

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพความร้อนโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีในการเชื่อมอาร์กทั้งสแตน โดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นายวศรณ อรุณวุฒิพงษ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร.บวร โสภ ผู้พัฒน์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมกรรมเชื่อม
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

กระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตน โดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อมต้องการพลังงานไฟฟ้าสำหรับสร้างการอาร์กเพื่อใช้สำหรับการหลอมชิ้นงาน โดยพลังงานจากการอาร์กสามารถสูญเสียได้ในระหว่างการเชื่อมในรูปแบบต่างๆคือการนำความร้อน, การพาความร้อนและการแผ่รังสี ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพความร้อนที่ได้จากการอาร์กมีค่าต่ำลง งานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำวัสดุสะท้อนการแผ่รังสีรูปทรงพาราโบลอยด์ และวงรีมาสะท้อนพลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีที่เกิดขึ้น ซึ่งจะทำให้พลังงานความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงานมากขึ้น โดยได้ทำการทดลองอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีและไม่ใช้ 4 ขั้นตอนคือ ในขั้นตอนแรกจะทำการทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุสะท้อนรังสีโดยการนำวัสดุสะท้อนรังสีสะท้อนแสงจากหลอดไฟแอลอีดีเพื่อวัดความส่องสว่างที่ได้เปรียบเทียบกับการใช้หลอดไฟแอลอีดีโดยไม่ใช้วัสดุสะท้อนรังสี ต่อมาเป็นการอาร์กลงบนแคลอริมิเตอร์โดยเปรียบเทียบระหว่างการอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีและไม่ใช้เพื่อหาผลของประสิทธิภาพความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงาน หลังจากนั้นทดสอบอาร์กลงบนวัสดุเกรด SS400 เพื่อเปรียบเทียบขนาดของแนวเชื่อมระหว่างการอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีและไม่ใช้ และทดสอบหาระยะเวลาในการอาร์กจนกระทั่งเกิดบ่อหลอมของการอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีและไม่ใช้ ซึ่งในการทดลองทั้งหมดจะใช้พารามิเตอร์ที่ต่างกันคือกระแสที่ 50-180 แอมแปร์ส่วนพารามิเตอร์อื่นจะตั้งเป็นค่าคงที่

จากการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมาพบว่าการใช้วัสดุสะท้อนรังสีในการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อมสามารถช่วยเพิ่มพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงานจากการอาร์กได้ โดยการสะท้อนรังสีความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาระหว่างการเชื่อม โดยการอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงวงรีมีค่าของประสิทธิภาพความร้อนอยู่ที่ประมาณ 54 – 71 % การอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงพาราโบลาออยด์มีค่าของประสิทธิภาพความร้อนอยู่ที่ประมาณ 47 – 58 % และการอาร์กโดยไม่ใช้วัสดุสะท้อนรังสีมีค่าประสิทธิภาพความร้อนอยู่ที่ 45 – 54 % รวมถึงยังสามารถเพิ่มขนาดแนวเชื่อมของวัสดุเชื่อม SS400 และลดเวลาในการอาร์กจนกระทั่งเกิดบ่อหลอมที่กระแสดำ

คำสำคัญ : การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม / การสูญเสียความร้อน / การแผ่รังสีอาร์ก / ประสิทธิภาพความร้อน

Thesis Title	Study of Feasibility to Improve the Heat Efficiency by Using Reflector in Gas Tungsten Arc Welding
Thesis Credits	12
Candidate	Mr. Vasathon Aroonvutthiphong
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Bovornchok Poopat
Program	Master of Engineering
Field of Study	Welding Engineering
Department	Production Engineering
Faculty	Engineering
Academic Year	2014

Abstract

Gas tungsten arc welding (GTAW) requires electrical energy to generate arc between tungsten electrode and workpiece. However, not all the energy is completely transferred to the workpiece and such energy loss greatly takes its toll on the arc efficiency. Energy generated from the arc can be lost in three ways: conduction (q_{cond}), convection (q_{conv}) and radiation (q_{rad}). The objective of this work is to study the way to improve the heat efficiency by using a paraboloid and an ellipse reflector, separately, to exploit the radiated heat loss by radiation and compare the gained efficiency given by the two reflectors with no reflector. The experiment consists of 4 steps. In the first step of the experiment, an LED will be used to confirm the efficiency of the reflectors. In the second step, a calorimeter will be used to calculate the heat efficiency of the arc, happened in the calorimeter system, contributed by three trials: two with each reflector and one without a reflector. In the third step, the arc will be directed onto the carbon steel grade SS400 to measure the size of each fusion zone applied by all three trials. While the final step the time required by each trial (two with reflectors and one without the reflector) will be counted starting from when the arc is started until the metal was melted. In all steps of this experiment, welding currents will be set at 50-180 Amperes, while other parameters will stay constant throughout the experiment.

The obtained results of this experiment prove that the reflectors do improve the heat efficiency of gas tungsten arc welding. With the elliptical reflector, the heat efficiency stands at 54 – 71 %, while the paraboloid reflector gives the heat efficiency of 47 – 58 % and without a reflector the heat efficiency stays at 45 – 54 %. Fusion zone area increases when the reflectors are used. The time required to make the weld pool decreases when the reflectors are used at low welding current.

Keywords : Arc / GTAW / Heat Efficiency / Heat Loss / Radiation

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี โดยคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณรศ. ดร.บวร โชค ผู้พัฒน และ อาจารย์สมพร เพียรสุขมณี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและควบคุมงานวิจัย ที่กรุณาให้แนวคิดและคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย รวมถึง รศ.วชิระ มีทอง ผศ. ดร.อิศรทัต พึ่งอิน และ ดร.กิตติชัย โสจิพันธุ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้การแนะนำแนวทางต่างๆ ให้ดียิ่งขึ้น คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ และผู้ที่เกี่ยวข้องในโรงประลองการเชื่อมทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน และ ณ โอกาสนี้ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี รวมทั้งผู้เกี่ยวข้องอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามที่คอยแนะนำแนวทางและให้คำปรึกษาในงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี ความดีงามและประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยครั้งนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้กับบิดาและมารดาของคณะผู้จัดทำ ที่ได้อบรมเลี้ยงดูและให้กำลังใจเสมอมา รวมถึงความดีงามที่คอยเฝ้าสอนและเป็นตัวอย่างที่ดีแก่คณะผู้จัดทำ ตลอดจนครู อาจารย์ บุรพคณาจารย์ ทั้งที่สั่งสอนทางตรงและทางอ้อม รวมถึงผู้ประสาทวิชาทุกท่าน ที่ให้ความรู้และคำแนะนำจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
รายการตารางประกอบ	ฅ
รายการรูปประกอบ	ฉ
รายการสัญลักษณ์	ณ
ประมวลคำศัพท์และคำย่อ	ด

บทที่

1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
2. ทฤษฎี	5
2.1 กระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม (Gas Tungsten Arc Welding; GTAW)	5
2.1.1 กระแสที่ใช้ในการเชื่อม (Welding Current)	7
2.1.2 มุมอิเล็กโทรด (Electrode Angle)	8
2.1.3 แก๊สคลุม (Shielding Gas)	9
2.1.4 ประสิทธิภาพการความร้อนของกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตน โดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม (Heat Efficiency)	9
2.1.5 การหาพลังงานที่ใช้ในการอาร์ก	12

	หน้า
2.1.6 การสูญเสียพลังงานความร้อนของกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตน โดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม	14
2.1.6.1 การสูญเสียพลังงานจากการนำความร้อน (Conduction)	14
2.1.6.2 การสูญเสียพลังงานจากการพาความร้อน (Convection)	14
2.1.6.3 การสูญเสียพลังงานจากการแผ่รังสีความร้อน (Radiation)	14
2.1.7 พลังงานที่เข้าสู่ชิ้นงาน	15
2.1.7.1 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากการสะท้อนของวัสดุสะท้อนรังสี (Reflector)	17
2.2 รูปทรงของวัสดุสะท้อนรังสี	17
2.2.1 ทฤษฎีวงรี	18
2.2.1.1 วงรีที่มีแกนหลักอยู่บนแกน X จากรูปที่ 2.9	18
2.2.1.2 วงรีที่มีแกนหลักอยู่บนแกน Y จากรูปที่ 2.10	18
2.2.1.3 ลักษณะการสะท้อนของรูปทรงวงรี	19
2.2.2 ทฤษฎีพลาโบลอยด์	20
2.2.2.1 ลักษณะการสะท้อนของรูปทรงพาราโบลอยด์	21
2.2.3 วัสดุที่ใช้ในการสะท้อนรังสี	21
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
3. การดำเนินงาน	25
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	25
3.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์	26
3.2.1 เครื่องเชื่อมอาร์กทั้งสแตนโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม	26
3.2.2 เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ (Data logger)	26
3.2.3 เครื่องเชื่อมสายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple welding unit)	27
3.2.4 เครื่องเดินแบบกึ่งอัตโนมัติ	28
3.2.5 แคลอริมิเตอร์ (Calorimeter)	29
3.2.6 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)	30
3.2.7 วัสดุสะท้อนรังสี (Reflector)	31
3.3 การเตรียมการทดลอง	34
3.3.1 การเตรียมชิ้นงาน	34
3.3.1.1 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการวัดการถ่ายโอนทางความร้อน	34

	หน้า
3.3.1.2 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการเชื่อมเพื่อวัดการหลอมละลายของชิ้นงาน	36
3.3.2 การเตรียมวัสดุสะท้อนรังสีในงานเชื่อม	37
3.3.3 การเตรียมอุปกรณ์จับยึดหัวเชื่อมชิ้นงาน	39
3.3.3.1 อุปกรณ์จับยึดหัวเชื่อมแบบอยู่กับที่	39
3.3.3.2 อุปกรณ์จับยึดหัวเชื่อมแบบเคลื่อนที่	39
3.3.4 การเตรียมอุปกรณ์ในการวัดแสงสะท้อน	40
3.4 การทดลองการเชื่อม	40
3.4.1.1 การทดลองที่ 1 ทำการทดลองเพื่อหาความส่องสว่าง (Illuminance) ที่ได้จากการใช้วัสดุสะท้อนรังสี	41
3.4.1.2 การทดลองที่ 2 ทำการทดลองเพื่อหาพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในการอาร์กบนแคลอริมิเตอร์	41
3.4.1 การทดลองในการหาพลังงานที่เกิดขึ้นในชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กบนแคลอริมิเตอร์	41
3.4.2 การทดลองในการวัดการหลอมละลายของชิ้นงานที่เกิดจากกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม	44
3.4.2.1 การทดลองที่ 3 ทำการทดลองเพื่อหาขนาดของแนวเชื่อมบนเหล็กกล้าคาร์บอน SS400	44
3.4.2.2 การทดลองที่ 4 ทำการทดลองเพื่อหาระยะเวลาที่ใช้ในการหลอมโลหะ	46
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง	47
4.1 ความส่องสว่าง (Illuminance) ที่ได้จากการใช้วัสดุสะท้อนรังสี	47
4.2 การทดลองเพื่อการหาค่าของพลังงานที่เกิดขึ้นเมื่อทำการอาร์กบนแคลอริมิเตอร์	49
4.2.1 พลังงานที่ได้จากการอาร์กกระแส 50 แอมแปร์	49
4.2.2 พลังงานที่ได้จากการอาร์กกระแส 120 แอมแปร์	52
4.2.3 พลังงานที่ได้จากการอาร์กกระแส 180 แอมแปร์	53
4.2.4 พลังงานที่เกิดขึ้นในการอาร์กบนทองแดง	55
4.2.5 ประสิทธิภาพของวัสดุสะท้อนรังสี (Reflector) ที่สะท้อนรังสีมายังผิวทองแดงด้วยกระแสอาร์ก 50 แอมแปร์	58

4.2.6	ประสิทธิภาพของวัสดุสะท้อนรังสี (Reflector) ที่สะท้อนรังสีมายังผิวทองแดงด้วยกระแสอาร์ก 120 แอมแปร์	60
4.2.7	ประสิทธิภาพของวัสดุสะท้อนรังสี (Reflector) ที่สะท้อนรังสีมายังผิวทองแดงด้วยกระแสอาร์ก 180 แอมแปร์	62
4.2.8	วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อการหาค่าของพลังงานที่เกิดขึ้น	64
4.3	การทดลองในการวัดการหลอมละลายของชิ้นงานที่เกิดจากกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตน โดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม	65
4.3.1	ทดลองเพื่อหาขนาดแนวเชื่อมเมื่อทำการอาร์กบนเหล็กกล้าคาร์บอน SS400	66
4.3.2	ทดลองเพื่อหาระยะเวลาที่ใช้ในการหลอมโลหะ	71
5.	สรุปผลการทดลอง	73
5.1	สรุปผลการวิจัย	73
5.2	ข้อเสนอแนะ	75
	เอกสารอ้างอิง	76
	ภาคผนวก	79
	ก ผลการทดลอง	79
	ประวัติผู้วิจัย	83

รายการตารางประกอบ

ตาราง	หน้า	
3.1	เทียบมาตรฐานเหล็กกล้าคาร์บอน SS400	37
3.2	ส่วนผสมทางเคมีเหล็กกล้าคาร์บอน SS400	37
3.3	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองที่ 2	42
3.4	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองที่ 3	45
4.1	ความส่องสว่างที่ได้จากการทดลอง	48
4.2	พลังงานที่ถูกน้ำหล่อเย็นนำความร้อนออกไปจากการอาร์ก	55
4.3	แสดงผลการทดลองอาร์กลงบนเหล็กกล้าคาร์บอน SS400	66
4.4	สรุปพื้นที่ของบ่อหลอมละลายที่ได้จากการอาร์กลงชิ้นงาน SS400	69
4.5	ระยะเวลาเมื่อเริ่มอาร์กจนกระทั่งเกิดบ่อหลอมละลายที่กระแส 50 แอมแปร์	71

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	ส่วนประกอบสำคัญของของเชื่อมแก๊สทั้งสแตน	5
2.2	ส่วนประกอบของกระบวนการเชื่อมแก๊สทั้งสแตน	6
2.3	ลักษณะของรูปแบบกระแสเชื่อมในกระบวนการแก๊สทั้งสแตน	7
2.4	มุมของอิเล็กโทรดกับรอยเชื่อม	8
2.5	ประสิทธิภาพการอาร์กของกระบวนการเชื่อมในแต่ละกระบวนการ	10
2.6	ประสิทธิภาพการอาร์กของกระบวนการเชื่อมในแต่ละกระบวนการ	10
2.7	แสดงรูปร่างของแคลอริมิเตอร์แบบ Seebeck ที่พัฒนาโดย Giedt, W.H., Tallerico, L.N. and Fuerschbach, P.W.	11
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และระยะอาร์ก	13
2.9	แคลอริมิเตอร์ของ Kou S. and Le Y.	16
2.10	อุณหภูมิที่สูงขึ้นในรูปแบบฟังก์ชันของเวลา	16
2.11	รูปวงรีที่มีแกนหลักอยู่บนแกน X	18
2.12	รูปวงรีที่มีแกนหลักอยู่บนแกน Y	19
2.13	การสะท้อนของรูปทรงวงรี	20
2.14	รูปทรงของพลาสมาโบลอยด์	20
2.15	การสะท้อนของรูปทรงพลาสมาโบลอยด์	21
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	25
3.2	เครื่องเชื่อมยี่ห้อ FRONIUS รุ่น Magic wave 2600	26
3.3	เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ยี่ห้อ OMRON รุ่น ZR-RX25	27
3.4	เครื่องเชื่อมสายเทอร์โมคัปเปิล	28
3.5	เครื่องเดินกึ่งอัตโนมัติ ยี่ห้อ YUK WANG รุ่น YK-300	28
3.6	รูปแบบของแคลอริมิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย	29
3.7	รูปแสดงการสูญเสียความร้อนจากชิ้นงานสู่น้ำ	30
3.8	วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงวงรีที่ได้จากสมการที่ 3	32
3.9	วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงวงรีที่ได้จากสมการที่ 6	33

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า	
3.10	วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงวงรี และรูปทรงพาราโบลอยด์	34
3.11	รูปร่างและขนาดของชิ้นงานแคลอริมิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย	35
3.12	ตำแหน่งในการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ชนิด Type K	35
3.13	รูปร่างและขนาดชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน	36
3.14	รูปร่างและขนาดของวัสดุสะท้อนรูปทรงวงรี	38
3.15	รูปร่างและขนาดของวัสดุสะท้อนรูปทรงพาราโบลอยด์	38
3.16	รูปร่างและขนาดของอุปกรณ์จับยึดหัวเชื่อมแบบอยู่กับที่	39
3.17	รูปร่างของอุปกรณ์จับยึดหัวเชื่อมแบบเคลื่อนที่	40
3.18	ลักษณะการวางวัสดุสะท้อนรังสีและชิ้นงาน	42
3.19	การอาร์กกลางแคลอริมิเตอร์แบบไม่มีวัสดุสะท้อนรังสี	43
3.20	การอาร์กกลางบนแคลอริมิเตอร์แบบมีวัสดุสะท้อนรังสี	43
3.21	การตัดชิ้นงานทดสอบ	44
3.22	ชิ้นงานที่ทำการหล่อด้วยเรซินใส	45
3.23	ลักษณะการวางวัสดุสะท้อนรังสีและชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน	46
4.1	รูปแสดงการวัดความส่องสว่างของแสงเมื่อถูกสะท้อนด้วยวัสดุสะท้อนรังสี	48
4.2	แสดงอุณหภูมิของน้ำที่ไหลผ่านทองแดงที่ถูกอาร์กโดยไม่ใช้วัสดุสะท้อนรังสีที่กระแส 50 แอมแปร์	49
4.3	แสดงอุณหภูมิของน้ำที่ไหลผ่านทองแดงที่ถูกอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงพาราโบลอยด์ที่กระแส 50 แอมแปร์	51
4.4	แสดงอุณหภูมิของน้ำที่ไหลผ่านทองแดงที่ถูกอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงวงรีที่กระแส 50 แอมแปร์	51
4.5	แสดงอุณหภูมิของน้ำที่ไหลผ่านทองแดงที่ถูกอาร์กโดยไม่ใช้วัสดุสะท้อนรังสีที่กระแส 120 แอมแปร์	52
4.6	แสดงอุณหภูมิของน้ำที่ไหลผ่านทองแดงที่ถูกอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงพาราโบลอยด์ที่กระแส 120 แอมแปร์	52
4.7	แสดงอุณหภูมิของน้ำที่ไหลผ่านทองแดงที่ถูกอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงวงรีที่กระแส 120 แอมแปร์	53

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.8	แสดงอุณหภูมิของน้ำที่ไหลผ่านทองแดงที่ถูกอาร์กโดยไม่ใช้วัสดุสะท้อนรังสีที่กระแส 180 แอมแปร์	53
4.9	แสดงอุณหภูมิของน้ำที่ไหลผ่านทองแดงที่ถูกอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงพาราโบลอยด์ที่กระแส 180 แอมแปร์	54
4.10	แสดงอุณหภูมิของน้ำที่ไหลผ่านทองแดงที่ถูกอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงวงรีที่กระแส 180 แอมแปร์	54
4.11	แสดงอัตราส่วนระหว่างพลังงานจากการอาร์กและพลังงานที่เข้าสู่ชิ้นงาน	56
4.12	อุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กโดยไม่ใช้วัสดุสะท้อนรังสีที่กระแส 50 แอมแปร์	59
4.13	อุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงพาราโบลอยด์ที่กระแส 50 แอมแปร์	59
4.14	อุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงวงรีที่กระแส 50 แอมแปร์	59
4.15	อุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กโดยไม่ใช้วัสดุสะท้อนรังสีที่กระแส 120 แอมแปร์	61
4.16	อุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงพาราโบลอยด์ที่กระแส 120 แอมแปร์	61
4.17	อุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงวงรีที่กระแส 120 แอมแปร์	61
4.18	อุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กโดยไม่ใช้วัสดุสะท้อนรังสีที่กระแส 180 แอมแปร์	62
4.19	อุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงพาราโบลอยด์ที่กระแส 180 แอมแปร์	63
4.20	อุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงวงรีที่กระแส 180 แอมแปร์	63
4.21	แสดงอัตราส่วนของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ผิวทองแดงเมื่อใช้วัสดุสะท้อนรังสี	64

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป		หน้า
4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้กับพื้นที่บ่อหลอมละลาย	70
ก.1	อุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กโดยไม่ใช้วัสดุสะท้อนรังสีที่กระแส 50 แอมแปร์	80
ก.2	อุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงพาราโบลอยด์ที่กระแส 50 แอมแปร์	80
ก.3	อุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงวงรีที่กระแส 50 แอมแปร์	80
ก.4	อุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กโดยไม่ใช้วัสดุสะท้อนรังสีที่กระแส 120 แอมแปร์	81
ก.5	อุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงพาราโบลอยด์ที่กระแส 120 แอมแปร์	81
ก.6	อุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงวงรีที่กระแส 120 แอมแปร์	81
ก.7	อุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กโดยไม่ใช้วัสดุสะท้อนรังสีที่กระแส 180 แอมแปร์	82
ก.8	อุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงพาราโบลอยด์ที่กระแส 180 แอมแปร์	82
ก.9	อุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานเมื่อทำการอาร์กโดยใช้วัสดุสะท้อนรังสีรูปทรงวงรีที่กระแส 180 แอมแปร์	82

รายการสัญลักษณ์

A	=	พื้นที่ผิวของวัตถุที่สัมผัสกับของไหล
E	=	ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)
E_{net}	=	พลังงานที่ได้จากการอาร์กทั้งหมด
H	=	พลังงานที่ได้รับ (วัตต์)
I	=	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)
m	=	อัตราการไหลของมวลความจุจำเพาะ
$q_{\text{cond.}}$	=	พลังงานที่สูญเสียจากการนำความร้อน
$q_{\text{conv.}}$	=	พลังงานที่สูญเสียจากการพาความร้อน
$q_{\text{rad.}}$	=	พลังงานที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อน
S	=	ความเร็วในการเดิน (นิ้ว/นาที่ หรือ มิลลิเมตร/นาที่)
T	=	ความเร็วในการเดิน
T_f	=	อุณหภูมิของของไหลที่อยู่ห่างออกไปจากผิวหรืออุณหภูมิ ส่วนต้นของของไหล
T_i	=	อุณหภูมิขาเข้า
T_o	=	อุณหภูมิขาออก
T_p	=	อุณหภูมิของผิววัตถุ
V	=	ความต่างศักย์ไฟฟ้า

ประมวลศัพท์และคำย่อ

AC	=	กระแสสลับ
Arc Efficiency	=	ประสิทธิภาพการอาร์ก
ASTM	=	สมาคมทดสอบและวัสดุอเมริกัน (American Society for Testing and Materials)
CC	=	กระแสคงที่
Conduction	=	การนำความร้อน
Convection	=	การพาความร้อน
DCEN	=	กระแสตรงขั้วตรง
DCEP	=	กระแสตรงกลับขั้ว
GTAW	=	กระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนโดยใช้แก๊สปกคลุม (Gas Tungsten Arc Welding)
Heat Efficiency	=	ประสิทธิภาพความร้อน
Heat Loss	=	การสูญเสียพลังงานความร้อน
JIS	=	มาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standards)
Melting Efficiency	=	ประสิทธิภาพการหลอมโลหะ
Radiation	=	การแผ่รังสีความร้อน
Reflector	=	วัสดุสะท้อนรังสี