>	<b>73</b>
องค์ประกอบและระบบของการอาร์กด้วยลวดคาร์บอนและอากาศอัด.....	73
หัวตัดเจาะร่อง (Gouging torch).....	74
เครื่องตัดเจาะร่อง (Gouging machine).....	75
ปัจจัยการตัดเจาะร่อง (Gouging parameter).....	75
กระแสไฟฟ้าของการอาร์กเจาะร่อง (Gouging current).....	76
มุมของลวดอาร์กเจาะร่อง (Gouging angle).....	77
<b>2.4 ขบวนการตัดด้วยลำแสงเลเซอร์ (Laser beam cutting : LBC).....</b>	<b>79</b>
หลักการตัดโลหะด้วยลำแสงเลเซอร์ (LBC).....	79
แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ (Laser resonator).....	79
หัวตัดเลเซอร์ (Laser cutting torch).....	80
ปัจจัยการตัดด้วยลำแสงเลเซอร์ (Parameter of laser cutting).....	82
ดัชนีคำศัพท์บทที่ 2.....	85
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2.....	87
บรรณานุกรมบทที่ 2.....	90

<b>บทที่ 3</b>	<b>กรรมวิธีการเชื่อม : กลุ่มเติมลวดเชื่อม</b> <b>Welding Processes : Consumable</b>	<b>93</b>
	จุดประสงค์การเรียนรู้.....	93
	บทนำ.....	94
<b>3.1</b>	<b>การเชื่อมอาร์กลวดหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding : SMAW).....</b>	<b>97</b>
	ชนิดของกระแสไฟเชื่อม (Type of welding current).....	98
	เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการเชื่อม (Welding equipment).....	101
	เครื่องเชื่อมชนิดผลิตกระแสไฟตรง (Motor generator welding machine).....	101
	เครื่องเชื่อมชนิดหม้อแปลงกระแสไฟสลับ (Transformer welding machine).....	102
	เครื่องเชื่อมชนิดหม้อแปลงและเรียงกระแสไฟฟ้า (Transformer – rectifiers welding machine).....	102
	เครื่องเชื่อมชนิดอินเวอร์เตอร์ (Inverter welding machine).....	103
	อุปกรณ์การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shielded metal arc equipment).....	105
<b>3.2</b>	<b>การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding : GMAW).....</b>	<b>108</b>
	หลักการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (GMAW).....	109
	วงจรการเชื่อมและกระแสไฟเชื่อม (Welding circuit and welding current).....	109
	ระบบการอาร์ก (Welding equipment).....	112
	การถ่ายโอนน้ำโลหะ (Weld metal transfer methods).....	115
	เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการเชื่อม (Welding equipment).....	121
	เครื่องเชื่อม (Welding machine).....	121
	ชุดอุปกรณ์ป้อนลวด (Wire feeder equipment).....	126
	ระบบการป้อนลวดเชื่อมจากม้วนลวดเชื่อมเข้าสู่หัวเชื่อม (Wire feed system).....	130
	หัวเชื่อมและสายเชื่อม (Welding gun and Welding cables).....	132
	ส่วนประกอบของหัวเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม (Component of torch).....	134
	อุปกรณ์ควบคุมแก๊สปกคลุมและอุปกรณ์อื่น ๆ (Shielding gas equipment).....	139
	แก๊สปกคลุม (Shielding gases).....	141
<b>3.3</b>	<b>การเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Flux Cored Arc Welding : FCAW).....</b>	<b>147</b>
	หลักการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (FCAW).....	147
	วิธีการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ตามชนิดของลวดเชื่อม.....	147
	ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Flux cored electrode).....	148
	ระบบการอาร์กของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Flux core electrode arc system).....	150
	กระแสไฟ แรงดันอาร์กและอัตราการป้อนลวด (Current, voltage and, deposition rate).....	152

	เครื่องมือและอุปกรณ์การเชื่อม (Welding equipment).....	156
	แก๊สปกคลุมสำหรับการเชื่อมลวดไส้ฟลักซ์ (Shielding gas).....	162
<b>3.4</b>	<b>การเชื่อมอาร์กใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding : SAW).....</b>	<b>164</b>
	หลักการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมใต้ฟลักซ์ (SAW).....	164
	ระบบการอาร์ก (Arc system).....	164
	ผงฟลักซ์เชื่อม (Welding flux powder).....	165
	ลวดเชื่อม (Solid wire).....	167
	เครื่องเชื่อมและกระแสไฟเชื่อม (Welding machine and welding current).....	169
	องค์ประกอบการเชื่อมอื่น ๆ (Other welding parameter).....	172
<b>3.5</b>	<b>การเชื่อมไฟฟ้าสแลกคลุม (Electro Slag Welding : ESW).....</b>	<b>176</b>
	หลักการเชื่อมอาร์กไฟฟ้าสแลกคลุม (ESW).....	176
	ลวดเชื่อมอาร์กไฟฟ้าสแลกคลุม (Electrodes).....	179
	ฟลักซ์เชื่อม (Flux welding).....	180
	อัตราการป้อนเติมเนื้อเชื่อม (Deposition rates).....	182
	ดัชนีค่าศัพท์บทที่ 3.....	185
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3.....	188
	บรรณานุกรมบทที่ 3.....	191
<b>บทที่ 4</b>	<b>กรรมวิธีการเชื่อม : กลุ่มไม่เติมลวดเชื่อม Welding Processes : Non Consumable</b>	<b>195</b>
	จุดประสงค์การเรียนรู้.....	195
	บทนำ.....	196
<b>4.1</b>	<b>การเชื่อมออกซิอะเซทิลีน (Oxy–Acetylene Welding : OAW).....</b>	<b>196</b>
	หลักการเชื่อมออกซิอะเซทิลีน (OAW).....	196
	เครื่องมือและอุปกรณ์ในการเชื่อมออกซิอะเซทิลีน (Tool and equipment of OAW).....	197
	ถังแก๊สอะเซทิลีน (Acetylene cylinder).....	197
	ถังแก๊สออกซิเจน (Oxygen cylinder).....	199
	อุปกรณ์มาตรวัดความดันแก๊ส (Pressure regulator).....	199
	สายเชื่อมและข้อต่อ (Welding hose and Connection).....	201
	หัวเชื่อมและหัวทิพเชื่อม (Torch and tip).....	203
	อุปกรณ์ที่สำคัญอื่น ๆ (Other equipment).....	205

เปลวไฟการเชื่อมออกซิอะเซทิลีน (Welding flame).....	207
เทคนิคการเชื่อมออกซิอะเซทิลีน (Welding technique).....	209
องค์ประกอบที่สำคัญในการเชื่อมออกซิอะเซทิลีน (Component of OAW).....	211
ลวดเชื่อมออกซิอะเซทิลีน (Filler rod).....	211
<b>4.2 การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคคูลม (Gas Tungsten Arc Welding : GTAW)....</b>	<b>213</b>
หลักการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสสปีคคูลม (GTAW).....	213
ระบบการอาร์กเชื่อม (Arc welding system).....	213
ระบบกระแสไฟเชื่อม (System of welding current).....	215
เครื่องเชื่อม (Welding machine).....	216
หัวเชื่อมพร้อมอุปกรณ์ (Welding torches).....	217
ส่วนประกอบของหัวเชื่อมทิก (Components of TIG torch).....	218
ลวดทั้งสแตนเลสสำหรับอาร์กเชื่อม (Tungsten electrode).....	220
การลับลวดทั้งสแตนเลส (Grinding tungsten electrode).....	222
แก๊สสปีคคูลมแนวเชื่อม (Shielding gases).....	224
การเพิ่มกระแสขณะเริ่มอาร์ก (Hot Start).....	226
การรักษาระยะอาร์ก (Arc Force).....	227
<b>4.3 กรรมวิธีการเชื่อมด้วยความต้านทาน (Resistance Welding : RW).....</b>	<b>228</b>
หลักการเชื่อมด้วยความต้านทาน (RW).....	228
<b>การเชื่อมความต้านทานแบบจุด (Resistance spot welding).....</b>	<b>229</b>
วัฏจักรของการเชื่อมความต้านทานแบบจุด (Resistance spot welding cycles).....	230
ความร้อนของการเชื่อมความต้านทานแบบจุด (Resistance spot welding).....	231
ความสัมพันธ์ของความต้านทานกับความร้อนของการเชื่อมแบบจุด.....	232
ความสัมพันธ์ของขนาดแนวเชื่อม กระแสไฟเชื่อม และเวลาเชื่อมของขบวนการเชื่อมแบบจุด.....	233
เครื่องมือและอุปกรณ์การเชื่อมความต้านทานแบบจุด (Welding equipment).....	235
แท่งขั้วอิเล็กโทรด (Electrode).....	237
ลักษณะรูปร่างของแท่งขั้วอิเล็กโทรด (Shape of electrode).....	239
ข้อควรพิจารณาของการเชื่อมความต้านทานแบบจุด (Considered of spot welding).....	240
ประเภทของการเชื่อมความต้านทานแบบจุด (Type of spot welding).....	243
<b>การเชื่อมตะเข็บด้วยความต้านทาน (Resistance seam welding).....</b>	<b>246</b>
หลักของการเชื่อมตะเข็บด้วยความต้านทาน (Seam welding).....	246

การออกแบบรอยต่อการเชื่อมตะเข็บด้วยความต้านทาน (Seam joint design).....	247
เครื่องเชื่อมตะเข็บด้วยความต้านทาน (Seam welding machine).....	250
<b>การเชื่อมป้อนด้วยความต้านทาน (Resistance projection welding).....</b>	<b>251</b>
หลักของการเชื่อมป้อนด้วยความต้านทาน (Projection welding).....	251
การออกแบบการเชื่อมป้อนด้วยความต้านทาน (Projection joint design).....	253
เครื่องเชื่อมป้อนด้วยความต้านทาน (Projection welding machine).....	255
<b>การเชื่อมต่อนด้วยความต้านทาน (Resistance butt welding).....</b>	<b>257</b>
หลักของการเชื่อมต่อนด้วยความต้านทาน (Butt welding).....	257
กรรมวิธีการเชื่อมอยู่ด้วยความต้านทาน (Resistance upset welding).....	257
กรรมวิธีการเชื่อมวาวด้วยความต้านทาน (Resistance flash welding).....	257
เครื่องเชื่อมอยู่ด้วยความต้านทาน (UW) และเครื่องเชื่อมวาวด้วยความต้านทาน (FW).....	260
<b>การเชื่อมกระทบด้วยความต้านทาน (Resistance percussion welding).....</b>	<b>261</b>
หลักของการเชื่อมกระทบด้วยความต้านทาน (Percussion welding).....	261
กรรมวิธีการเชื่อมกระทบด้วยความต้านทาน (Resistance percussion welding).....	262
เครื่องเชื่อมกระทบด้วยความต้านทาน (Percussion welding machine).....	263
<b>4.4 กรรมวิธีการเชื่อมสลักเกลียว (Stud Arc Welding : SW).....</b>	<b>264</b>
หลักของขบวนการเชื่อมสลักเกลียว (Stud arc welding).....	264
เทคนิคการเชื่อมสลักเกลียวด้วยการอาร์ก (Arc stud welding).....	265
การประยุกต์ใช้งานเทคนิคการเชื่อมสลักเกลียวด้วยการอาร์ก.....	266
เครื่องเชื่อม และหัวเชื่อมของสตัดแบบอาร์ก (Arc stud welding machine and welding gun).....	266
เทคนิคการเชื่อมสลักเกลียวด้วยวิธีการปล่อยประจุ (Capacitor discharge stud welding).....	268
การประยุกต์ใช้งานเทคนิคการเชื่อมสลักเกลียวด้วยการปล่อยประจุ.....	268
เครื่องเชื่อมและหัวเชื่อมสตัดแบบปล่อยประจุ (CD stud welding machine and welding gun).....	269
<b>4.5 กรรมวิธีการเชื่อมเสียดทาน (Friction Welding : FRW).....</b>	<b>271</b>
หลักของขบวนการเชื่อมเสียดทาน (FRW).....	271
ขั้นตอนวิธีการเชื่อมเสียดทาน (Step of friction welding process).....	271
เทคนิคการเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction stir welding : FSW).....	273

เทคนิคการเชื่อมเสียดทานแบบจุด (Friction stir spot welding : FSSW).....	275
เทคนิคการเชื่อมเสียดทานแบบเส้นตรง (Linear friction welding : LFW).....	279
เทคนิคการเชื่อมเสียดทานแบบหมุน (Rotary friction welding : RFW).....	281
<b>4.6 กรรมวิธีการเชื่อมเทอร์มิต (Thermit Welding : TW).....</b>	<b>284</b>
หลักของขบวนการเชื่อมเทอร์มิต (TW).....	284
กรรมวิธีการเชื่อมเทอร์มิตรางรถไฟ (Thermit rail welding process).....	285
กรรมวิธีการเชื่อมเทอร์มิตแท่งวัสดุเสริมแรง (Thermit reinforcing bar welding process).....	289
กรรมวิธีการเชื่อมเทอร์มิตงานต่อทางไฟฟ้า (Thermit electrical connections welding process).....	290
<b>4.7 กรรมวิธีการเชื่อมด้วยอาร์กพลาสมา (Plasma Arc Welding : PAW).....</b>	<b>293</b>
หลักของขบวนการเชื่อมด้วยอาร์กพลาสมา (PAW).....	293
เครื่องเชื่อมพลาสมา (Power source).....	294
หัวเชื่อมพลาสมาและอุปกรณ์เสริม (Plasma welding torch and accessory).....	295
แก๊สและแท่งอิเล็กโทรดของขบวนการเชื่อมพลาสมา (Gases and electrode of PAW).....	299
<b>4.8 กรรมวิธีการเชื่อมด้วยลำแสงเลเซอร์ (Laser Beam Welding : LBW).....</b>	<b>301</b>
หลักของขบวนการเชื่อมด้วยลำแสงเลเซอร์ (LBW).....	302
ระบบกลไกของการสร้างลำแสงเลเซอร์ (Mechanism of laser beam).....	302
หัวเชื่อมเลเซอร์ (Welding torch).....	303
เครื่องเชื่อมเลเซอร์ (Welding machine).....	305
การเชื่อมเลเซอร์แบบไม่เติมลวดกับแบบเติมลวด (Autogenous and filler).....	306
<b>4.9 กรรมวิธีการเชื่อมด้วยลำอิเล็กตรอน (Electron Beam Welding : EBW).....</b>	<b>308</b>
หลักของขบวนการเชื่อมด้วยลำอิเล็กตรอน (EBW).....	308
ระบบหน่วยเชื่อมด้วยลำแสงอิเล็กตรอน (Unit welding).....	308
เครื่องเชื่อมด้วยลำอิเล็กตรอน (EB Welding machine).....	309
ลำดับขั้นตอนขบวนการเชื่อมด้วยลำแสงอิเล็กตรอน (Step of EBW).....	311
<b>ดัชนีคำศัพท์บทที่ 4.....</b>	<b>313</b>
<b>แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4.....</b>	<b>315</b>
<b>บรรณานุกรมบทที่ 4.....</b>	<b>318</b>

<b>บทที่ 5</b>	<b>องค์ประกอบหรือปัจจัยในการเชื่อม Welding Parameter</b>	<b>323</b>
	จุดประสงค์การเรียนรู้.....	323
	บทนำ.....	324
<b>5.1</b>	<b>องค์ประกอบในการเชื่อมอาร์กโลหะหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding : SMAW) .....</b>	<b>324</b>
	กระแสไฟเชื่อม (Welding current) มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A).....	324
	ระยะอาร์ก (Arc length) มีหน่วยเป็น โวลต์ (V).....	327
	มุมลวดเชื่อมและการส่ายลวดเชื่อม (Electrode angle and electrode weaving).....	330
	การส่ายลวดเชื่อม (Electrode weaving).....	334
	ความเร็วเชื่อม (Welding speed or travel speed).....	337
<b>5.2</b>	<b>องค์ประกอบในการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding : GMAW).....</b>	<b>342</b>
	กระแสไฟเชื่อม (Welding current).....	342
	แรงดันอาร์ก (Arc voltage).....	346
	ความสัมพันธ์ของกระแสไฟเชื่อม แรงดันอาร์ก และอัตราการป้อนลวด (Relationship of welding current, arc voltage, and wire feed speed).....	347
	ความเร็วเชื่อม (Welding speed).....	350
	ระยะโผล่ลวดเชื่อม (Electrode extension).....	352
	มุมหัวเชื่อม (Nozzle angles).....	354
	แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม (Shielding gas).....	358
<b>5.3</b>	<b>องค์ประกอบในการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สปกคลุม (Gas Tungsten Arc Welding : GTAW).....</b>	<b>361</b>
	ลวดทังสเตน และมุมหัวเชื่อมลวดทังสเตน (Tungsten electrodes and Torch angle).....	362
	ชนิดของลวดป้อนเติมและโลหะเชื่อม (Filler metals and base metals).....	365
	ระยะยื่นของปลายแท่งลวดทังสเตน (Tungsten electrode extension).....	366
	กระแสไฟเชื่อม (Welding current).....	368
	แรงดันอาร์ก (Arc voltage).....	370
	ชนิดแก๊สปกคลุม และอัตราการไหล (Type and flow rate of shielding gases)....	371
	ความเร็วเชื่อม (Welding speed).....	372



ดัชนีคำศัพท์บทที่ 5.....	375
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5.....	377
บรรณานุกรมบทที่ 5.....	381

<b>บทที่ 6</b>	<b>โลหะวิทยาในการเชื่อม</b>	<b>385</b>
	<b>Welding Metallurgy</b>	
	จุดประสงค์การเรียนรู้.....	385
	บทนำ.....	386
<b>6.1</b>	<b>โครงสร้างทางโลหะวิทยา (Metallurgical structure).....</b>	<b>386</b>
	โครงสร้างของผลึก (Crystal structure).....	387
	โครงสร้างเกรน (Grain structure).....	388
	ปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ชิ้นงานเชื่อม (Heat input).....	391
	อัตราการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานของการเชื่อม (Heat rate of welding).....	394
	อัตราการเย็นตัวของแนวเชื่อม (Cooling rate of welding).....	395
<b>6.2</b>	<b>บริเวณต่าง ๆ ของแนวเชื่อม (Weld regions/zone).....</b>	<b>398</b>
	บริเวณแนวเชื่อม (Weld metals zone : WMZ).....	398
	การเจือจาง (Dilution) ของแนวเชื่อม.....	400
	บริเวณผลกระทบจากความร้อน (Heat affected zone : HAZ).....	406
	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดผลกระทบร้อน (Causes of heat affected zone).....	408
	การพิจารณาตรวจสอบหรือประมาณการขนาดของ HAZ ด้วยสายตา.....	412
	บริเวณที่ไม่กระทบจากความร้อน (Non-heat affected zone : Non-HAZ).....	413
<b>6.3</b>	<b>แนวเชื่อมแบบเชื่อมเสริมเนื้อโลหะ (Adding up weldments).....</b>	<b>414</b>
	การสร้างชั้นพอกผิว (Buttering/Buffer layer).....	415
	การสร้างชั้นผิวแบบหุ้ม (Cladding welding).....	417
	การสร้างชั้นผิวแบบซ้อนทับ (Overlay welding หรือ Weld overlay : WOL).....	417
	การเชื่อมเพื่อเพิ่มขนาด/รูปทรง (Built up welding).....	418
	การเชื่อมพอกผิวแข็ง (Hard-facing welding).....	419
	สมบัติทางด้านกายภาพ ด้านเคมี และด้านทางกลของเนื้อเชื่อมเสริม.....	421
<b>6.4</b>	<b>โครงสร้างทางโลหะวิทยาของแนวเชื่อม (Metallurgical structure of weld metal).....</b>	<b>462</b>
	โครงสร้างเฟอร์ไรต์ (Ferrite structure).....	427
	โครงสร้างออสเทนไนต์ (Austenite structure).....	431
	โครงสร้างซีเมนไทต์ (Cementite structure).....	438

โครงสร้างมาร์เทนไซต์ และเบนไนต์ (Martensite and Bainite structures).....	440
<b>6.5 กรรมวิธีทางความร้อนกับงานเชื่อม (Heat treatments associated with welding).....</b>	<b>443</b>
การอุ่นโลหะงานก่อนเชื่อม (Preheating in welding).....	443
การให้ความร้อนโลหะชิ้นงานหลังการเชื่อม (Post-Weld Heat Treatment : PWHT).....	445
<b>6.6 โลหะวิทยาการเชื่อมของแก๊สปกคลุม (Welding metallurgy of shielding gases).....</b>	<b>448</b>
กลุ่มแก๊สเฉื่อยปกคลุม (Inert shielding gas).....	448
กลุ่มแก๊สแอคทีฟปกคลุม (Active shielding gas).....	449
ดัชนีคำศัพท์บทที่ 6.....	452
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 6.....	454
บรรณานุกรมบทที่ 6.....	459
<b>บทที่ 7 ลวดเชื่อมและมาตรฐานลวดเชื่อม</b>	<b>463</b>
<b>Welding Consumables &amp; Standardisation</b>	
จุดประสงค์การเรียนรู้.....	463
บทนำ.....	464
<b>7.1 มาตรฐานลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Standard covered electrodes).....</b>	<b>466</b>
สมบัติและหน้าที่ฟลักซ์พอกหุ้ม (Properties and functions of cover flux).....	468
การแบ่งลวดเชื่อมตามชนิดของสารฟลักซ์หุ้ม (Type of electrode flux).....	471
การจัดเก็บและการอบลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Stored and oven electrode).....	474
มาตรฐานต่าง ๆ ของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Classification standards code of covered electrode).....	476
ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์มาตรฐาน AWS เหล็กกล้าคาร์บอน (AWS A5.1).....	477
ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์มาตรฐาน AWS เหล็กกล้าผสมต่ำ (AWS A5.5).....	481
ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์มาตรฐาน AWS เหล็กกล้าไร้สนิม (AWS A5.4).....	493
ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์มาตรฐาน AWS เหล็กหล่อ (AWS A5.15).....	500
ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์มาตรฐาน AWS โลหะอลูมิเนียม (AWS A5.3).....	503
ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์มาตรฐาน JIS เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง และเหล็กกล้างานเย็น (JIS Z3211).....	506
ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์มาตรฐาน JIS เหล็กกล้าไร้สนิม (JIS Z3221).....	508

ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์มาตรฐาน JIS โลหะเหล็กหล่อ (JIS Z3252).....	513
ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์มาตรฐานสากล ISO เหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าความ แข็งแรงสูง (ISO 2560).....	516
ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์มาตรฐานสากล ISO เหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าทนความ ร้อนสูง (ISO 3581).....	520
ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์มาตรฐานสากล ISO โลหะเหล็กหล่อ (ISO 1701).....	524
<b>7.2 มาตรฐานของลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อมด้วยแก๊สปกคลุม (Standards of filler electrode).....</b>	<b>526</b>
ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมมาตรฐาน AWS เหล็กกล้าคาร์บอน (AWS A5.18).....	530
ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมมาตรฐาน AWS เหล็กกล้าไร้สนิม (AWS A5.9).....	534
ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมมาตรฐาน AWS โลหะเหล็กหล่อ (AWS A5.15).....	539
ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมมาตรฐาน AWS โลหะอลูมิเนียมและโลหะอลูมิเนียมผสม (AWS A5.10).....	541
ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุม MIG/MAG มาตรฐาน JIS เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้า ความแข็งแรงสูง และเหล็กกล้าสำหรับงานเย็น (JIS Z3312).....	543
ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุม TIG มาตรฐาน JIS เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าความ แข็งแรงสูง และเหล็กกล้าสำหรับงานอุณหภูมิต่ำ (JIS Z3316).....	547
ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุม MIG/TIG/PAW มาตรฐาน JIS เหล็กกล้าไร้สนิม (JIS Z3321).....	550
ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุม MIG/TIG/PAW มาตรฐาน JIS โลหะอลูมิเนียมและโลหะ อลูมิเนียมผสม (JIS Z3322).....	552
<b>7.3 มาตรฐานของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Standards code flux cored electrode).....</b>	<b>554</b>
ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ MIG/MAG มาตรฐาน AWS โลหะเหล็กกล้าคาร์บอน (AWS A5.20).....	555
ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ FCAW และ TIG และ PAW มาตรฐาน AWS เหล็กกล้า ไร้สนิม (AWS A5.22).....	559
ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ SMAW มาตรฐาน AWS โลหะเหล็กหล่อ (AWS A5.15).....	564
ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์มาตรฐาน JIS เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง และเหล็กกล้าสำหรับงานเย็น (JIS Z3313).....	565
ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์มาตรฐาน JIS เหล็กกล้าไร้สนิม (JIS Z3323).....	569
<b>7.4 ลวดเชื่อมเจาะร่อง (Gouging electrode).....</b>	<b>572</b>
ประเภทลวดเชื่อมเจาะร่อง.....	573

ดัชนีคำศัพท์บทที่ 7.....	576
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 7.....	578
บรรณานุกรมบทที่ 7.....	580

<b>บทที่ 8</b>	<b>ข้อบกพร่องงานเชื่อมและการป้องกัน Welding Defects &amp; Prevention</b>	<b>585</b>
	จุดประสงค์การเรียนรู้.....	585
	บทนำ.....	586
<b>8.1</b>	<b>รอยแตกร้าวของงานเชื่อม (Weld cracking).....</b>	<b>587</b>
	รอยแตกร้าวปลายบ่อหลอม (Crater crack).....	589
	รอยแตกร้าวกึ่งกลางตามแนวเชื่อม (Throat crack).....	591
	รอยแตกร้าวใต้แนวเชื่อม (Underbead crack).....	593
	การแตกร้าวขวางแนวเชื่อม (Transverse weld crack).....	595
	การแตกร้าวตามยาวแนวเชื่อม (Longitudinal weld crack).....	597
	การแตกร้าวที่รากและขอบแนวเชื่อม (Root and toe crack).....	600
	การแตกร้าวเมื่อได้รับความร้อนซ้ำ (Reheat crack).....	606
	การแตกร้าวแนวหลอมละลาย (Fusion line crack)/(Weld interface crack).....	609
	การฉีกร้าวของแนวเชื่อม (Lamellar tearing).....	612
<b>8.2</b>	<b>ข้อบกพร่องโพรงอากาศงานเชื่อม (Cavities in weld).....</b>	<b>617</b>
	รูพรุน (Porosity).....	618
	โพรงหนอน (Wormholes).....	621
	ช่องว่างจากการหดตัว (Shrinkage voids).....	622
<b>8.3</b>	<b>ข้อบกพร่องมีสารแปลกปลอมฝังในงานเชื่อม (Inclusion in weld).....</b>	<b>626</b>
	ข้อบกพร่องแบบสแลกฝังใน (Slag inclusion defect).....	626
	ข้อบกพร่องแบบสารออกไซด์ฝังใน (Oxide inclusion defect).....	628
	ข้อบกพร่องแบบสารโลหะฝังใน (Metallic inclusion defect).....	629
<b>8.4</b>	<b>การหลอมละลายและหลอมลึกไม่สมบูรณ์ในแนวเชื่อม (Lack of fusion and penetration in weld).....</b>	<b>632</b>
	การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Lack of fusion).....	632
	การหลอมลึกไม่สมบูรณ์ (Lack of penetration).....	635
<b>8.5</b>	<b>ความไม่สมบูรณ์ของรูปร่างและมิติแนวเชื่อม (Imperfect shape).....</b>	<b>639</b>
	รอยกัดแห้ว (Undercut).....	639

โลหะเชื่อมเกินส่วนเกินผิวหน้าและราก (Excess of face and root weld).....	642
รอยเกย (Overlap).....	645
การเติมร่องเชื่อมไม่สมบูรณ์ (Incompletely filled groove หรือ Underfill).....	647
แนวเชื่อมทะลุ (Burn through).....	649
รอยต่อขอบเชื่อมเยื้อง (Weld misalignment).....	651
ดัชนีค่าศัพท์บทที่ 8.....	656
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8.....	658
บรรณานุกรมบทที่ 8.....	660

<b>บทที่ 9</b>	<b>กรณีศึกษา : การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก</b>	<b>663</b>
	<b>Case Study : Welding Austenitic Stainless Steels</b>	
	จุดประสงค์การเรียนรู้.....	663
	บทนำ.....	664
<b>9.1</b>	<b>การแบ่งประเภทของโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม (Type of stainless steels) .....</b>	<b>665</b>
	เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มเฟอร์ริติก (Ferritic stainless steel).....	668
	เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มมาร์เทนซิติก (Martensitic stainless steel).....	672
	เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิติก (Austenitic stainless steel).....	675
	เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มดูเพล็กซ์ (Duplex stainless steel).....	680
	เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มชุบแข็งโดยการตกผลึก (Precipitation hardening stainless steel).....	683
	บทนำการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Welding of austenitic stainless steel).....	686
<b>9.2</b>	<b>โลหะวิทยาการเชื่อม (Welding metallurgy).....</b>	<b>686</b>
	บ่อหลอมละลายและโครงสร้างภายใน (Weld pool and microstructure).....	687
	ปัจจัยในการสร้างบ่อหลอมละลายด้วยการอาร์ก (Factor of arc fusion).....	688
	โครงสร้างของแนวเชื่อม (Microstructure of fusion weld).....	690
	โครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกกับโลหะชนิดอื่น (Microstructure of ASS welding with other steels).....	696
	<b>บริเวณผลกระทบจากความร้อน (Heat affecter zone) : HAZ.....</b>	<b>699</b>
	ผลกระทบร้อนสำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกต่างชนิด (HAZ of dissimilar welding ASS welding) : ซีรีย์ 200 กับ ซีรีย์ 300.....	700

ผลกระทบร้อนสำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกต่างชนิด (HAZ of dissimilar welding ASS welding) : ซีรีย์ 200 ต่างเกรด.....	701
<b>การเกิดโครเมียมคาร์ไบด์บริเวณกระทบร้อน (Chromium carbide at HAZ).....</b>	<b>702</b>
แนวทางการป้องกันหรือลดการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ตามขอบเกรนที่บริเวณกระทบร้อน.....	705
<b>9.3 อิทธิพลของแก๊สเชื่อมปกคลุม (Effect of shielding gases).....</b>	<b>707</b>
แก๊สเฉื่อย (Inert gas)–แก๊สอาร์กอน (Ar) และแก๊สฮีเลียม (He).....	708
แก๊สแอคทีฟ (Active gas)–แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO <sub>2</sub> ).....	709
แก๊สแอคทีฟ (Active gas)–ไนโตรเจน (N <sub>2</sub> ) ไฮโดรเจน (H <sub>2</sub> ) และออกซิเจน (O <sub>2</sub> )...	712
<b>9.4 สมบัติทางกลของแนวเชื่อม (Mechanical properties of weldments).....</b>	<b>717</b>
สมบัติด้านความแข็ง กรณีการเชื่อมโลหะชนิดเดียวกัน (Hardness of similar welding).....	717
สมบัติด้านความแข็ง กรณีการเชื่อมโลหะต่างชนิดกัน (Hardness of dissimilar welding).....	719
สมบัติด้านความแข็งแรง กรณีการเชื่อมโลหะชนิดเดียวกัน (Strength of similar welding).....	723
สมบัติด้านความแข็งแรง กรณีการเชื่อมโลหะต่างชนิดกัน (Strength of dissimilar welding).....	725
<b>9.5 สมบัติต้านทานการกัดกร่อนของแนวเชื่อม (Corrosion resistance of weldments).....</b>	<b>728</b>
การกัดกร่อนของแนวเชื่อมโลหะชนิดเดียวกัน (Corrosion of similar weldment).....	729
การกัดกร่อนของแนวเชื่อมโลหะต่างชนิดกัน (Corrosion of dissimilar weldment).....	733
การกัดกร่อนของแนวเชื่อมโลหะต่างชนิดของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกที่เกรดต่างกัน (Dissimilar welding ASS different grade).....	735
<b>9.6 การกัดกร่อนตามขอบเกรนของแนวเชื่อม (Intergranular corrosion of weldments).....</b>	<b>739</b>
ดัชนีค่าศัพท์บทที่ 9.....	742
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 9.....	745
บรรณานุกรมบทที่ 9.....	747
<b>ประวัติผู้เขียน.....</b>	<b>753</b>