การศึกษาปัจจัยของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG สำหรับท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิด SUS 436L

นายสุทธิวัฒน์ มหัคฆปกรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974-634-418-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16992969

A STUDY OF TIG WELDING PROCESSING FACTORS FOR SUS 436L FERRITIC STAINLESS STEEL TUBES

Mr. Sutiwat Mahakkapagorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements for

the Degree of Master of Engineering

Department of Industrial Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-634-418-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาปัจจัยของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG สำหรับท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิด SUS 436L
โดย	นายสุทธิวัฒน์ มหัคฆปกรณ์
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ จันทนา จันทโร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ก่อเกียรติ บุญชูกุศล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

( )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ จันทนา จันทโร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ก่อเกียรติ บุญชูกุศล)

..... กรรมการ

(ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สุทธิวัฒน์ มหัคมปกรณ์ : การศึกษาปัจจัยของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG สำหรับท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิด SUS 436L(A STUDY OF TIG WELDING PROCESSING FACTORS FOR SUS 436L FERRITIC STAINLESS STEEL TUBES) อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ จันทนา จันทโร ผศ ดร. ก่อเกียรติ บุญชูกุศล ๑๙๖ หน้า ISBN 974-634-418-8

การศึกษาปัจจัยของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG ที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของรอยเชื่อมสำหรับท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิด SUS 436L โดยการทดลองเชื่อมตามหลักการออกแบบการทดลอง

จากการศึกษาตัวแปรสำคัญ สามารถกำหนดปัจจัยที่จะทำการศึกษาได้จำนวน 3 ปัจจัย คือ กระแสไฟเชื่อม แรงดันไฟเชื่อม และความเร็วในการเชื่อม พร้อมกำหนดค่าของปัจจัยที่ระดับสูงและระดับต่ำลงในเงื่อนไขการทดลองจำนวน 8 เงื่อนไข เพื่อทำการทดลองเชื่อมโดยใช้ค่าของปัจจัยตามที่กำหนดไว้

นำท่อที่ได้จากการทดลองเชื่อม มาทำการทดสอบทางกล วัดค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของตะเข็บเชื่อม และเส้นผ่าศูนย์กลางขยายของชิ้นงานทดสอบการบานท่อ ประกอบกับการดูภาพโครงสร้างทางโลหะบริเวณแนวเชื่อม จากนั้นนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์พร้อมกับนำค่าของปัจจัยไปลองใช้งาน

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C416334 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEY WORD: FACTOR/TIG WELDING PROCESSING/FERRITIC STAINLESS STEEL/SUS 436L
SUTIWAT MAHAKKAPAGORN : A STUDY OF TIG WELDING PROCESSING FACTORS FOR SUS 436L FERRITIC STAINLESS STEEL TUBES. THESIS ADVISORS : ASSO. PROF. JANTANA JUNTARO. ASSIS. PROF. KOKIAT BUNCHUKUSOL,Ph.D.
196 pp. ISBN 974-634-418-8

A study of TIG welding processing factors influenced to welding seam on SUS 436L ferritic stainless steel tubes by factorial design experiment.

With reference to main variable study that treat them into 3 factors as arc welding current,arc voltage and welding speed,then can set their value at low and high factor level in 8 conditions in order to weld tubes in the experiment which have setting factor value.

Mechanical testing of experimental tubes can measure bead strengths and flaring diameters of specimens including welded zone macrostructure,then analyse the tested data with trial welding after.

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ จากการที่ได้รับคำปรึกษา คำแนะนำของท่าน ศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ รองศาสตราจารย์จันทนา จันทโร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ก่อเกียรติ บุญชูกุศล ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร พร้อมกับความรู้ที่ได้รับจากคณาจารย์ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ขอขอบคุณบริษัท อีค จำกัด ผู้ผลิตท่อเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งเอื้อเฟื้อวัตถุดิบในการวิจัย ผู้มีอุปการะคุณทุกท่าน เพื่อนๆ และคุณพัชรา มหัคฆปกรณ์ ที่มีส่วนให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่ หน้า

1. บทนำ 1

1.1 สาเหตุที่ทำการวิจัย 2

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 3

1.3 แนวคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย 3

1.4 ทฤษฎีที่นำมาใช้ในการวิจัย 4

1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย 5

1.6 ขอบเขตการทำวิจัย 6

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 6

2. ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก 7

2.1 กระบวนการผลิตท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก 8

2.2 ความสำคัญของท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกในงานอุตสาหกรรม ... 11

2.3 เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก 12

2.4 เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก ชนิด SUS 436L 13

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3. การเชื่อมระบบ TIG 14
3.1 ประเภทของงานเชื่อมระบบ TIG 15
3.2 เครื่องเชื่อม SAF Nertinox TH300 18

4. เงื่อนไขการทดลองที่นำมาใช้ในงานวิจัย 21
4.1 ความหมายของคำว่าตัวแปร และระดับของตัวแปร 22
4.2 ตัวแปรของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG 22
4.3 ปัจจัยและระดับของปัจจัยของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG
สำหรับท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิด SUS 436L 24
4.4 เงื่อนไขการทดลองเชื่อม 28

5. การทดลอง 30
5.1 แผนการทดลองเชื่อม 30
5.2 รหัสชิ้นงานจากการทดลอง 32

6. การทดสอบและตรวจสอบ 34
6.1 ประเภทการทดสอบและตรวจสอบคุณสมบัติของท่อ 35
6.2 การทดสอบและตรวจสอบที่ใช้วัดผลการทดลอง 37

7. ผลการทดสอบและตรวจสอบ 40
7.1 การตรวจสอบส่วนประสมทางเคมี 40
7.2 การทดสอบแรงดึง 41
7.3 การทดสอบการบานท่อ 43
7.4 ภาพโครงสร้างทางโลหะบริเวณแนวเชื่อม 45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

8. การวิเคราะห์ผล 51
8.1 การวิเคราะห์ผลทดสอบทางสถิติ 51
8.2 การวิเคราะห์ผลทดสอบจากกราฟ 58

9. สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ 84
9.1 สรุปผลการทดลอง 84
9.2 วิจารณ์การวิจัย 84
9.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในอนาคต 85

เอกสารอ้างอิง 87

ภาคผนวก

ก. แบบลูกรีดสำหรับท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 42.7 มม. 88
ข. ข้อมูลทางเทคนิคของ YUS 436S Highly Corrosion-Resistant Material for Automotive Mufflers 105
ค. ผลทดสอบแรงดึง 114
ง. ผลทดสอบบานท่อ 141
จ. กราฟและตัวเลขของผลทดสอบ 168
ฉ. ภาพโครงสร้างโลหะ 189

ประวัติผู้เขียน 196

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2-1	ตารางจำแนกชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม	12
2-2	ส่วนประสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิด SUS 436L	13
3-1	ประเภทของงานเชื่อมระบบ TIG	16
3-2	งานเชื่อมระบบ TIG ที่ใช้ในการทดลองเชื่อม	17
4-1	จำนวนปัจจัยและระดับของปัจจัยที่นำมาศึกษา พร้อมสัญญลักษณ์ที่ใช้ในการทดลองเชื่อม	24
4-2	กระแสไฟเชื่อมที่แนะนำให้ใช้ ที่ความหนาต่างๆกันของแผ่นแถบเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติก เมื่อใช้อิเลคโตรด 1 ตัว	25
4-3	กระแสไฟเชื่อม สำหรับแผ่นแถบที่มีความหนา 1.2 มิลลิเมตร เมื่อใช้อิเลคโตรด 2 ตัว	25
4-4	การคำนวณและการกำหนดค่าแรงดันไฟเชื่อม	26
4-5	ความสามารถของเครื่องเชื่อม SAF Nertinox TH300 สำหรับท่อเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติก เมื่อใช้จำนวนของอิเลค-โตรดต่างกัน	27
4-6	การกำหนดความเร็วในการเชื่อม เมื่อใช้อิเลคโตรด 2 ตัว	27
4-7	ระดับสูงของปัจจัยของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG	28
4-8	ระดับต่ำของปัจจัยของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG	28
4-9	การกำหนดระดับของปัจจัย ตามเงื่อนไขของการทดลองเชื่อม	29
4-10	เงื่อนไขการทดลองเชื่อม เมื่อระบุค่าของปัจจัยที่ระดับของปัจจัย	29
5-1	แผนการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	30
5-2	แผนการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	31
5-3	การกำหนดรหัสชิ้นงานทดสอบ ของท่อทดลองเชื่อม	32
7-1	ผลการตรวจสอบส่วนประสมทางเคมี ของเหล็กกล้าไร้สนิม YUS 436S เปรียบเทียบกับ SUS 436L	40
7-2	ผลการทดสอบแรงดึงของท่อทดลองเชื่อมหมายเลข 1 ถึงหมายเลข 8 ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	41

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
7-3	ผลการทดสอบแรงดึงของท่อทดลองเชื่อมหมายเลข 1 ถึงหมายเลข 8 ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	42
7-4	ผลการทดสอบการบานท่อของท่อทดลองเชื่อมหมายเลข 1 ถึงหมายเลข 8 ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	43
7-5	ผลการทดสอบการบานท่อของท่อทดลองเชื่อมหมายเลข 1 ถึงหมายเลข 8 ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	44
8-1	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการทดสอบแรงดึงของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	83
8-2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการทดสอบแรงดึงของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	84

สารบัญภาพ

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
2 - 1	ผังกระบวนการผลิตท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก	8
2 - 2	ภาพกระบวนการผลิตท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก	9
3 - 1	วงจรของการเชื่อมระบบ TIG ที่ใช้น้ำหล่อเย็นหัวเชื่อม	15
3 - 2	การแผ่กระจายความร้อนระหว่างชิ้นงานและอิเลคโตรด	16
3 - 3	ตู้เชื่อม SAF Nertinox TH300	18
3 - 4	แผงควบคุมการเชื่อม	19
3 - 5	ชุดของหัวเชื่อม	20
6 - 1	ชิ้นงานทดสอบแรงดึง	37
6 - 2	การทดสอบบานท่อ	38
6 - 3	ชิ้นงานภายหลังการบานท่อ	38
6 - 4	ขั้นตอนการทำภาพโครงสร้างโลหะ	39
7 - 1	ชิ้นงานทดลองหมายเลข 1	45
7 - 2	ชิ้นงานทดลองหมายเลข 2	46
7 - 3	ชิ้นงานทดลองหมายเลข 4	47
7 - 4	ชิ้นงานทดลองหมายเลข 5	48
7 - 5	ชิ้นงานทดลองหมายเลข 6	49
7 - 6	ชิ้นงานทดลองหมายเลข 8	50
8 - 1	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของผลทดสอบแรงดึง การทดลองเชื่อมครั้ง 1	52
8 - 2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของผลทดสอบแรงดึง การทดลองเชื่อมครั้ง 2	53
8 - 3	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของผลทดสอบบานท่อ การทดลองเชื่อมครั้ง 1	54
8 - 4	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของผลทดสอบบานท่อ การทดลองเชื่อมครั้ง 2	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
8-5	ค่าแปรผัน ของผลทดสอบแรงดึง การทดลองเชื่อมครั้ง 1	56
8-6	ค่าแปรผัน ของผลทดสอบแรงดึง การทดลองเชื่อมครั้ง 2	56
8-7	ค่าแปรผัน ของผลทดสอบบานท่อ การทดลองเชื่อมครั้ง 1	57
8-8	ค่าแปรผัน ของผลทดสอบบานท่อ การทดลองเชื่อมครั้ง 2	57
8-9	run chart on subgroup data การทดสอบแรงดึง ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	61
8-10	run chart on average value data การทดสอบแรงดึง ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	61
8-11	run chart on standard deviation value data การทดสอบแรงดึง ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	61
8-12	run chart on subgroup data การทดสอบแรงดึง ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	62
8-13	run chart on average value data การทดสอบแรงดึง ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	62
8-14	run chart on standard deviation value data การทดสอบแรงดึง ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	62
8-15	run chart on subgroup data การทดสอบบานท่อ ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	63
8-16	run chart on average value data การทดสอบบานท่อ ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	53
8-17	run chart on standard deviation value data การทดสอบบานท่อ ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
8-18	run chart on subgroup data การทดสอบบานท่อ ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	64
8-19	run chart on average value data การทดสอบบานท่อ ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	64
8-20	run chart on standard deviation value data การทดสอบบานท่อ ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	64
8-21	dot diagram on average value การทดสอบแรงดึง ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	65
8-22	dot diagram on standard deviation value การทดสอบแรงดึง ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	65
8-23	dot diagram on average value การทดสอบแรงดึง ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	66
8-24	dot diagram on standard deviation value การทดสอบแรงดึง ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	66
8-25	dot diagram on average value การทดสอบบานท่อ ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	67
8-26	dot diagram on standard deviation value การทดสอบบานท่อ ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	67
8-27	dot diagram on average value การทดสอบบานท่อ ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	68
8-28	dot diagram on standard deviation value การทดสอบบานท่อ ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	68
8-29	display of paired comparison โดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ย การทดสอบแรงดึง ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
8-30	display of paired comparison โดยใช้ข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบแรงดึง ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	71
8-31	display of paired comparison โดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยการทดสอบแรงดึง ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	72
8-32	display of paired comparison โดยใช้ข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบแรงดึง ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	73
8-33	display of paired comparison โดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยการทดสอบบานท่อ ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	74
8-34	display of paired comparison โดยใช้ข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบบานท่อ ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	75
8-35	display of paired comparison โดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยการทดสอบบานท่อ ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	76
8-36	display of paired comparison โดยใช้ข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบบานท่อ ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	77
8-37	average value response plot การทดสอบแรงดึง ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	78
8-38	average value response plot การทดสอบแรงดึง ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	79
8-39	average value response plot การทดสอบบานท่อ ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 1	80
8-40	average value response plot การทดสอบบานท่อ ของการทดลองเชื่อมครั้งที่ 2	81