



พัฒนาเงื่อนไขการเชื่อมสำหรับวัสดุชนิดใหม่ โดยใช้กระบวนการ
เชื่อมแบบต่อชน กรณีศึกษา บริษัทสยามยูไนเต็ดสตีล (1995) จำกัด
**DEVELOP WELDING CONDITIONS FOR NEW MATERIAL BY
FLASH BUTT WELDING PROCESS : A CASE STUDY OF
THE SIAM UNITED STEEL (1995) CO., LTD.**

นางสาว อติศา ประพันธ์วรคุณ

โครงการสหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น

พ.ศ. 2556

พัฒนาเงื่อนไขการเชื่อมสำหรับวัสดุชนิดใหม่ โดยใช้กระบวนการเชื่อมแบบต่อชน

กรณีศึกษา บริษัทสยามยูไนเท็ดสตีล (1995) จำกัด

**DEVELOP WELDING CONDITIONS FOR NEW MATERIAL
BY FLASH BUTT WELDING PROCESS: A CASE STUDY OF
THE SIAM UNITED STEEL (1995) CO., LTD.**

นางสาว อติศา ประพันธ์วรคุณ

โครงการสหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น

พ.ศ. 2556

คณะกรรมการสอบ

ประธานกรรมการสอบ

(อาจารย์ ภาสกร พันธุ์โอภาส)

กรรมการสอบ

(อาจารย์ จีรพงศ์ สุชาติพิทย์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ นพดล ศรีพุทธา)

ประธานสหกิจศึกษาสาขาวิชา

(ผศ. ดร. พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์)

ชื่อโครงการ	พัฒนาเงื่อนไขการเชื่อมสำหรับวัสดุชนิดใหม่โดยใช้กระบวนการเชื่อมแบบต่อชน กรณีศึกษา บริษัทสยามยูไนเต็ดสตีล (1995) จำกัด Develop welding conditions for new material by flash butt welding process : A Case Study of THE SIAM UNITED STEEL (1995) CO., LTD.
ผู้เขียน	นางสาว อติศา ประพันธ์วรคุณ
คณะวิชา	วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ นพดล ศรีพุทธา
พนักงานที่ปรึกษา	นาย ชีรทัศน์ สายทอง
ชื่อบริษัท	บริษัท สยามยูไนเต็ดสตีล (1995) จำกัด
ประเภทธุรกิจ	เหล็กแผ่นรีดเย็น

บทสรุป

การพัฒนาเงื่อนไขการเชื่อมสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ (New product) โดยกระบวนการเชื่อมแบบต่อชน (Flash Butt Welding) อยู่บนหลักการพื้นฐานที่ใช้กระแสไฟฟ้าหลอมปลายแผ่นเหล็กทั้งสองข้าง แล้วเชื่อมติดกันด้วยแรงกดอัดสูง โดยหลักการนี้จะเกี่ยวข้องกับหลายตัวแปรทั้งในแง่วัสดุ (Thickness , Width , Chemical composition) , กระแส (Flash Time) , แรงกดอัด (Upset Time , Upset Length) สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ใหม่ (Hi-tensile material for galvanize steel sheet) ที่จะทำการผลิตบนสายการผลิต CDCM ยังไม่มีเงื่อนไขการเชื่อมสำหรับการผลิตแต่อย่างใด จึงเป็นที่มาของการศึกษาและทดลองตัวแปร (Flash time , Upset Time , Upset Length) และก่อนที่จะนำไปใช้ในการผลิตจริงจะต้องทำการทดลองและทดสอบรอยเชื่อมโดยกระบวนการที่เรียกว่า Erichsen Test (การทดสอบต้องไม่มีการแตกตามรอยเชื่อม) และ Tensile Test (ต้องมีความต้านทานแรงดึงมากกว่า 180 N/mm^2) เพื่อให้มั่นใจว่ามีความแข็งแรงเพียงพอที่จะไม่เกิดปัญหาระหว่างการผลิตต่อไป

จากการนำเงื่อนไขการเชื่อมที่ได้พัฒนาไปใช้ในการจริง โดยใช้เงื่อนไขการเชื่อมที่ผ่านการทดสอบนั้น พบว่ารอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ และไม่เกิด Strip break ในระหว่างการผลิต ซึ่งจะนำมาพิจารณา เพื่อทำเป็นเงื่อนไขมาตรฐาน (Conditions Standard) ในการผลิต

Project's name	Develop welding conditions for new material by flash butt welding process : A Case Study of THE SIAM UNITED STEEL (1995) CO., LTD.
Writer	Ms. Adisa Praphanworakhun
Faculty	Faculty of Engineer, Production Engineer program
Faculty Advisor	Mr. Noppadol Sriputtha
Job Supervisor	Mr. Theerathust Saithong
Company's name	THE SIAM UNITED STEEL (1995) CO., LTD.
Business Type	COLD ROLLED STEEL SHEET IN COIL

Summary

The development of welding conditions for new products by utilization of Flash Butt Welding process is based on the principle that the electrical current is applied to melt at the end of two pieces of metal then press the metals together by applying high pressure. The variables which relate to the principle are material (thickness, width, chemical composition), current (flash time) and pressure (upset time, upset length). However, the welding conditions for the new products (Hi-tensile material for galvanize steel sheet) had not been defined. Therefore, this inspired me to study and demonstrate the mentioned variables before practicing on actual production. And for assuring that it is strong enough to prevent the problems regarding welding conditions on production line, I likewise used Erichsen testing (there were not cracks on welded joints) and Tensile testing (more than 180 N/mm²) to evaluate the performance of welded joints.

After practicing the welding conditions that has developed into a production, there has been either welded joints perfect or strip break problem during production period. For the next action, we will consider to standardize these conditions to become standard conditions for all new products.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่อาจจะนำมากล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้มีพระคุณ ที่ผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณคือ คุณอนุกุล นวประดิษฐกุล ผู้จัดการ ส่วนผลิต 1 คุณพระทัย ปิติธานี ผู้ช่วยผู้จัดการส่วนผลิต 1 , Group Leader , Ship Leader และ Operator ที่ให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้การเขียนโครงการฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด และขอขอบพระคุณคือ อาจารย์นพดล ศรีพุทธา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้คำแนะนำ แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ รวมไปถึงเทคนิคการนำเสนอโครงการในที่ประชุม นอกจากนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ คุณธีรทัศน์ สายทอง ผู้จัดการ ประจำส่วนผลิต 1 ที่คอยให้คำแนะนำตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องอย่างใกล้ชิด

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บริษัท สยามยูไนเต็ดสตีล (1995) จำกัด ที่ให้โอกาสผู้จัดทำได้สหกิจศึกษา ณ ที่แห่งนี้

นางสาว อติศา ประพันธ์วรคุณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมการผลิต



สารบัญ

	หน้า
บทสรุป	ก
Summary	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญ (ต่อ)	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญตาราง (ต่อ)	ช
สารบัญรูปประกอบ	ฅ
สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)	ฉ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ชื่อและที่ตั้งของสถานประกอบการ	1
1.2 ลักษณะธุรกิจของสถานประกอบการ	2
1.3 รูปแบบการจัดองค์กร	5
1.4 ตำแหน่งและหน้าที่งานที่ได้รับมอบหมาย	6
1.5 พนักงานที่ปรึกษา และตำแหน่งของพนักงานที่ปรึกษา	6
1.6 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน	6
1.7 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	6
1.8 วัตถุประสงค์หรือจุดมุ่งหมายของโครงการ	7
1.9 ผลที่คาดว่าจะได้รับการปฏิบัติงาน	7
1.10 นิยามศัพท์เฉพาะ	7
2. ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่ใช้ในการปฏิบัติงาน	10
2.1 กระบวนการผลิตเหล็ก	10
2.2 Manufacturing Process	12
2.3 Welding	13

สารบัญ (ต่อ)

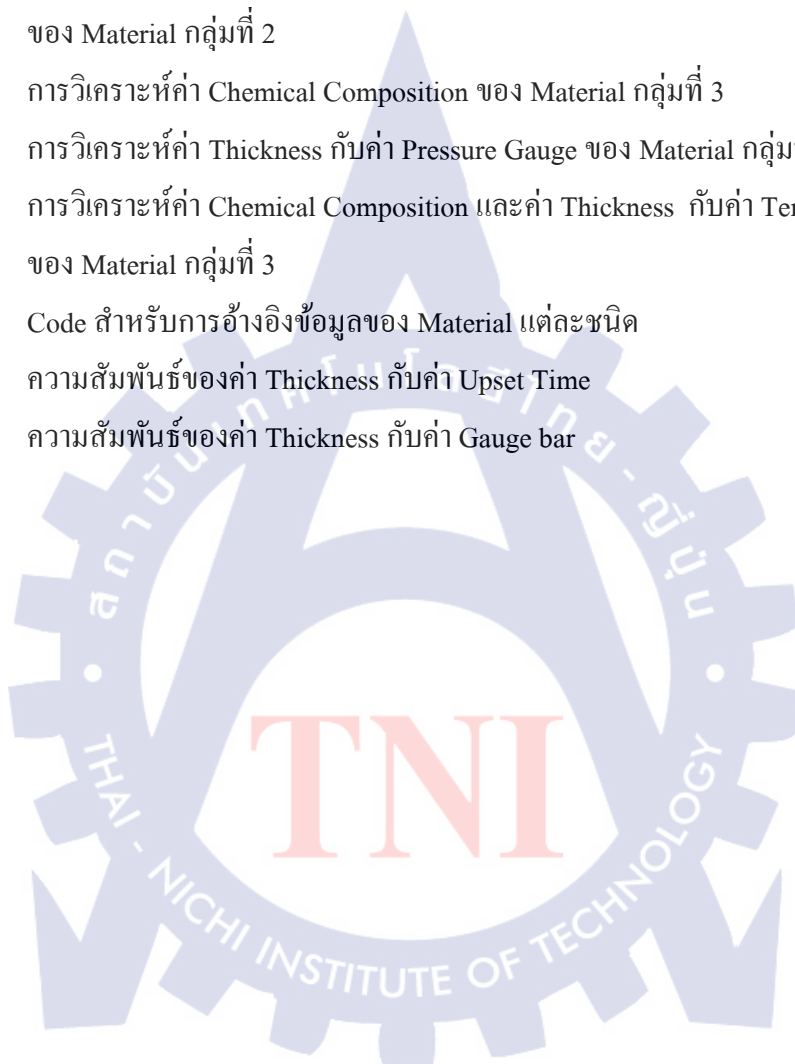
	หน้า
2.4 Flash Butt Welding	14
2.5 ปัจจัยกระบวนการเชื่อม	16
2.6 การทดสอบรอยเชื่อม	17
3. แผนงานการปฏิบัติงานและขั้นตอนการดำเนินงาน	19
3.1 แผนงานปฏิบัติงาน	19
3.2 รายละเอียดโครงการ	20
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	20
4. ผลการดำเนินงาน การวิเคราะห์และสรุปผลต่างๆ	27
4.1 ผลการดำเนินงาน	27
4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	38
4.3 วิเคราะห์และวิจารณ์ข้อมูลโดยเปรียบเทียบผล ที่ได้รับกับวัตถุประสงค์ในการปฏิบัติงาน	48
5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	49
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	49
5.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา	54
5.3 ข้อเสนอแนะจากการดำเนินงาน	54
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก	56
ก. มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ	56
ข. เอกสารเพิ่มเติม	69
ค. Weekly Report	75
ประวัติผู้วิจัย	91

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	กรรมวิธีในการเชื่อมโลหะ 6 วิธี	13
3.1	ตารางแผนการปฏิบัติงาน	19
3.2	Material ที่ใช้สำหรับทำการทดสอบหาค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสม	21
3.3	ค่า Conditions การเชื่อมของ Material ที่ใช้อ้างอิงสำหรับ Material กลุ่มที่ 1	22
3.4	ค่า Conditions การเชื่อมทั้งหมด 15 Conditions ที่ใช้สำหรับการทดสอบของ Material กลุ่มที่ 1	22
3.5	การปรับจูนค่า Conditions การเชื่อมที่ใช้ในการทดสอบของ Material กลุ่มที่ 2	23
3.6	ค่า Conditions การเชื่อมที่ใช้ในการทดสอบของ Material กลุ่มที่ 2	23
3.7	ค่า Conditions การเชื่อมที่ใช้ในการทดสอบของ Material กลุ่มที่ 2 (ต่อ)	24
3.8	การปรับจูนค่า Conditions การเชื่อมที่ใช้ในการทดสอบของ Material กลุ่มที่ 3	24
3.9	ค่า Conditions การเชื่อมที่ใช้ในการทดสอบของ Material กลุ่มที่ 3	25
4.1	ผลการทดสอบค่า Erichsen Test ของ Material กลุ่มที่ 1	27
4.2	ผลการทดสอบค่า Erichsen Test และ Tensile Test ของ Material กลุ่มที่ 2	29
4.3	ผลการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนการ Microphotograph ของ Material กลุ่มที่ 2	30
4.4	ผลการทดสอบค่า Erichsen Test และ Tensile Test ของ Material กลุ่มที่ 3	32
4.5	ผลการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนการ Microphotograph ของ Material กลุ่มที่ 3	33
4.6	ผลการผลิตของ Material กลุ่มที่ 1 โดยนำมาทดสอบด้วยกระบวนการ Erichsen Test	35
4.7	ผลการผลิตของ Material กลุ่มที่ 1 โดยนำมาทดสอบด้วยกระบวนการ Tensile Test	35
4.8	การวิเคราะห์ผลของค่า Conditions การเชื่อมของ Material กลุ่มที่ 1	38
4.9	การวิเคราะห์ผลค่า Chemical Composition ของ Material กลุ่มที่ 1	40
4.10	การวิเคราะห์ผลค่า Chemical Composition ของ Material กลุ่มที่ 2	42
4.11	การวิเคราะห์ค่า Thickness กับค่า Pressure Gauge ของ Material กลุ่มที่ 2	42

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.12	การวิเคราะห์ค่า Chemical Composition และค่า Thickness กับค่า Tensile Test ของ Material กลุ่มที่ 2	44
4.13	การวิเคราะห์ค่า Chemical Composition ของ Material กลุ่มที่ 3	46
4.14	การวิเคราะห์ค่า Thickness กับค่า Pressure Gauge ของ Material กลุ่มที่ 3	46
4.15	การวิเคราะห์ค่า Chemical Composition และค่า Thickness กับค่า Tensile Test ของ Material กลุ่มที่ 3	48
5.1	Code สำหรับการอ้างอิงข้อมูลของ Material แต่ละชนิด	50
5.2	ความสัมพันธ์ของค่า Thickness กับค่า Upset Time	52
5.3	ความสัมพันธ์ของค่า Thickness กับค่า Gauge bar	53



สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
1.1 THE SIAM UNITED STEEL (1995) CO., LTD.	1
1.2 แผนที่แสดงที่ตั้งของบริษัท	2
1.3 ภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์จาก CRS	3
1.4 ภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์จาก GIS	3
1.5 ภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์จาก TMBP	4
1.6 แผนผังกระบวนการผลิต	5
1.7 แผนผังองค์กร	5
2.1 กระบวนการผลิตเหล็ก	11
2.2 สายการผลิต CDCM	12
2.3 Outline ของเครื่องเชื่อมแบบ Flash butt welding	14
2.4 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ Moving Stand และค่า Current ของเครื่อง Welder	15
2.5 Outline ของเครื่องเชื่อมแบบ Flash butt welding	16
2.6 การทดสอบ Erichsen Test และแนวเชื่อมที่ทดสอบ	17
2.7 การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing) และชิ้นงานทดสอบ	18
2.8 การตรวจสอบรอยเชื่อม ด้วยกระบวนการ Microphotograph กำลังขยาย 25 เท่า	18
4.1 ผลการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนการ Microphotograph ของ Material กลุ่มที่ 1	27
4.2 ผลการผลิตของ Material กลุ่มที่ 1 โดยนำมาทดสอบด้วยกระบวนการ Microphotograph	35
4.3 กราฟ Erichsen Test ของ Material กลุ่มที่ 1	39
4.4 กราฟ Erichsen Test ของ Material กลุ่มที่ 2	41
4.5 กราฟ Tensile Stress ของ Material กลุ่มที่ 2	43
4.6 กราฟ Tensile Load ของ Material กลุ่มที่ 2	43
4.7 กราฟ Erichsen Test ของ Material กลุ่มที่ 3	45
4.8 กราฟ Tensile Stress ของ Material กลุ่มที่ 3	47
4.9 กราฟ Tensile Load ของ Material กลุ่มที่ 3	47

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
5.1	กราฟสรุปค่า Carbon Equivalent	49
5.2	กราฟสรุปค่า Flash Time และ Upset Length	49
5.3	กราฟสรุปค่า Flash Time ของ Material ที่ทำการทดสอบ	50
5.4	กราฟสรุปค่า Upset Length ของ Material ที่ทำการทดสอบ	51
5.5	กราฟสรุปค่า Upset Time ของ Material ที่ทำการทดสอบ	52
5.6	กราฟสรุปค่า Gauge bar ของ Material ที่ทำการทดสอบ	53



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ชื่อและที่ตั้งของสถานประกอบการ



ภาพที่ 1.1 THE SIAM UNITED STEEL (1995) CO., LTD.

ชื่อบริษัท	บริษัท สยามยูไนเต็ดสตีล (1995) จำกัด THE SIAM UNITED STEEL (1995) CO., LTD. ชื่อย่อ “SUS”
ที่ตั้งบริษัท	เลขที่ 9 ซอยจี 5 ถนนปภังกรสงเคราะห์ราษฎร์ นิคมอุตสาหกรรมเหมราช ตะวันออก (มาบตาพุด) ตำบลห้วยโป่ง อำเภอเมือง จังหวัดระยอง 21150 โทรศัพท์ 038-868-5155 โทรสาร 03-868-5133

1.2 ลักษณะธุรกิจของสถานประกอบการ

วันก่อตั้ง

27 กรกฎาคม 2538

คณะบริหาร

NIPPON STEEL CORPORATION , POSCO ,
THE SIAM CEMENT PUBLIC COMPANY LIMITED

เงินลงทุน

ประมาณ 25,000 ล้านบาท

ทุนจดทะเบียน

9,000 ล้านบาท

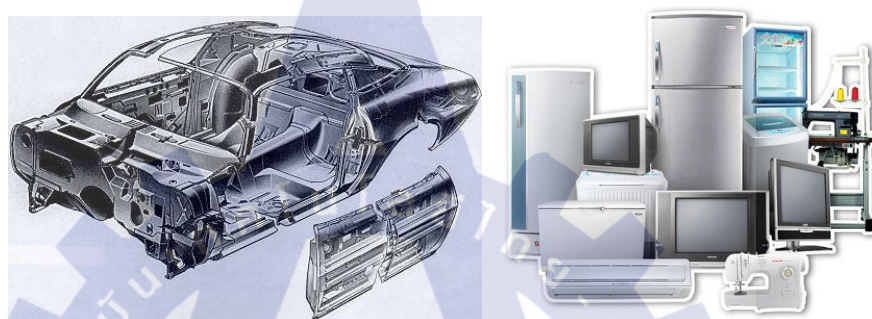
ความสามารถในการผลิต 1 ล้านตันต่อปี

1 ล้านต้นต่อปี

ลักษณะธุรกิจของสถานประกอบการ

บริษัทสยามยูไนเต็สตีล (1995) จำกัด ดำเนินธุรกิจในลักษณะการผลิต และ จัดจำหน่าย โลหะแผ่นรีดเย็นชนิดม้วน (COLD ROLLED STEEL SHEET IN COIL) โดยมีผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 5 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่

1.) COLD ROLLED SHEET (CRS) คือเหล็กแผ่นขนาด 0.4-2.3 mm. ที่ผ่านกระบวนการรีดลดขนาดแล้ว นำไปผ่านเข้าเตาเพื่อปรับคุณสมบัติของเหล็ก ทำให้ได้โลหะที่มีค่า Tensile สูงนำไปใช้ทำชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า ตู้ และ เฟอร์นิเจอร์



ภาพที่ 1.3 ภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์จาก CRS

2.) Galvanized Iron Substrate (GIS) คือ เหล็กแผ่นขนาด 0.15-1.2 mm. สำหรับเคลือบสังกะสี นำไปใช้เป็นหลังคา ชิ้นส่วน โครงสร้าง และ ชิ้นงานเสริมความแข็งแรงในงานก่อสร้าง



ภาพที่ 1.4 ภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์จาก GIS

3.) Tin Mill Black Plate (TMBP) คือ เหล็กแผ่นขนาด 0.17-0.4 mm. สำหรับเคลือบดีบุกนำไปผลิตเป็นฝาและตัวกระป๋องภาชนะบรรจุอาหารขนาดใหญ่ ฝาจีบ ตัวถ่านไฟฉาย ชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องเขียน

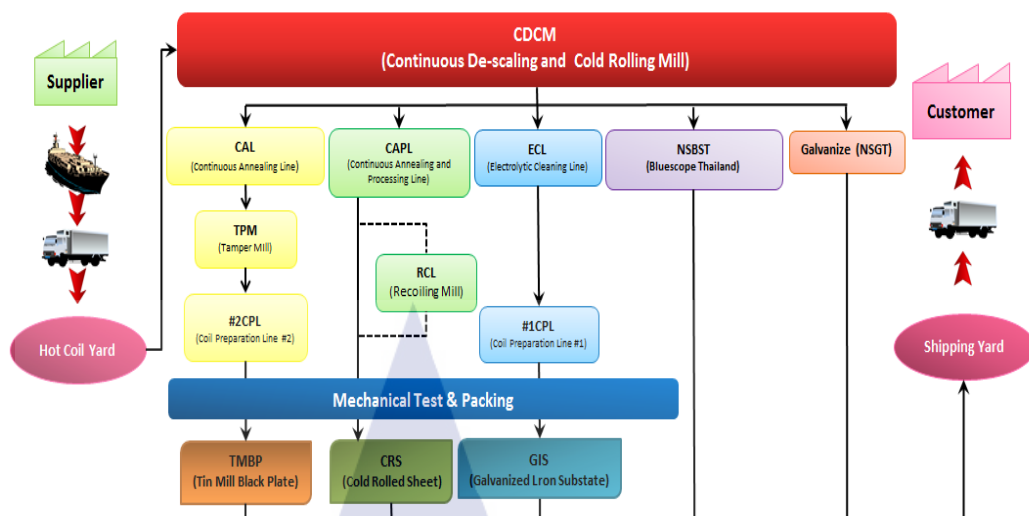


ภาพที่ 1.5 ภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์จาก TMBP

4.) Bluescope (NS BST) คือ เหล็กแผ่นม้วนรีดเย็นเคลือบสังกะสี ลักษณะเดียวกันกับ GIS ซึ่งเป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงสูง สำหรับใช้ในการก่อสร้าง เครื่องใช้ไฟฟ้า และอุตสาหกรรมการผลิตโดยทั่วไป

5.) Nippon Steel Galvanizing (NSGT) คือ เหล็กแผ่นรีดเย็นที่ผ่านกระบวนการรีดลดขนาดแล้ว ทำให้ได้โลหะที่มีค่า Tensile สูง และผ่านกระบวนการเคลือบสังกะสี ลักษณะเดียวกันกับ CRS ส่วนมากนำไปผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

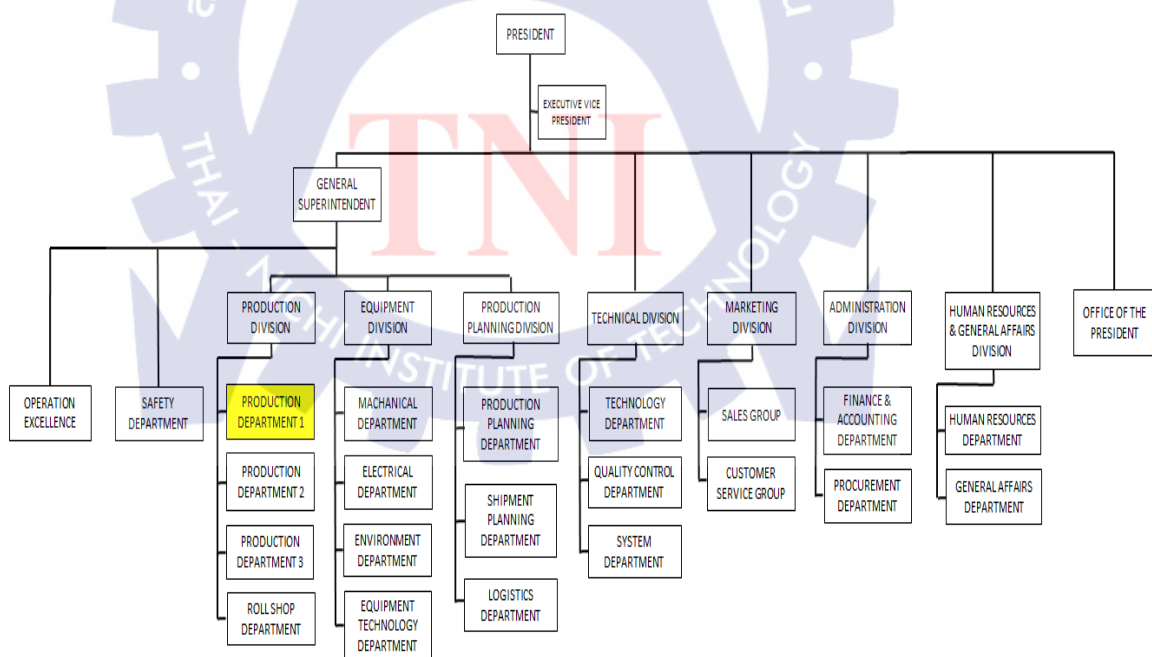
กระบวนการผลิตของ บริษัท สยามยูไนเต็ดสตีล (1995) จำกัด คือการนำเหล็กแผ่นรีดร้อน (Hot Coil) ที่เป็นวัตถุดิบหลักมาจากประเทศญี่ปุ่น มาทำการกำจัดสนิม ตัดแต่งขอบทั้งสองข้าง และล้างทำความสะอาดด้วยกรดก่อนจะถูกส่งไปยังแท่นรีด เพื่อรีดปรับความหนาและรูปร่าง ด้วยสายการผลิต CDCM (Continuous Descaling and Rolling Mill) ก่อนจะส่งไปที่สายการผลิตอื่นต่อไป



ภาพที่ 1.6 แผนผังกระบวนการผลิต

1.3 รูปแบบการจัดองค์กร

1.3.1 แผนผังองค์กร



ภาพที่ 1.7 แผนผังองค์กร

1.4 ตำแหน่งและหน้าที่งานที่ได้รับมอบหมาย

1.4.1 ตำแหน่งงานนักศึกษา

วิศวกรฝึกหัด ส่วนผลิต 1 ฝ่ายผลิต

1.4.2 หน้าที่งานที่ได้รับมอบหมาย

ปรับปรุงกระบวนการเชื่อมให้ผลิตกันชนใหม่

1.5 พนักงานที่ปรึกษา และตำแหน่งของพนักงานที่ปรึกษา

1.5.1 พนักงานที่ปรึกษา

คุณ ชีรทัศน์ สายทอง

1.5.2 ตำแหน่งของพนักงานที่ปรึกษา

ผู้จัดการประจำส่วนผลิต 1

1.6 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน

เริ่มปฏิบัติงานวันที่ 3 มิถุนายน 2556 ถึงวันที่ 4 ตุลาคม 2556 รวมระยะเวลาในการปฏิบัติงานทั้งสิ้น 4 เดือน

1.7 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปี พ.ศ. 2556 บริษัท สยามยูไนเต็ดสตีล (1995) จำกัด มีการขยายกำลังการผลิต เพื่อรองรับบริษัทในเครือคือ NSGT (Nippon Steel Galvanizing (Thailand) Co., Ltd.) ทำให้การผลิตที่ Line CDCM (Continuous Descaling and Cold Rolling Mill) มีการผลิต New Material เกิดขึ้น จึงต้องทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต

การปรับปรุงที่สำคัญเป็นลำดับแรกคือ ค่า Conditions การเชื่อม (การผลิตใช้กระบวนการเชื่อมแบบ Flash Butt Welding) ค่า Conditions การเชื่อมที่ต้องทำการปรับปรุงคือ ค่า Flash time , Upset time , Upset Length และค่า Gauge Bar ในการผลิต New Material นั้นมีความแตกต่างกันในเรื่องของ Thickness , Material หรือ Chemical composition ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องกำหนดค่า Conditions การเชื่อมใหม่ เพื่อรองรับสายการผลิตใหม่ของบริษัท

ในแต่ละวันสายการผลิต CDCM มีการเชื่อม 80-200 ครั้งต่อวัน หากต้องมีการเชื่อมแก้ไขหรือเกิดรอยเชื่อมไม่สมบูรณ์ จะทำให้กระบวนการผลิตต้องหยุดรอ ทำให้เกิดปัญหา Strip break เกิดขึ้น มีผลกระทบต่อสายการผลิตโดยตรง

ดังนั้น ค่า Conditions การเชื่อมที่ใช้ในการผลิต ต้องเป็นค่าที่เหมาะสม ที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว จึงเป็นเหตุให้ต้องมาศึกษากระบวนการเชื่อมแบบ Flash Butt Welding

1.8 วัตถุประสงค์หรือจุดมุ่งหมายของโครงการ

โครงการที่ได้รับมอบหมาย

พัฒนาการเชื่อมสำหรับวัสดุชนิดใหม่โดยใช้กระบวนการเชื่อมแบบต่อชน

วัตถุประสงค์

1.8.1 เพื่อหา Welding Conditions ที่เหมาะสมกับ New Material ที่ไม่มี Conditions ในการผลิต

1.8.2 เพื่อทำเป็น Guide line ในการปรับ Tune สำหรับ Product อื่นๆ ที่จะเข้ามาในอนาคต

1.9 ผลที่คาดว่าจะได้รับการปฏิบัติงาน

1.9.1 สามารถผลิต New material เพื่อออกขายตลาดให้กับบริษัทได้

1.9.2 ไม่เกิดปัญหาการเชื่อมซ้ำ หรือรอยเชื่อมไม่สมบูรณ์ ทำให้กระบวนการผลิตต้องหยุดรอหรือแก้ไขระหว่างการผลิต

1.10 นิยามศัพท์เฉพาะ

Acid Supply	แหล่งจ่ายกรดที่ใช้ใน Pickling Tank (กรดไฮโดรคลอริก)
Blade	ใบมีด
CDCM Entry Yard	พื้นที่วาง Hot Coil เพื่อเตรียมเข้า Line CDCM
Coil	เหล็กแผ่นที่ขดเป็นม้วน
Coil Opener	อุปกรณ์ที่ใช้คลี่เปิดหัวของ Coil ที่เข้ามาใหม่
Coil Skid	โครงเหล็กรูปตัววี สำหรับใช้วางหรือรอง Coil
Crop Shear	เครื่องตัดปลาย Strip เพื่อให้ได้ฉาก เรียบ และกำจัด Defect ที่บริเวณปลาย Coil
Descaling	กระบวนการในการกำจัด Scale บนผิว Strip (Hot Coil)
Electrode Die	Bar ทองแดงนำไฟฟ้าสำหรับหนีบจับ Strip ที่ Welder
Elongation	ค่าของการยืดของวัสดุ ส่วนมากคิดเป็น %

Entry Coil Car	อุปกรณ์ส่ง Coil เข้า Pay off Reel
Entry Looper	Looper สำหรับจ่าย Strip เข้า Line ในขณะที่หยุดการเชื่อม ซึ่งในขณะที่ Line เดินปกติจะมี Strip อยู่เต็ม
Entry Walking Beam Conveyor	อุปกรณ์ลำเลียง Hot Coil จาก CDCM Entry Yard ไป Pay Off Reel (POR)
FGC (Flying Gauge Change)	การควบคุมความหนาแน่นระหว่าง Coil 2 Coil โดยอัตโนมัติในช่วงการรีดบริเวณแนวเชื่อม
Flash Trimmer	เครื่องขูดรอยเชื่อมให้เรียบ
Hot Coil Yard	ลานเก็บ Hot Rolled Coil (Hot Coil) ที่เป็นวัตถุดิบสำหรับ CDCM
Inhibitor	สารที่ใส่ลงในกรดที่ Pickling Tank เพื่อป้องกันการกรดกัด Strip และลดการเกิดไอกรด
Notcher	เครื่องตัดลบมุมของ Strip เพื่อไม่ให้เป็นมุมฉากที่รอยต่อเชื่อมของ Strip
Pay Off Reel (POR)	อุปกรณ์คลี่เหล็กออกจากม้วนและจ่ายเข้าเครื่อง
Pickling Tank	อ่างกรดไฮโดรคลอริก ที่ใช้ทำความสะอาดแผ่น Strip เพื่อกำจัด Scale
Puncher	เครื่องมือเจาะรูที่แผ่น Strip เพื่อใช้สำหรับตรวจจับและติดตามรอยเชื่อมในกระบวนการผลิต
Rinse Tank	อ่างน้ำเพื่อล้างกรดที่ติดมาจาก Pickling Tank
Scale	ชั้นบาง ๆ ของออกไซด์ของเหล็กเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง O_2 ในอากาศกับเหล็ก ที่อุณหภูมิสูงกว่า $575\text{ }^{\circ}\text{C}$

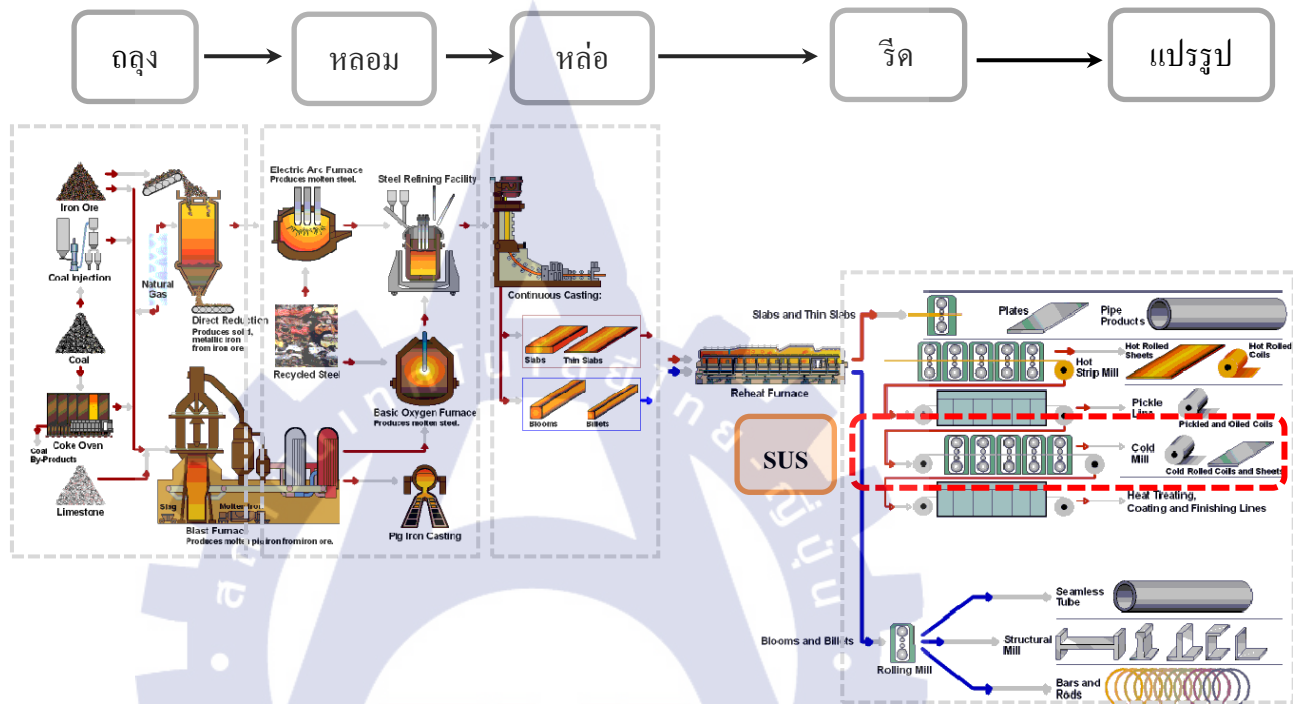
Side Trimmer	เครื่องตัดขอบ Strip เพื่อให้ได้ความกว้างตามที่ต้องการ ใบมีดเป็นแบบวงกลม ซึ่งใบมีดสามารถเลื่อนเข้าเลื่อนออกตามความกว้างของ Strip
Stopper	ชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ที่ป้องกันเครื่องจักรหรือชิ้นงานเคลื่อนที่ออกนอกกระยะหรือแนวของเครื่อง
Welder	เครื่องเชื่อมหัวและปลายของ Strip ให้ติดกัน
Wheel	ลูกล้อ เช่น ลูกล้อของ Loop Car
WS-DS	Work site (ฝั่งคนทำงาน) – Drive site (ฝั่งเครื่องจักรทำงาน)



บทที่ 2

ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

2.1 กระบวนการผลิตเหล็ก



ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตเหล็ก

กระบวนการผลิตเหล็ก ขั้นแรกคือการถลุงแร่เหล็ก โดยการนำแร่เหล็ก (Fe_2O_3), ถ่านโค้ก (C), หินปูน (CaCO_3) นำไปเผาในเตา Blast Furnace จะกลายเป็น Pig Iron ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนประมาณ 4 % และมีมลทินมาก ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ในเชิงวิศวกรรมได้ จึงต้องนำไปกำจัดสารมลทินและลดปริมาณคาร์บอน ด้วยวิธีการหลอม โดยใช้เตาอุตสาหกรรม อาทิ BOF (Basic Oxygen Furnace) หรือ EOF (Electric Arc Furnace) หลอมภายในเตาและถูกพ่นด้วยออกซิเจนบริสุทธิ์ ทำให้เหล็กหลอมเหลวกลายเป็นเหล็กออกไซด์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนกลายเป็น Carbon monoxide ($\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$) หลังจากนั้นทำการหล่อ เป็นแท่งเรียกว่า Slab , Bloom etc. แล้ว

นำไปรีดเพื่อลดขนาดในกระบวนการรีดเหล็กแปรรูป เป็นเหล็กแผ่นรีดยาว , เหล็กท่อ , เหล็กโครงสร้าง หรือ Coil ต่อไป

บริษัทสยามยูไนเต็ดสตีล (1995) จำกัด ใช้วัตถุดิบ Hot Roll Coil ชนิด Carbon ต่ำ (Carbon<0.25 %) ตามมาตรฐาน JISG3113, JISG3134 และ JISG3131 มาผ่านกระบวนการผลิตที่ Line CDCM (Continuous Descaling and Cold Rolling Mill) โดยมีเหล็กรีดร้อน (Hot Coil) ขนาด 1.8-4.0 mm. มาใช้เป็นวัตถุดิบ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีทั้งหมด 5 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่

1. COLD ROLLED SHEET (CRS) คือ เหล็กแผ่นขนาด 0.4-2.3 mm. ที่ผ่านกระบวนการรีดลดขนาดแล้ว นำไปผ่านเข้าเตาเพื่อปรับคุณสมบัติของเหล็ก ทำให้ได้โลหะที่มีค่า Tensile สูง นำไปใช้ทำชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า ท่อ และ เฟอร์นิเจอร์
2. Galvanized Iron Substrate (GIS) คือ เหล็กแผ่นขนาด 0.15-1.2 mm. สำหรับเคลือบสังกะสี นำไปใช้เป็นหลังคา ชิ้นส่วนโครงสร้าง และชิ้นงานเสริมความแข็งแรงในงานก่อสร้าง
3. Tin Mill Black Plate (TMBP) คือ เหล็กแผ่นขนาด 0.17-0.4 mm. สำหรับเคลือบดีบุก นำไปผลิตเป็นฝาและตัวประกอบภาชนะบรรจุอาหารขนาดใหญ่ ฝาจับ ตัวถ่านไฟฉาย ชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องเขียน
4. Bluescope (NS BST) คือ เหล็กแผ่นม้วนรีดเย็นเคลือบสังกะสี ลักษณะเดียวกันกับ GIS ซึ่งเป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงสูง สำหรับใช้ในการก่อสร้าง เครื่องใช้ไฟฟ้า และอุตสาหกรรมการผลิตโดยทั่วไป
5. Nippon Steel Galvanizing (NSGT) คือ เหล็กแผ่นรีดเย็นที่ผ่านกระบวนการรีดลดขนาดแล้ว ทำให้ได้โลหะที่มีค่า Tensile สูง และผ่านกระบวนการเคลือบสังกะสี ลักษณะเดียวกันกับ CRS ส่วนมากนำไปผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

2.2 Manufacturing Process

2.4.1. CDCM (Continuous Descaling and Cold Rolling Mill) คือ กระบวนการกำจัด Scale และการรีดขนาดแบบต่อเนื่อง ประกอบด้วย 2 ระบบ

1. Pickling section จะประกอบด้วย

1.1 Welding คือ กระบวนการเชื่อมระหว่างหัว Coil และ หาง Coil

1.2 Scale Breaker คือ กระบวนการกำจัด Scale (iron oxide) ออกจาก ผิวของ Hot Coil โดยใช้วิธีการทางกลผ่านชุด Roller เพื่อบิดดัด แผ่นเหล็ก

1.3 Pickling Tank คือ เป็นกระบวนการทางเคมีที่ใช้กรด Hydrochloric กัดกร่อน โดยมีความเข้มข้น 8-13%

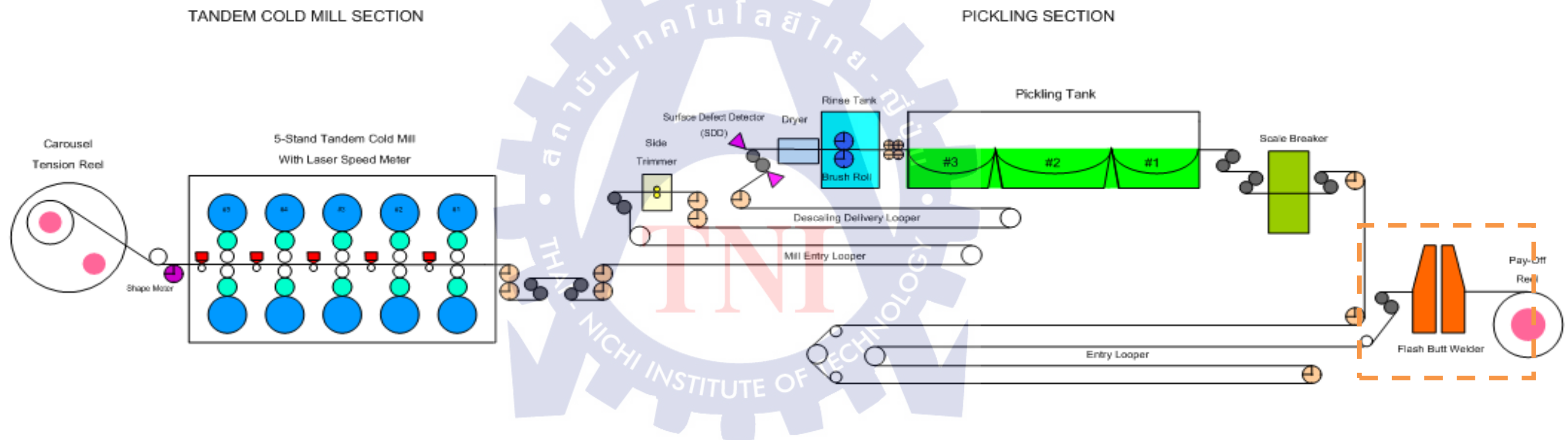
1.4 Rinse Tank คือ การล้างกรดด้วยน้ำร้อน อุณหภูมิประมาณ 80°C

1.5 Dryer คือ ทำการเป่าให้แห้ง โดยกำจนน้ำค้างด้านบนผิว Strip

1.6 Side Trimmer คือ กระบวนการตัดขอบเพื่อลดความกว้างของ Hot Coil เพื่อให้ได้ขนาดตามต้องการ และตรวจสอบ Defect ก่อนเข้า Tandem Cold Mill

1.7 Inspection ด้วย Surface Defect Detector (SDD) คือการตรวจสอบ Defect ที่พื้นผิวของ Cold Coil ก่อนนำไปผลิตส่วนต่อไป

2. Tandem Cold Mill Section คือ การรีดขนาดให้ได้ความหนาและรูปร่างตามต้องการ ด้วยชุดลูกกริด 5 Stand ที่เป็นเทคโนโลยีขั้นสูง เรียกว่า Six high stand ด้วยความเร็ว maximum 1,800 mpm

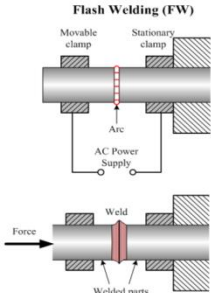
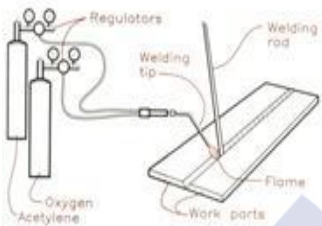
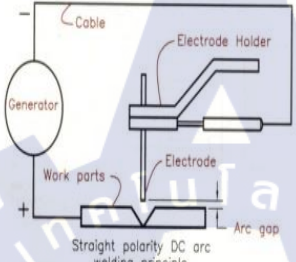
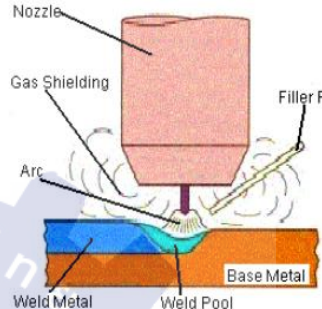
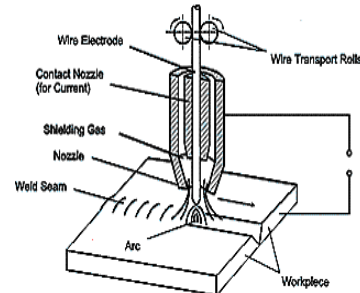
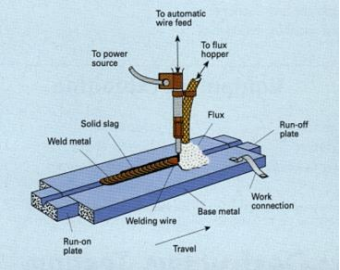


ภาพที่ 2.2 สายการผลิต CDCM

2.3 Welding

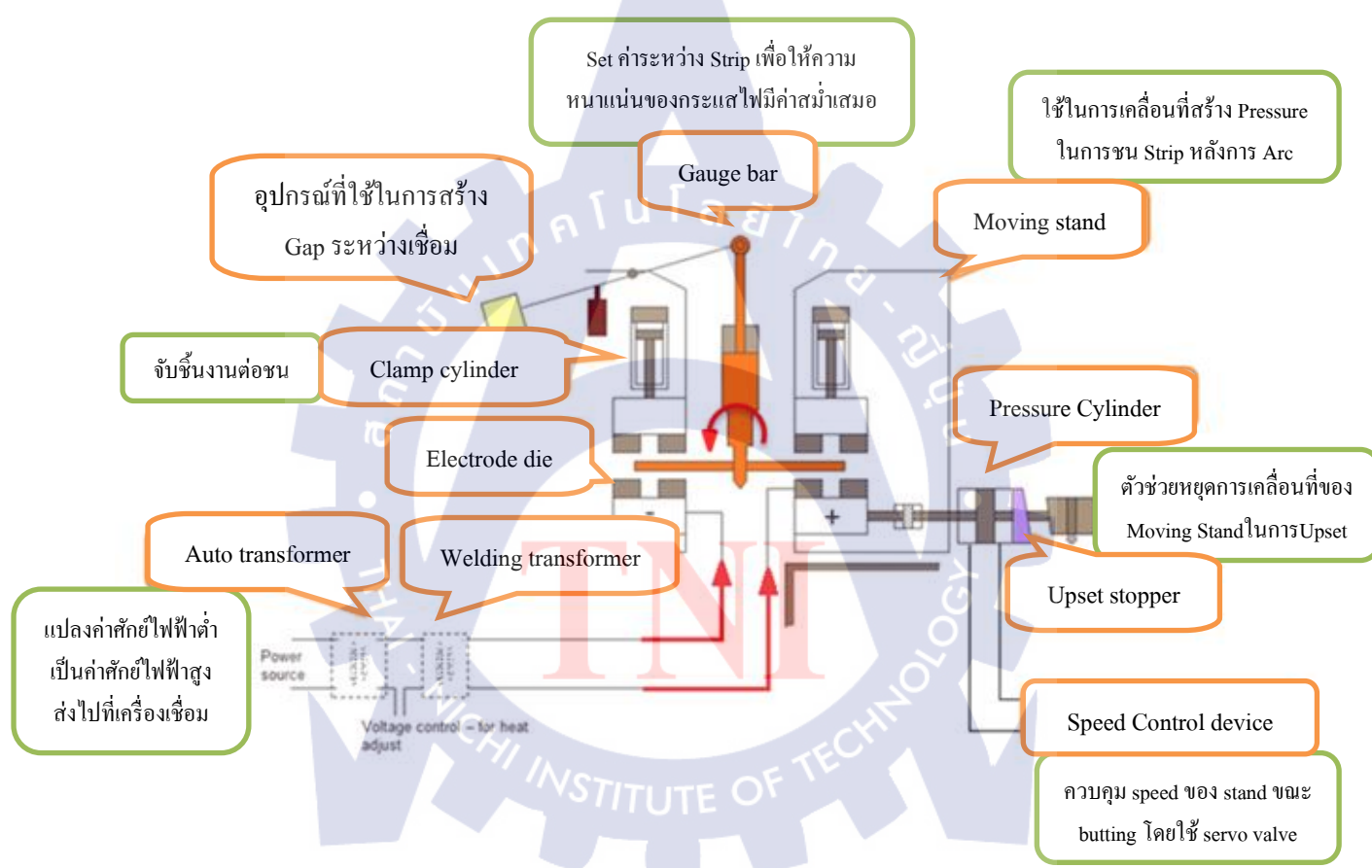
กระบวนการเชื่อมโลหะ (Welding) คือ กรรมวิธีการต่อโลหะให้ติดกันโดยการให้ความร้อนหรือแรงกด หรือทั้งความร้อนและแรงกดร่วมกัน บริเวณเชื่อมจนกระทั่งโลหะนั้นติดกันเป็นชิ้นเดียวกัน ซึ่งจะเป็นการศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐานในการปรับปรุง Condition ในการเชื่อมที่ดีในการผลิต โดยชนิดของการเชื่อมแบ่งได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 กรรมวิธีในการเชื่อมโลหะ 6 วิธี

	Flash Butt Welding	Gas Welding	Arc Welding	Tungsten Inert Gas Welding	Metal Inert Gas Welding	Submerged Arc Welding
Characteristic	หลอมติดด้วยการให้ความร้อนและใช้แรงดัน (สำหรับที่ CDCM)	หลอมติดด้วยการให้ความร้อนและเติมลวดเชื่อม	หลอมติดด้วยการให้ความร้อนและเติมลวดเชื่อม	หลอมติดด้วยการให้ความร้อนและเติมลวดเชื่อม	หลอมติดด้วยการให้ความร้อนและเติมลวดเชื่อม	หลอมติดด้วยการให้ความร้อนและเติมลวดเชื่อม
สภาพการทำงาน	 อาศัยความร้อนจากกระแสไฟฟ้าที่ Electrode die ทำให้เกิดการหลอมบริเวณระหว่างชิ้นงาน และใช้แรงดันทำให้ชิ้นงานติดกัน	 อาศัยความร้อนจากการเผาไหม้ระหว่างแก๊สเชื้อเพลิงอะเซทิลีนซึ่งเป็นแก๊สเชื้อเพลิงกับออกซิเจน	 อาศัยความร้อนจากการเกิดประกายอาร์คระหว่างชิ้นงานและลวดเชื่อม จะทำให้ลวดเชื่อมหลอม	 อาศัยความร้อนจากการอาร์คระหว่างลวดทั้งสแตงกับชิ้นงาน มีแก๊สเฉื่อยปกคลุม เพื่อไม่ให้อากาศภายนอกเข้ามาทำปฏิกิริยา	 อาศัยความร้อนจากการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมเปลี่ยนกับชิ้นงาน ทำหน้าที่เป็นโลหะเติมลงยังบ่อหลอมละลาย	 อาศัยความร้อนจากการอาร์คระหว่างเชื่อมเปลี่ยนกับชิ้นงาน มีฟลักซ์ชนิดเม็ดปกคลุมบริเวณอาร์ค และฟลักซ์ที่อยู่ใกล้กับเนื้อเชื่อมหลอมละลายปกคลุมป้องกันอากาศภายนอกทำปฏิกิริยา
การประยุกต์ใช้	ใช้ได้ก่อนข้างหลาย Material Thickness 1.8-4.0mm.	ใช้ได้ก่อนข้างหลาย Material Thickness < 3.0 mm.	ใช้ได้ก่อนข้างหลาย Material Thickness >1.2 mm.	ใช้ Material ได้เกือบทุกชนิด Thickness < 5.0 mm.	ใช้ได้ก่อนข้างหลาย Material Thickness > 1.0 mm.	ใช้ได้ก่อนข้างหลาย Material Thickness 1.0 - 4.0 mm.
ข้อดี/ข้อเสีย	<u>ข้อดี</u> 1. ความแข็งแรงของรอยเชื่อมที่ได้เทียบเท่ากับหรือมากกว่า Base Metal 2.สามารถนำไปดัดขึ้นรูปได้ <u>ข้อเสีย</u> 1. ตัวควบคุมเครื่องเชื่อม พวกราคาแพง 2. เสียงดัง และมีฝุ่น	<u>ข้อดี</u> 1. ไม่มีเขม่า 2. หล็กการไม่ยุ่งยาก 3. ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า <u>ข้อเสีย</u> 1. การเชื่อมทำได้ช้า 2. เกิดการออกซิไดซ์เมื่อยกลวดเชื่อมขึ้นบ่อย ๆ หรือลวดเชื่อมหมด	<u>ข้อดี</u> 1. เชื่อมง่ายและใช้อุปกรณ์น้อย 2. เคลื่อนย้ายได้สะดวก <u>ข้อเสีย</u> 1. การควบคุมคุณภาพจะต้องตรวจสอบทุกขั้นตอน 2. เกิดความเค้นตึงค้างอยู่ในวัสดุงานเชื่อม	<u>ข้อดี</u> 1. ไม่มีควันและสแลกปกคลุม 2. ความร้อนในงานเชื่อมไม่แผ่กระจายเกิดการบิดตัวน้อย 3. สามารถเชื่อมต่อเหล็กเหนียวที่มีความหนาแตกต่างกันได้ <u>ข้อเสีย</u> 1. อุปกรณ์มีราคาแพง 2. อุปกรณ์ที่ใช้มาก	<u>ข้อดี</u> 1. สามารถเชื่อมงานที่มีระยะห่างรอยต่อได้มาก 2. งานเชื่อมมีการเสียรูปน้อย <u>ข้อเสีย</u> 1. การควบคุมระยะห่างของหัวกับชิ้นงานมันค่อนข้างยาก 2. ไม่เหมาะกับงานภายนอกอาคาร	<u>ข้อดี</u> 1. งานเชื่อมเร็วมาก 2. เป็นระบบอัตโนมัติ จึงไม่ต้องการการดูแลมาก 3. ไม่มีประกายไฟและควัน <u>ข้อเสีย</u> 1. การตั้งค่ายุ่งยาก และอุปกรณ์มีราคาแพง 2. ไม่เหมาะกับการเชื่อมระยะสั้นหรือแนวโค้ง

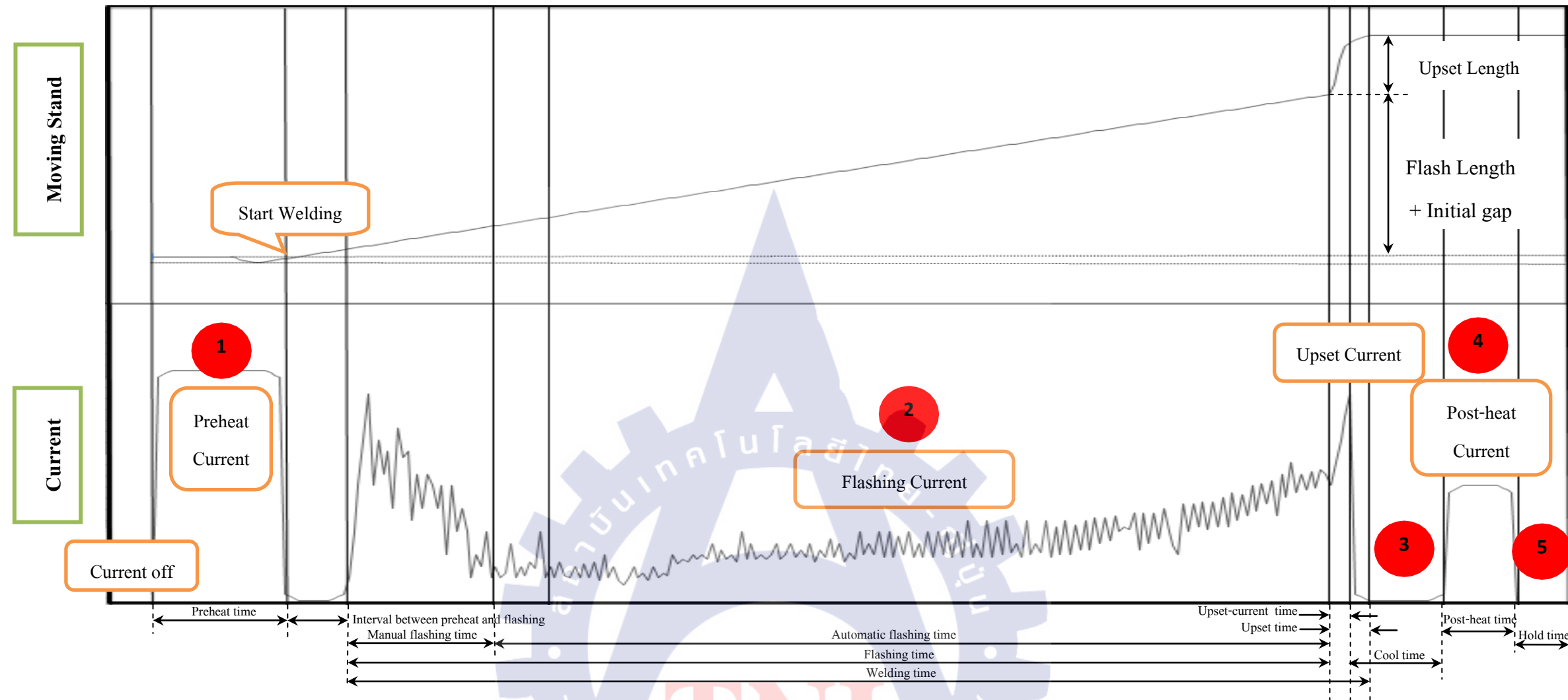
2.4 Flash Butt Welding

Flash Butt Welding (เป็นกระบวนการเชื่อมของ SUS) คือ การเชื่อมวบ ความร้อนที่หลอมละลายระหว่างปลายชิ้นงานสองชิ้นนำมาต่อชนกันทำให้เกิดจากความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าระหว่างปลายผิวหน้าทั้งสองเพื่อสร้างความร้อน เมื่อปลายผิวหน้าทั้งสองหลอมละลายดีแล้ว จากนั้นใช้แรงดันให้ปลายผิวหน้าทั้งสองติดกัน



ภาพที่ 2.3 Outline ของเครื่องเชื่อมแบบ Flash butt welding

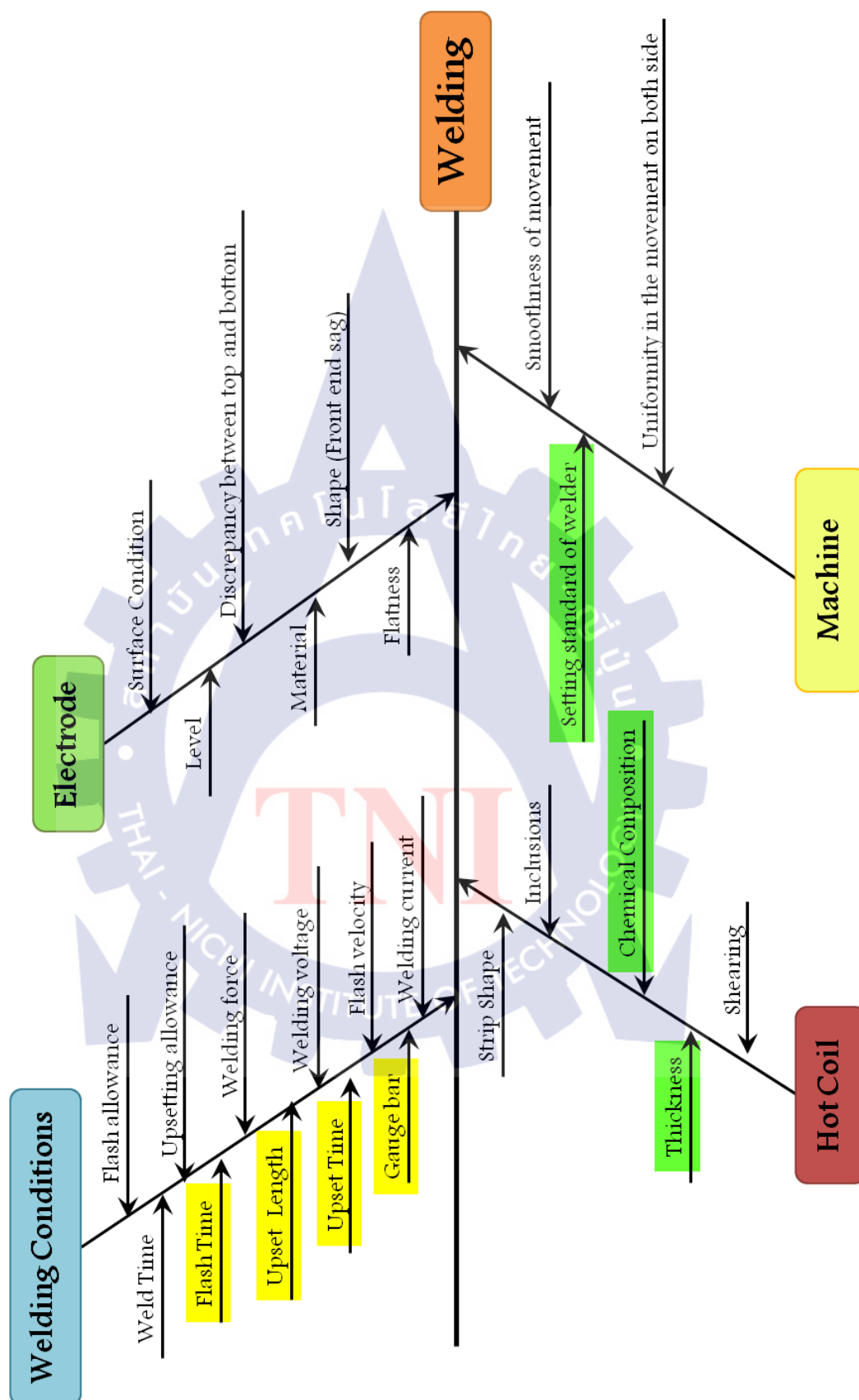
2.4.1 ขั้นตอนการทำงาน จะมีทั้งหมด 5 ขั้นตอน



ภาพที่ 2.4 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ Moving Stand และค่า Current ของเครื่อง Welder

1. Preheat current : Welder ทำการปล่อยกระแส เพื่อทำการ Preheat เครื่องก่อนการเชื่อม โดย Moving Stand ไม่มีการเคลื่อนที่
2. Welding : เริ่มทำการเชื่อม โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงดังนี้
 - 2.1 Flashing - Manual flashing : เริ่มปล่อยกระแส มีช่องว่างระหว่างหัวและหาง Coil เพื่อให้กระแสวิ่งข้ามจากขั้ว + ไปขั้ว - หลังจากเริ่มหลอมละลาย ช่องว่างระหว่างหัวและหาง Coil เริ่มกว้างขึ้น กระแสที่เกิดขึ้นจึงมีค่าน้อยลง
 - Automatic flashing : ยังคงปล่อยกระแสอยู่ และ Moving stand มีการเคลื่อนด้วยอัตราเร่งคงที่ ทำให้ช่องว่างระหว่างหัวและหาง Coil มีค่าน้อยลง ทำให้กระแสมีค่ามากขึ้น
 - 2.2 Upsetting : Moving Stand มีการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพื่อให้มีแรงดันและระยะทาง (Upset Length) ที่เหมาะสม หลังจากการหลอมละลาย ทำให้หัว Coil ติดกับหาง Coil เกิดการประสานรอยเชื่อมรวมตัวกันเป็นเนื้อเดียว และสามารถดึงสิ่งสกปรกและออกไซด์ให้ออกจากเนื้อรอยเชื่อม
3. Cool time : เป็นเวลาหยุดปล่อยกระแส และ Moving Stand หยุดการเคลื่อนที่ แต่ยังคงให้แรงกดแก่ชิ้นงานอยู่ ช่วงเวลานี้เป็นการทำให้ชิ้นงานเย็นตัว
4. Post-heat current : Moving Stand ไม่มีการเคลื่อนที่ เนื่องจาก Welder ทำการปล่อยกระแสเพื่อทำการ worm เครื่องอีกครั้งหลังการเชื่อม
5. Hold : ไม่มีการปล่อยกระแส และ Moving Stand ไม่มีการเคลื่อนที่ หยุดให้แรงกด หรือจบกระบวนการเชื่อม

2.5 ปัจจัยกระบวนการเชื่อม



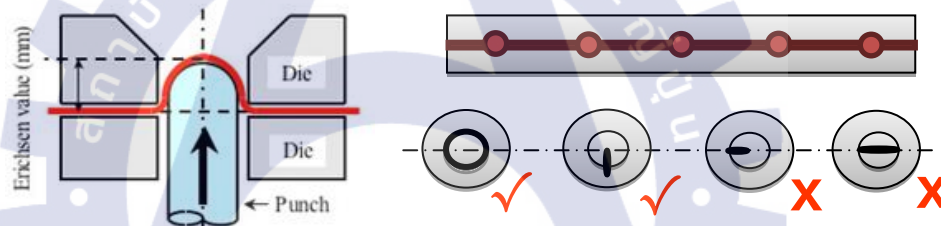
ภาพที่ 2.5 ปัจจัยกระบวนการเชื่อม

2.6 การทดสอบรอยเชื่อม

การทดสอบรอยเชื่อม เป็นการทดสอบขั้นสุดท้าย เพื่อหาค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสม และถูกต้องตรงตามมาตรฐานการผลิต อีกทั้งยังป้องกันความเสียหายต่างๆ ที่จะเกิดขึ้น โดยทั่วไป การทดสอบรอยเชื่อมมี 3 แบบ ดังนี้

2.6.1 การทดสอบ Erichsen Test

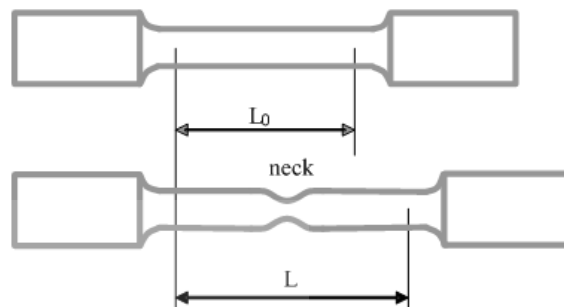
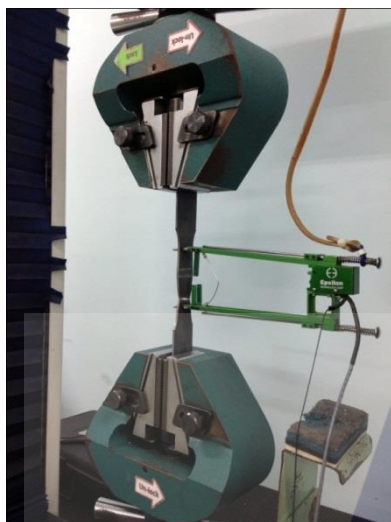
Erichsen Test คือ การทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อมและทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปของเหล็กแผ่นโดยใช้กระบอกไฮโดรลิกที่ปลายมีลักษณะทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 mm. ดันรอยเชื่อมให้มีความสูงประมาณ 20-30 mm. ทำให้แนวการเชื่อมเกิดการยืดตัวจนเกิดการแตกหัก โดยการทดสอบรอยเชื่อมเพื่อหาค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับ New Material



ภาพที่ 2.6 การทดสอบ Erichsen Test และแนวเชื่อมที่ทดสอบ

2.6.2 การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing)

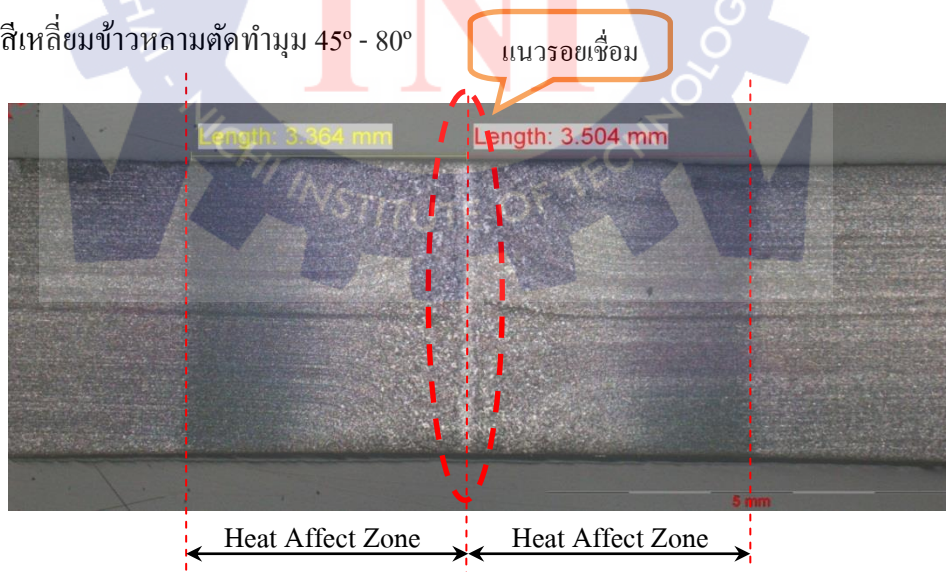
Tensile Test คือ การทดสอบความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานทดสอบ โดยชิ้นงานทดสอบจะถูกดึงให้ขาดออกจากกัน และค่าการทดสอบจะถูกบันทึกไว้ในเครื่องบันทึก (Recorder) ได้แก่ ค่าความต้านแรงดึง (Tensile Strength) ความต้านทานแรงดึงมากที่สุด (Tensile Load) ความเค้นคราก (Yield Stress) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Elongation) เป็นต้น โดยการทดสอบจะทำการทดสอบรอยเชื่อม เพื่อหาค่าความต้านทานแรงดึงบริเวณรอยเชื่อมมาเปรียบเทียบกับกับแรงดึงที่ใช้ในการผลิตจริง (180 N/mm^2)



ภาพที่ 2.7 การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing) และชิ้นงานทดสอบ

2.6.3 Microphotograph

Microphotograph คือ การตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยายระดับไมโครเมตร สามารถบันทึกด้วยกล้องดิจิทัล ซึ่งเป็นวิธีที่แม่นยำ สะดวก และรวดเร็ว โดยการทดสอบจะทำการตรวจสอบรอยเชื่อมของชิ้นงาน ที่ผ่านการจัดเรียบแล้ว เพื่อวิเคราะห์แนวรอยเชื่อม วิเคราะห์ Heat Affect Zone (HAZ) และวิเคราะห์การ Flow Material โดยรอยเชื่อมที่เหมาะสมนั้น แนวรอยเชื่อมต้องตั้งฉากกับ Surface และการ Flow Material ต้องมีลักษณะที่คล้ายกับรูปสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัดทำมุม $45^\circ - 80^\circ$



ภาพที่ 2.8 การตรวจสอบรอยเชื่อม ด้วยกระบวนการ Microphotograph กำลังขยาย 25 เท่า

3.2 รายละเอียดโครงการงาน

พัฒนา Condition การเชื่อมต่อ Coil สำหรับ New product (New material ชนิดความแข็งแรงสูง, Hi-tensile material for galvanize steel sheet) โดยมุ่งไปที่ 3 ตัวแปรหลักของการเชื่อม ซึ่งได้แก่ (1) Flash Time (2) Upset Length และ (3) Upset Time โดยมีแนวทางดำเนินการดังต่อไปนี้

- ศึกษาทฤษฎีเครื่องจักรและกระบวนการเชื่อม (ตามรายละเอียดที่กล่าวไว้ในบทที่ 2)
- กำหนด Conditions เชื่อมสำหรับการทดสอบ Offline
- ทำการทดสอบและปรับจูน Conditions เชื่อม Offline
- นำ Conditions ที่ผ่านการทดสอบและปรับจูนไปใช้ในการผลิตจริง
- ประเมินผล
- นำ Conditions ที่ผ่านการผลิตจริงและไม่เกิดปัญหารอยเชื่อม เข้า Process computer สำหรับเป็น Standard conditions เพื่อใช้งานต่อไป

อนึ่ง ก่อนที่จะเข้าปฏิบัติงาน ทางสถานประกอบการกำหนดให้ต้องอบรมความปลอดภัยทั้งในด้านการใช้งาน Safety ส่วนบุคคล ข้อกำหนดต่างๆ รวมถึง Past accident และทฤษฎี จนสามารถประเมินความเสี่ยง KYT ได้ด้วยตนเอง เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ดังรายละเอียดในเอกสารแนบ

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3.1 ศึกษาทฤษฎีเครื่องจักรและกระบวนการเชื่อม

การศึกษาทฤษฎีเครื่องจักร และกระบวนการเชื่อม (ตามรายละเอียดที่กล่าวไว้ในบทที่ 2) เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ และออกแบบการทดสอบหาค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับการผลิต เพื่อสามารถนำมาใช้ในกระบวนการผลิตที่สายการผลิต CDCM

3.3.2 กำหนด Condition เชื่อมสำหรับการทดสอบ Offline

การพัฒนาค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสมนั้น จะทำการทดสอบกับ Material ทั้งหมด 3 กลุ่ม ดังนี้

ตารางที่ 3.2 Material ที่ใช้สำหรับการทดสอบหาค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสม

Group	Material	Size	Carbon Equivalent
1.	Hi-tensile (RAU60)	3.2 x 1000 mm.	0.36-0.41
2.	NSGT ; AI-K (RBB)	3.0 x 1126 mm.	0.04-0.08
	NSGT ; AI-K (RBB)	3.5 x 1246 mm.	0.04-0.09
	NSGT ; AI-K (RBB)	4.0 x 1246 mm.	0.04-0.09
	NSGT ; SULC (RSC)	3.0 x 1135 mm.	0.02-0.05
	NSGT ; SULC (RSC)	4.0 x 1255 mm.	0.02-0.05
	NSGT ; SULC (RSF/RSD)	4.0 x 1135 mm.	0.01-0.03
	NSGT ; SULC (RSD35)	3.5 x 1128 mm.	0.03-0.05
	NSGT ; SULC (RSD35-BH)	3.5 x 1228 mm.	0.08-0.10
3.	NSGT ; AI-K (RAP40)	2.8 x 1255 mm.	0.21-0.27
	NSGT ; AI-K (RAP40)	4.0 x 1135 mm.	0.21-0.27
	NSGT ; AI-K (RAP45)	2.8 x 1255 mm.	0.30-0.35
	NSGT ; AI-K (RAP45)	4.0 x 1135 mm.	0.30-0.36
	NSGT ; Hi-tensile (RAU60)	2.3 x 1135 mm.	0.34-0.38
	NSGT ; Hi-tensile (RAP60)	3.2 x 1135 mm.	0.34-0.38
	NSGT ; Hi-tensile (RAW60 DP)	3.2 x 855 mm.	0.43-0.51

Material กลุ่มที่ 1

วัตถุประสงค์ : เพื่อหา Conditions การเชื่อมที่เหมาะสมให้กับ Material [Hi-tensile 60K , RAU60] ที่ไม่มี

ค่า Conditions การเชื่อมในการผลิต

สมมุติฐาน : ค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสม ควรมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่ม Material เดียวกัน

ตารางที่ 3.3 ค่า Conditions การเชื่อมของ Material ที่ใช้อ้างอิงสำหรับ Material กลุ่มที่ 1

Material	Thickness	Welding conditions		
		FT	UL	UT
Hi-Tensile (RAU60)	2.8 mm.	8.0	2.8	0.3

ตารางที่ 3.4 ค่า Conditions การเชื่อมทั้งหมด 15 Condition ที่ใช้สำหรับการทดสอบของ Material กลุ่มที่ 1

No.	Welding Conditions			Note
	Flash Time	Upset Length	Upset Time	
1	8	2.8	0.3	อ้างอิง
2	6	2.8	0.3	
3	8.5	2.8	0.3	
4	8.5	3.2	0.3	
5	8.5	3.8	0.3	
6	9	2.8	0.3	
7	9	3.2	0.3	
8	9	3.8	0.3	
9	10	4.0	0.3	
10	10	2.8	0.3	
11	10	3.0	0.3	
12	10	2.0	0.3	
13	10	4.0	0.4	
14	10	4.0	0.2	
15	12	2.8	0.3	

Material กลุ่มที่ 2

วัตถุประสงค์ : เพื่อหา Conditions การเชื่อมที่เหมาะสมให้กับ Material [Al-k, SULC] ของ
บริษัท NSGT ที่ไม่มี Conditions ในการผลิต

สมมุติฐาน : ถ้า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสม ควรมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่ม Material เดียวกัน

ตารางที่ 3.5 การปรับจูนค่า Conditions การเชื่อมที่ใช้ในการทดสอบของ Material กลุ่มที่ 2

Welding Conditions	
Flash Time (sec.)	± 2
Upset Length (mm.)	± 0.6
Upset time (sec.)	± 0.2

ตารางที่ 3.6 ค่า Conditions การเชื่อมที่ใช้ในการทดสอบของ Material กลุ่มที่ 2

NSGT			Connecting Coil			Welding Conditions		
No.	Material	Thk.	No.	Material	Thk.	FT	UL	UT
1	NSGT ; Al-K (RBB)	3.0	1.1	NSGT ; Al-K (RBB)	3.0	8.5	3.2	0.3
			1.2	NSGT ; Al-K (RBB)	3.5	9	3.7	0.3
			1.4	Al-K (RBB)	2.8	8	3	0.5
			1.6	Al-K (RBB)	3.5	9	3.7	0.3
2	NSGT ; Al-K (RBB)	3.5	2.1	NSGT ; Al-K (RBB)	3.5	10	4	0.5
			2.2	NSGT ; Al-K (RBB)	4.0	10	4	0.5
			2.10	Al-K (RBB)	3.5	10	4	0.5
3	NSGT ; Al-K (RBB)	4.0	3.1	NSGT ; Al-K (RBB)	4.0	12	4.2	0.5
			3.2	NSGT ; SULC (RSC)	4.0	11	4.2	0.5
			3.6	Al-K (RBB)	3.5	10	4	0.5
			3.10	Al-K (RAP45)	3.5	10	4	0.5

ตารางที่ 3.7 ค่า Conditions การเชื่อมที่ใช้ในการทดสอบของ Material กลุ่มที่ 2 (ต่อ)

NSGT			Connecting Coil			Welding Conditions		
No.	Material	Thk.	No.	Material	Thk.	FT	UL	UT
4	NSGT ; SULC (RSC)	3.0	4.1	NSGT ; SULC (RSC)	3.0	13	3.2	0.3
			4.4	AI-K (RBB)	3.0	9	3.7	0.3
5	NSGT ; SULC (RSC)	4.0	5.1	NSGT ; SULC (RSC)	4.0	23	4.6	0.5
			5.2	NSGT ; SULC (RSD)	4.0	23	4.6	0.3
			5.5	SULC (RSD)	3.5	21	4.4	0.5
			5.6	SULC (RSD)	4.0	21	4.6	0.5
6	NSGT ; SULC (RSD)	4.0	6.1	NSGT ; SULC (RSD)	4.0	23	4.6	0.5
7	NSGT ; SULC (RSD35)	3.5	7.1	NSGT ; SULC (RSD35)	3.5	21	4.4	0.5
			7.3	AI-K (RBB)	3.5	10	4	0.5
8	NSGT ; SULC (RSD35-BH)	3.5	8.1	NSGT ; SULC (RSD35-BH)	3.5	21	4.4	0.5
			8.2	AI-K (RBB)	3.5	9	3.7	0.3

Material กลุ่มที่ 3

วัตถุประสงค์ : เพื่อหา Condition การเชื่อมที่เหมาะสมให้กับ New Material [Hi-Tensile] ของบริษัท
NSGT ที่ไม่มี Conditions ในการผลิต

สมมุติฐาน : ค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสม ควรมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่ม Material เดียวกัน

ตารางที่ 3.8 การปรับจูนค่า Conditions การเชื่อมที่ใช้ในการทดสอบของ Material กลุ่มที่ 3

Welding Conditions	
Flash Time (sec.)	± 2
Upset Length (mm.)	± 0.4
Upset time (sec.)	± 0.2

ตารางที่ 3.9 ค่า Conditions การเชื่อมที่ใช้ในการทดสอบของ Material กลุ่มที่ 3

NSGT			Connect Coil			Welding Conditions		
No.	Material	Thk.	No.	Material	Thk.	FT	UL	UT
1	NSGT ; Al-K (RAP40)	2.8	1.1	NSGT ; Al-K (RAP40)	2.8	8	3	0.5
			1.2	NSGT ; Al-K (RAP45)	2.8	8	3	0.5
			1.8	Al-K (RBB)	3.5	9	3.7	0.3
2	NSGT ; Al-K (RAP45)	2.8	2.1	NSGT ; Al-K (RAP45)	2.8	8	3	0.5
			2.3	NSGT ; Hi-Ten (RAU60)	2.3	7.5	2.4	0.2
			2.7	Al-K (RBB)	3.5	9	3.7	0.3
3	NSGT ; Al-K (RAP40)	4.0	3.1	NSGT ; Al-K (RAP40)	4.0	12	4.2	0.5
			3.2	NSGT ; Al-K (RAP45)	4.0	12	4.2	0.5
			3.5	Al-K (RBB)	3.5	10	4	0.5
4	NSGT ; Al-K (RAP45)	4.0	4.1	NSGT ; Al-K (RAP45)	4.0	12	4.2	0.5
			4.4	Al-K (RBB)	3.0	10	4	0.5
5	NSGT ; Hi-Ten (RAU60)	2.3	5.1	NSGT ; Hi-Ten (RAU60)	2.3	5.5	2.8	0.3
			5.3	NSGT ; Al-K (RAP45)	2.8	7.5	2.4	0.2
6	NSGT ; Hi-Ten (RAU60)	3.2	6.1	NSGT ; Hi-Ten (RAU60)	3.2	9	3.8	0.3
			6.3	Al-K (RAP45)	2.8	8.5	3.8	0.3
			6.4	Al-K (RAP45)	3.5	9.5	4	0.3
7	NSGT ; Hi-Ten (RAW60 DP)	3.2	7.1	NSGT ; Hi-Ten (RAW60 DP)	3.2	12	3.5	0.3
			7.3	Al-K (RAP45)	3.5	12	3.5	0.5

3.3.3 ทำการทดสอบรอยเชื่อมและปรับจูน Conditions เชื่อม Offline

ทำการทดสอบและปรับจูนค่า Conditions การเชื่อมตามกำหนด จากนั้นนำไปทดสอบรอยเชื่อมเพื่อหารอยเชื่อมที่เหมาะสม โดยแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการ คือ

1. Erichsen Test เพื่อทดสอบหาค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสมที่สุด
2. Tensile Test เพื่อทดสอบหาค่าการรองรับแรงดึงของ Material ที่มีค่า Conditions การเชื่อมเหมาะสม แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าแรงดึงที่ใช้ในการผลิตจริง (180 N/mm^2)
3. Microphotograph เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ศึกษารอยเชื่อม ศึกษาการ Flow Material และศึกษา Heat Affect Zone (HAZ) ของ Material ที่มีค่า Conditions การเชื่อมเหมาะสม

3.3.4 นำ Condition ที่ผ่านการทดสอบและปรับจูนไปใช้ในการผลิตจริง

ค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสม นำไปผลิตจริงในสายการผลิต CDCM เพื่อปรับจูนให้เหมาะสมในการผลิต

3.3.5 ประเมินผล

ประเมินผลค่า Conditions การเชื่อมที่ได้จากการผลิตจริง แล้วนำมาเปรียบเทียบกับสมมุติฐาน และนำมาปรับใช้กับทฤษฎีการเชื่อม เพื่อนำมาเป็นพื้นฐานในการผลิต New product ในอนาคต

3.3.6 Set up welding condition standard

นำ Conditions การเชื่อมที่สามารถนำมาผลิตจริง โดยไม่เกิดปัญหารอยเชื่อมไม่สมบูรณ์ และ Strip break ระหว่างการผลิต จะนำมาเป็นค่า Conditions Standard เพื่อ Set Up ค่า Conditions การเชื่อมในเครื่อง Welder

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน การวิเคราะห์และสรุปผลต่างๆ

4.1 ผลการดำเนินงาน

การทดสอบหาค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสม โดยใช้กระบวนการเชื่อมแบบ Flash Butt Welding และทำการทดสอบคุณสมบัติทางกล เพื่อตรวจสอบรอยเชื่อม ทำให้ได้ผลการทดสอบดังนี้

4.1.1 ผลการทดสอบ

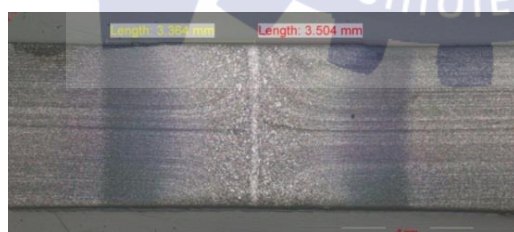
ผลการทดสอบ Material กลุ่มที่ 1 ; Welding conditions tune up for Hi-tensile new material

วัตถุประสงค์ : เพื่อหา Conditions การเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับ Material กลุ่มที่ 1

จากการทดสอบหาค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการผลิต โดยทดสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนการ Erichsen Test และ ตรวจสอบโครงสร้างของ Material ด้วยกระบวนการ Microphotograph ได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบค่า Erichsen Test ของ Material กลุ่มที่ 1

No.	Welding Conditions			Erichsen Test (bar)					Note
	FT	UL	UT	WS	$\frac{1}{4}$ WS	CT	$\frac{3}{4}$ DS	DS	
4	8.5	3.2	0.3	280	280	280	280	280	ไม่แตกตามรอยเชื่อม
5	8.5	3.8	0.3	280	280	290	290	280	ไม่แตกตามรอยเชื่อม



ภาพขยายของรอยเชื่อมที่ดี (No.5)



ภาพขยายของรอยเชื่อมที่แตก

ภาพที่ 4.1 ผลการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนการ Microphotograph ของ Material กลุ่มที่ 1

สรุปผลการทดสอบ : จากการทดสอบรอยเชื่อมพบว่า

1. Erichsen Test ; No. 4,5 เป็น Conditions ที่เหมาะสมเนื่องจากไม่มีการแตกตามรอยเชื่อม
2. Microphotograph ; แนวเชื่อมมีความชัดเจนเป็นเส้นตรง และมีการ flow material ในลักษณะที่คล้ายกับรูปสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัด รวมถึงมีระยะของ Heat effected zone ที่ค่อนข้างแคบ

ดังนั้น ค่า Conditions การเชื่อม (FT:UL:UT = 8.5:3.8:0.3 , 8.5:3.2:0.3) สามารถใช้ในการเชื่อมต่อ Coil Hi-Tensile 60K, Thickness 3.2 mm. ได้

ผลการทดสอบ Material กลุ่มที่ 2 ; Welding conditions for new material [Al-k, SULC] of NSGT

วัตถุประสงค์ : เพื่อหา Conditions การเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับ Material กลุ่มที่ 2

จากการทดสอบหาค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้ในการผลิต โดยการทดสอบรอยเชื่อม 3 กระบวนการ คือ

1. ทดสอบแบบทำลายที่เรียกว่า "Erichsen Test"
2. ทดสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนการ Tensile Test
3. ตรวจสอบโครงสร้างของ Material ด้วยกระบวนการ Microphotograph



ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบค่า Erichsen Test และ Tensile Test ของ Material กลุ่มที่ 2

NSGT			Connecting Coil			Welding Conditions			Result	Tensile Test							
No.	Material	Thickness	No.	Material	Thickness	FT	UL	UT		Tensile Stress (N/mm ²)				Tensile Load (N)			
										WS	CT	DS	Mean	WS	CT	DS	Mean
1	NSGT ; Al-K (RBB)	3.0 mm.	1.1	NSGT ; Al-K (RBB)	3.0 mm.	8.5	3.2	0.3	✓	319.4	323.9	322.4	321.9	24,000	24,270	24,120	24,130
			1.2	NSGT ; Al-K (RBB)	3.5 mm.	9	3.7	0.3	✓	325.7	331.4	324.5	327.2	24,350	24,790	24,320	24,487
			1.4	Al-K (RBB)	2.8 mm.	8.5	3.2	0.3	✓	332.2	337.3	333.8	334.4	23,910	24,260	23,940	24,037
			1.6	Al-K (RBB)	3.5 mm.	9	3.7	0.3	✓	318.8	315.0	310.4	314.7	23,820	23,950	23,750	23,840
2	NSGT ; Al-K (RBB)	3.5 mm.	2.1	NSGT ; Al-K (RBB)	3.5 mm.	8	4	0.5	✓	310.2	313.4	311.0	311.5	26,410	26,790	26,490	26,563
			2.2	NSGT ; Al-K (RBB)	4.0 mm.	10	4.6	0.5	✓	311.0	323.2	316.2	316.8	27,910	28,380	27,770	28,020
			2.10	Al-K (RBB)	3.5 mm.	10	4	0.5	✓	314.1	318.5	312.3	315.0	26,830	27,210	26,690	26,910
3	NSGT ; Al-K (RBB)	4.0 mm.	3.1	NSGT ; Al-K (RBB)	4.0 mm.	12	4.2	0.5	✓	312.8	311.8	309.9	311.5	31,330	31,380	31,330	31,347
			3.2	NSGT ; SULC (RSC))	4.0 mm.	11	3.6	0.5	✓	312.2	299.4	305.7	305.8	30,590	29,610	30,080	30,093
			3.6	Al-K (RBB)	3.5 mm.	10	4	0.5	✓	324.1	324.0	324.1	324.1	28,500	28,810	28,740	28,683
			3.10	Al-K (RAP45)	3.5 mm.	12	4	0.5	✓	343.8	338.5	339.5	340.6	31,440	31,500	31,410	31,450
4	NSGT ; SULC (RSC)	3.0 mm.	4.1	NSGT ; SULC (RSC)	3.0 mm.	13	3.2	0.3	✓	300.6	291.0	290.1	293.9	21,860	21,460	21,600	21,640
			4.4	Al-K (RBB)	3.0 mm.	9	3.7	0.3	✓	310.1	307.3	299.4	305.6	22,650	22,620	21,940	22,403
5	NSGT ; SULC (RSC)	4.0 mm.	5.1	NSGT ; SULC (RSC)	4.0 mm.	23	4.6	0.5	✓	301.2	290.9	293.9	295.3	29,550	29,010	29,030	29,197
			5.2	NSGT ; SULC (RSD)	4.0 mm.	23	4.6	0.3	✓	300.2	286.4	296.1	294.2	30,220	29,720	29,500	29,813
			5.5	SULC (RSD)	3.5 mm.	19	4.4	0.5	✓	311.0	312.6	308.1	310.6	28,360	28,720	28,120	28,400
			5.6	SULC (RSD)	4.0 mm.	21	4.6	0.5	✓	305.1	298.5	297.2	300.3	29,810	29,970	29,430	29,737
6	NSGT ; SULC (RSD)	4.0 mm.	6.1	NSGT ; SULC (RSD)	4.0 mm.	23	4.6	0.5	✓	293.5	287.9	285.0	288.8	29,680	29,120	28,420	29,073
7	NSGT ; SULC (RSD35)	3.5 mm.	7.1	NSGT ; SULC (RSD35)	3.5 mm.	21	4.4	0.5	✓	319.6	335.4	325.5	326.8	29,280	30,170	29,450	29,633
			7.3	Al-K (RBB)	3.5 mm.	8	4	0.5	✓	317.4	317.7	315.1	316.7	28,160	28,690	28,460	28,437
8	NSGT ; SULC (RSD35-BH)	3.5 mm.	8.1	NSGT ; SULC (RSD35-BH)	3.5 mm.	19	4.4	0.5	✓	333.7	341.9	335.6	337.1	30,120	31,140	30,330	30,530
			8.2	Al-K (RBB)	3.5 mm.	9	3.7	0.3	✓	318.1	324.6	323.3	322.0	28,550	28,960	28,950	28,820

Note : ✓ ไม่แตก สามารถใช้ในการผลิตจริงได้

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนการ Microphotograph ของ Material กลุ่มที่ 2

Microphotograph	เชื่อมต่อ Coil ลูกเดียวกัน		เชื่อมต่อคนละ Coil					
1. NSGT ; Al-K (RBB) Thickness 3.0 mm.	1.1		1.2		1.4		1.6	
2. NSGT ; Al-K (RBB) Thickness 3.5 mm.	2.1		2.2		2.10			
3. NSGT ; Al-K (RBB) Thickness 4.0 mm.	3.1		3.2		3.6		3.10	
4. NSGT ; SULC (RSC) Thickness 3.0 mm.	4.1		4.4					
5. NSGT ; SULC (RSC) Thickness 4.0 mm.	5.1		5.2		5.5		5.6	
6. NSGT ; SULC (RSD) Thickness 4.0 mm.	6.1							
7. NSGT ; SULC (RSD35) Thickness 3.5 mm.	7.1		7.3					
8. NSGT ; SULC (RSD35-BH) Thickness 3.5 mm.	8.1		8.2					

สรุปผลการทดสอบ : จากการทดสอบรอยเชื่อมพบว่า

1. Erichsen Test ; Conditions การเชื่อมที่ได้ไม่มีการแตกตามรอยเชื่อม
2. Tensile Test ; ค่า Tensile Stress มีค่าสูงกว่าค่าที่ใช้ผลิต (180 N/mm^2) และ ค่า Tensile Load มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน JIS
3. Microphotograph ;
 - การเชื่อมต่อ Coil ลูกเดียวกัน : แนวเชื่อมมีความชัดเจนเป็นเส้นตรง แนวเชื่อมมีความชัดเจนเป็นเส้นตรง และระยะ Heat effected zone ที่ค่อนข้างแคบ
 - การเชื่อมต่อกัน Coil : Material ที่มีความแข็งแรงมากกว่าจะดัน Material ที่มีความแข็งแรงน้อยกว่า ทำให้แนวรอยเชื่อมไม่เป็นแนวตั้งฉากกับผิว แต่มีระยะ Heat effected zone ที่ค่อนข้างแคบ

ผลการทดสอบ Material กลุ่มที่ 3 ; Welding conditions for new material [Hi-Tensile] of NSGT

วัตถุประสงค์ : เพื่อหา Conditions การเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับ Material กลุ่มที่ 3

จากการทดสอบหาค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้ในการผลิต โดยการทดสอบรอยเชื่อม 3 กระบวนการ คือ

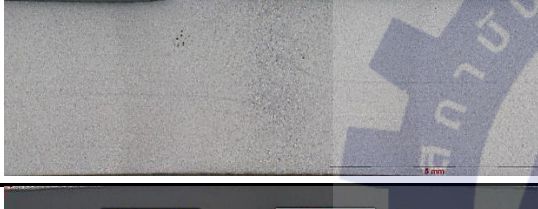
1. ทดสอบแบบทำลายที่เรียกว่า "Erichsen Test"
2. ตรวจสอบค่า Tensile ด้วยกระบวนการ Tensile Test
3. ตรวจสอบโครงสร้างของ Material ด้วยกระบวนการ Microphotograph

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบค่า Erichsen Test และ Tensile Test ของ Material กลุ่มที่ 3

NSGT			Connecting Coil			Welding Conditions				Result	Tensile Test							
No.	Material	Thickness	No.	Material	Thickness	FT	UL	UT	Gauge bar		Tensile Stress (N/mm ²)				Tensile Load (N)			
1	NSGT ; Hi-Tensile (RAP40)	2.8 mm.	1.1	NSGT ; Hi-Tensile (RAP40)	2.8 mm.	8	3	0.7	3	√	426.2	423.3	404.3	417.9	29,660	29,530	28,280	29,157
			1.2	NSGT ; Hi-Tensile (RAP45)	2.8 mm.	8	3	0.7	3	√	421.5	424.9	417.1	421.2	29,470	29,900	29,670	29,680
			1.8	Al-K (RBB)	3.5 mm.	9	3.7	0.3	2	√	399.4	3908	391.4	393.9	28,530	28,210	27,890	28,210
2	NSGT ; Hi-Tensile (RAP45)	2.8 mm.	2.1	NSGT ; Hi-Tensile (RAP45)	2.8 mm.	8	3	0.5	3	√	466.2	458.7	409.4	444.8	33,430	32,640	29,410	31,827
			2.3	NSGT ; Hi-Tensile (RAU60)	2.3 mm.	7.5	2.4	0.2	3	√	596.5	596.6	589.3	594.1	35,600	35,870	35,710	35,727
			2.7	Al-K (RBB)	3.5 mm.	9	3.7	0.3	2	√	415.6	410.7	417.4	414.6	29,650	29,690	29,660	29,667
3	NSGT ; Hi-Tensile (RAP40)	4.0 mm.	3.1	NSGT ; Hi-Tensile (RAP40)	2.8 mm.	10	4.2	0.5	1	√	430.5	430.9	432.8	431.4	43,810	43,800	44,000	43,870
			3.2	NSGT ; Hi-Tensile (RAP45)	2.8 mm.	12	4.2	0.5	1	√	438.5	439.5	439.6	439.2	43,960	44,030	44,370	44,120
			3.5	Al-K (RBB)	3.5 mm.	10	4	0.5	2	√	333.1	333.3	331.2	332.5	29,220	30,030	29,730	29,660
4	NSGT ; Hi-Tensile (RAP45)	4.0 mm.	4.1	NSGT ; Hi-Tensile (RAP45)	2.8 mm.	12	4.2	0.5	1	√	483.6	479.7	481.1	481.5	48,570	48,510	47,930	48,337
			4.4	Al-K (RBB)	3.5 mm.	10	4	0.5	2	√	333.9	337.9	332.9	334.9	29,630	30,060	29,860	29,850
5	NSGT ; Hi-Tensile (RAU60)	2.3 mm.	5.1	NSGT ; Hi-Tensile (RAU60)	2.3 mm.	7	2.4	0.3	3	√	639.1	622.6	632.0	631.2	38,080	37,580	38,060	37,907
			5.2	Hi-Tensile (RAP45)	2.6 mm.	7.5	2.6	0.3	3	√	-	-	-	-	-	-	-	-
			5.3	Hi-Tensile (RAP45)	2.8 mm.	7.5	2.4	0.3	3	√	589.6	589.4	605.3	594.8	34,480	35,670	35,250	35,133
			5.4	Hi-Tensile (RAP60)	2.3 mm.	7.5	2.6	0.3	3	√	-	-	-	-	-	-	-	-
6	NSGT ; Hi-Tensile (RAU60)	3.2 mm.	6.1	NSGT ; Hi-Tensile (RAU60)	3.2 mm.	9	3.8	0.3	2	√	625.8	643.3	650.8	649.0	53,020	51,970	53,050	52,680
			6.2	NSGT ; Hi-Tensile (RAW60 DP)	3.2 mm.	7	2.7	0.3	2	√	-	-	-	-	-	-	-	-
			6.3	Hi-Tensile (RAP45)	2.8 mm.	8.5	3.2	0.3	3	√	480.0	425.4	490.2	465.2	37,080	31,290	36,050	34,807
			6.4	Hi-Tensile (RAP45)	3.5 mm.	9.5	3.9	0.3	2	√	528.3	547.3	534.1	536.6	43,270	44,320	43,380	43,657
7	NSGT ; Hi-Tensile (RAW60 DP)	3.2 mm.	7.1	NSGT ; Hi-Tensile (RAW60 DP)	3.2 mm.	7	2.8	0.3	2	√	609.1	667.4	619.1	631.9	49,740	54,830	51,330	51,967
			7.2	Hi-Tensile (RAP45)	2.8 mm.	8	2.6	0.3	3	√	-	-	-	-	-	-	-	-
			7.3	Hi-Tensile (RAP45)	3.5 mm.	8	3.2	0.3	2	√	508.8	521.6	513.3	514.6	42,720	43,290	42,470	42,827

Note : √ ไม่แตก สามารถใช้ในการผลิตจริงได้

ตารางที่ 4.5 ผลการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนการ Microphotograph ของ Material กลุ่มที่ 3

Microphotograph	เชื่อมต่อ Coil เดียวกัน		เชื่อมต่อกันละ Coil			
1. NSGT ; Hi-Tensile (RAP40) Thickness 2.8 mm.	1.1		1.2		1.8	
2. NSGT ; Hi-Tensile (RAP45) Thickness 2.8 mm.	2.1		2.3		2.7	
3. NSGT ; Hi-Tensile (RAP40) Thickness 4.0 mm.	3.1		3.2		3.5	
4. NSGT ; Hi-Tensile (RAP45) Thickness 4.0 mm.	4.1		4.4			
5. NSGT ; Hi-Tensile (RAU60) Thickness 2.3 mm.	5.1		5.3			
6. NSGT ; Hi-Tensile (RAU60) Thickness 3.2 mm.	6.1		6.3		6.4	
7. NSGT ; Hi-Tensile (RAW60 DP) Thickness 3.2 mm.	7.1		7.3			

สรุปผลการทดสอบ : จากการทดสอบรอยเชื่อมพบว่า

1. Erichsen Test ; Conditions การเชื่อมที่ได้ไม่มีการแตกตามรอยเชื่อม
2. Tensile Test ; ค่า Tensile Stress มีค่าสูงกว่าค่าที่ใช้ผลิต (180 N/mm^2) และ ค่า Tensile Load มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน JIS
3. Microphotograph ;
 - การเชื่อมต่อ Coil ลูกเดียวกัน : แนวเชื่อมมีความชัดเจนเป็นเส้นตรง และมีการ flow material ในลักษณะที่คล้ายกับรูปสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัด รวมถึงมีระยะของ Heat effected zone ที่ค่อนข้างแคบ
 - การเชื่อมต่อคนละ Coil : Material ที่มีความแข็งมากกว่าจะดัน Material ที่มีความแข็งน้อยกว่า ทำให้แนวรอยเชื่อมไม่เป็นแนวตั้งฉากกับผิว แต่มีระยะ Heat effected zone ที่ค่อนข้างแคบ



4.1.2 ผลการผลิต

ผลการผลิต Material กลุ่มที่ 1 ; Follow up welding conditions tune up for Hi-tensile new material

วัตถุประสงค์ : นำค่า Conditions ที่รอยเชื่อมไม่แตก จากการทดสอบ Material กลุ่มที่ 1 มาทำการผลิต เพื่อประเมินค่า Conditions โดยนำไปทดสอบรอยเชื่อม 3 กระบวนการ คือ

1. ทดสอบแบบทำลายที่เรียกว่า "Erichsen Test"
2. ตรวจสอบค่า Tensile ด้วยกระบวนการ Tensile Test
3. ตรวจสอบโครงสร้างของ Material ด้วยกระบวนการ Microphotograph

ตารางที่ 4.6 ผลการผลิตของ Material กลุ่มที่ 1 โดยนำมาทดสอบด้วยกระบวนการ Erichsen Test

No.	Welding Conditions			Erichsen Test (bar)					Note	
	FT	UL	UT	WS	$\frac{1}{4}$ WS	CT	$\frac{3}{4}$ DS	DS		
4	8.5	3.2	0.3	230	260	290	280	220	แตกตามรอยเชื่อม 5 รอย	NG
5	8.5	3.8	0.3	280	280	220	280	280	แตกตามรอยเชื่อม 3 รอย	NG

ตารางที่ 4.7 ผลการผลิตของ Material กลุ่มที่ 1 โดยนำมาทดสอบด้วยกระบวนการ Tensile Test

ครั้งที่	Welding Conditions			Tensile Test							
				TS Stress (N/mm ²)				TS Load (N)			
	FT	UL	UT	WS	CT	DS	Mean	WS	CT	DS	Mean
4	8.5	3.2	0.3	625.5	618.8	630.1	624.8	52,100	52,510	52,230	52,280
5	8.5	3.8	0.3	635.9	641.6	550.1	609.2	52,640	52,810	45,680	50,376.7



No. 4



No. 5

ภาพที่ 4.2 ผลการผลิตของ Material กลุ่มที่ 1 โดยนำมาทดสอบด้วยกระบวนการ Microphotograph

สรุปผลการผลิต : จากการผลิตพบว่า

1. Erichsen Test ; เกิดการแตกตามรอยเชื่อม ทั้ง 2 Conditions
2. Tensile Test ; ค่า Tensile Stress มีค่าสูงกว่าค่าที่ใช้ผลิต (180 N/mm^2) และ ค่า Tensile Load มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน JIS
3. Microphotograph ; แนวรอยเชื่อมเห็นไม่ชัดเจน และการ flow material คล้ายรูปสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัด แต่มีมุมที่น้อยกว่า 45°

ผลการผลิต Material กลุ่มที่ 2 ; Follow up welding conditions for material [Al-k,SULC] of NSGT

วัตถุประสงค์ : นำค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสม จากการทดสอบ Material กลุ่มที่ 2 นำมาใช้ในการผลิตจริง เพื่อประเมินผล และทำเป็น Conditions Standard ในการผลิตต่อไป

การผลิต : ผลิตทั้งหมดจำนวน 3,997.93 Ton.

- ผลิตวันที่ 2-4 สิงหาคม 2556 จำนวน 3017.68 Ton.
- ผลิตวันที่ 8 สิงหาคม 2556 จำนวน 294.14 Ton.
- ผลิตวันที่ 13 สิงหาคม 2556 จำนวน 170.94 Ton.
- ผลิตวันที่ 20 สิงหาคม 2556 จำนวน 406.33 Ton.
- ผลิตวันที่ 3 กันยายน 2556 จำนวน 108.84 Ton.

สรุปผลการผลิต : จากการผลิต ไม่พบปัญหาการเชื่อมไม่สมบูรณ์ และ Strip break ระหว่างการผลิต ดังนั้นสามารถใช้ Conditions การเชื่อมที่ทำการทดสอบจาก Material กลุ่มที่ 2 ได้

ผลการผลิต **Material กลุ่มที่ 2** ; Follow up welding conditions for material [Hi-Tensile] of NSGT

วัตถุประสงค์ : นำค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสม จากการทดสอบ Material กลุ่มที่ 3 นำมาใช้
ในการผลิตจริง เพื่อประเมินผล และทำเป็น Conditions Standard ในการผลิตต่อไป

การผลิต : ผลิตทั้งหมดจำนวน 342.42 Ton.

- ผลิตวันที่ 3 กันยายน 2556 จำนวน 110.35 Ton.
- ผลิตวันที่ 5 กันยายน 2556 จำนวน 90.9 Ton.
- ผลิตวันที่ 6 กันยายน 2556 จำนวน 141.17 Ton.

สรุปผลการผลิต : จากการผลิต ไม่พบปัญหารอยเชื่อมไม่สมบูรณ์ และ Strip break ระหว่างการผลิต
ดังนั้นสามารถใช้ Conditions การเชื่อมที่ทำการทดสอบจาก Material กลุ่มที่ 3 ได้



4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การทดสอบหาค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสม การทดสอบรอยเชื่อม และการผลิตจริง นำผลดำเนินงานที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ Material กลุ่มที่ 1 ; Welding conditions tune up for Hi-tensile new material

วิเคราะห์จาก Material

วัตถุประสงค์ : เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง Material กับ Conditions การเชื่อม

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ผลของค่า Conditions การเชื่อมของ Material กลุ่มที่ 1

No.	Material	Carbon Equivalent	Thickness	Welding Conditions		
				FT	UL	UT
อ้างอิง	RAU60	0.36-0.41	2.8 mm.	8.0	2.8	0.3
4	RAU60	0.36-0.41	3.2 mm.	8.5	3.2	0.3
5	RAU60	0.36-0.41	3.2 mm.	8.5	3.8	0.3

สรุปผลการวิเคราะห์ :

1. Carbon Equivalent ; Material อ้างอิง = Material ทดสอบ
2. Thickness ; Material อ้างอิง < Material ทดสอบ

ค่า Thickness ของ Material ทดสอบมีค่ามาก ต้องใช้เวลาในการหลอมมากกว่า (Flash Time) และใช้ระยะการ Upset ที่มากขึ้น (Upset Length)

Thickness ↑	Flash Time ↑	Upset Length ↑
-------------	--------------	----------------

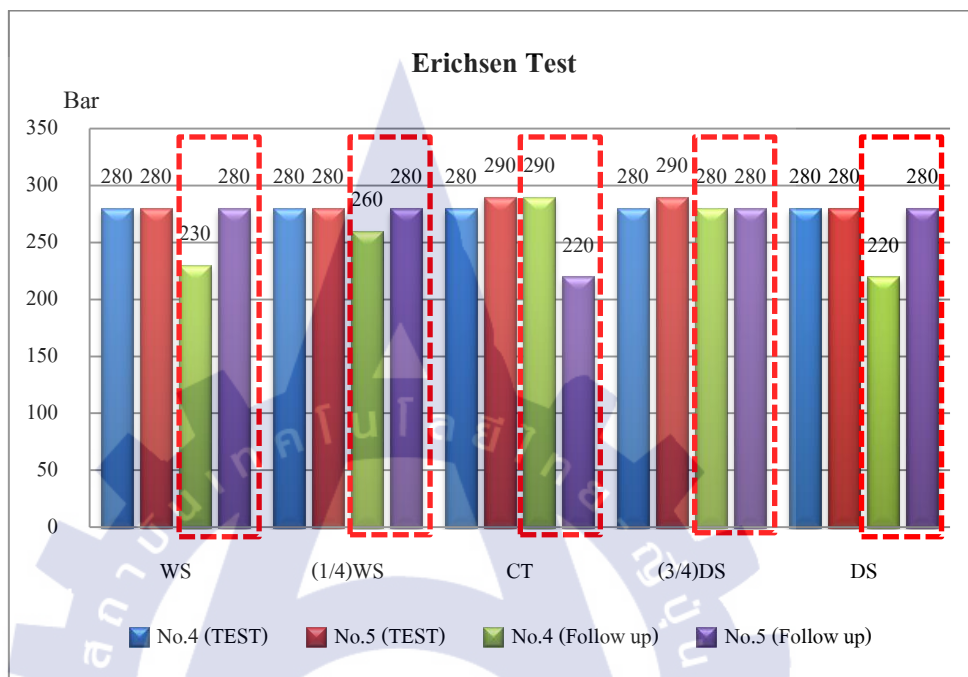
ดังนั้น นำมาสรุปเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

Thickness $\propto$ Flash Time $\propto$ Upset Length

วิเคราะห์จากการทดสอบรอยเชื่อม

วัตถุประสงค์ : เพื่อเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบกับการผลิตจริง

1. Erichsen Test



ภาพที่ 4.3 กราฟ Erichsen Test ของ Material กลุ่มที่ 1

สรุปผลการวิเคราะห์ : จากการทดสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนการ Erichsen Test นั้น เมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบกับค่า Pressure Gauge ในการทดสอบมีค่าสูงกว่าการผลิตจริง โดยใช้ค่า Conditions การเชื่อมเดียวกัน เนื่องมาจาก

1.1 Chemical Composition มีค่าต่างกัน

Test 1 ; C0112463 : C0112463 Follow up ; C0112471 : C0111497

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ผลค่า Chemical Composition ของ Material กลุ่มที่ 1

	Coil	Chemical Composition (%wt)							
		C	Si	Mn	P	S	Al	N	Nb
Test	C0112463	0.11	0.1	1.61	0.009	0.005	0.012	0.0023	0.036
Follow up	C0112471	0.123	0.1	1.6	0.011	0.006	0.014	0.0028	0.033
	C0112497	0.115	0.1	1.62	0.01	0.004	0.013	0.0018	0.036

1.2 Electrode die

Test 1 ; มีการเปลี่ยน Electrode die ก่อนการทดสอบ

Follow up ; ไม่มีการเปลี่ยน Electrode Die ทำให้มีสิ่งสกปรกบน Electrode die

1.3 Moving Stand

Test 1 ; Moving Stand มีเคลื่อนที่ตรงตามมาตรฐาน

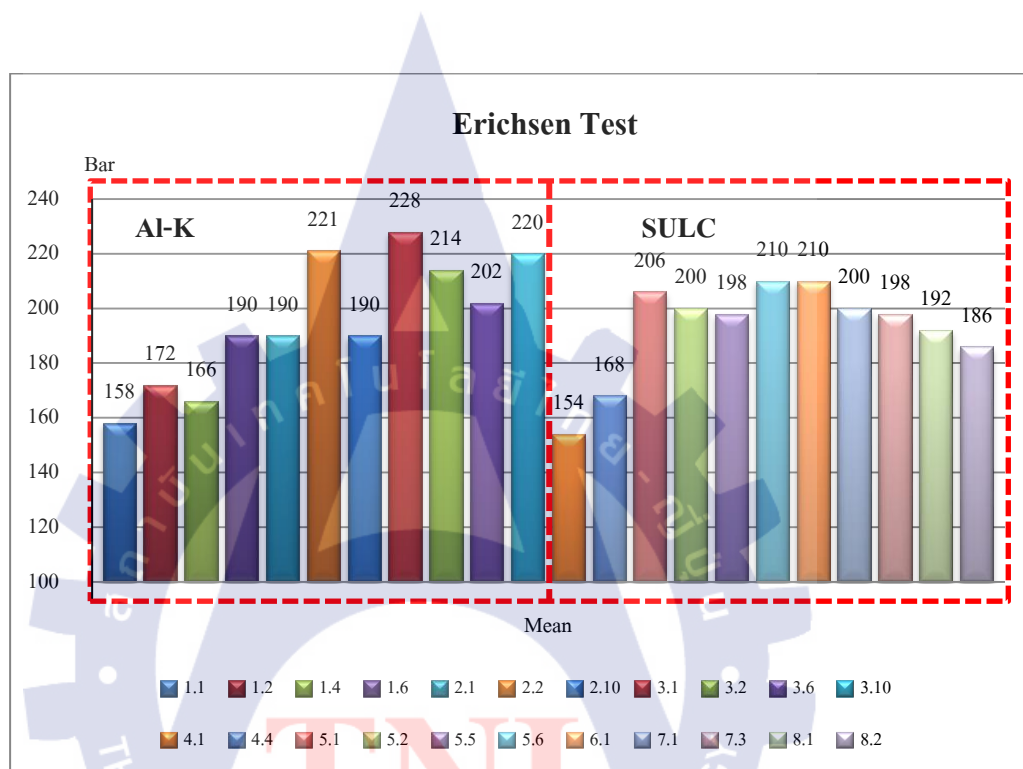
Follow up ; Moving Stand มีเคลื่อนที่ไม่เท่ากัน (WS = 60.2 mm. DS = 59.8 mm.)

4.2.1 การวิเคราะห์ Material กลุ่มที่ 2 ; Welding conditions for material [Al-k, SULC] of NSGT

วิเคราะห์จากการทดสอบรอยเชื่อม

วัตถุประสงค์ : เพื่อเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบกับการผลิตจริง

1. Erichsen Test



ภาพที่ 4.4 กราฟ Erichsen Test ของ Material กลุ่มที่ 2

สรุปผลการวิเคราะห์ : การทดสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนกร Erichsen Test เปรียบเทียบดังนี้

1.1 Chemical Composition

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ผลค่า Chemical Composition ของ Material กลุ่มที่ 2

Material	Composition (%wt)							C.E.
	C	Si	Mn	P	S	Ai	N	
Al-K	0.015-0.045	≤ 0.03	0.15-0.25	≤ 0.02	≤ 0.01	0.01-0.08	≤ 0.0004	0.04-0.87
SULC	≤ 0.0003	≤ 0.03	0.05-0.2	≤ 0.02	≤ 0.01	0.01-0.04	≤ 0.0003	0.01-0.03

การทดสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนกร Erichsen Test นั้น Material ; Al-K มีค่า Pressure Gauge ที่สูงกว่า Material ; SULC โดยที่ Thickness เดียวกัน เนื่องจากค่า C.E. มากกว่าทำให้มีความแข็งแรงที่มากกว่า

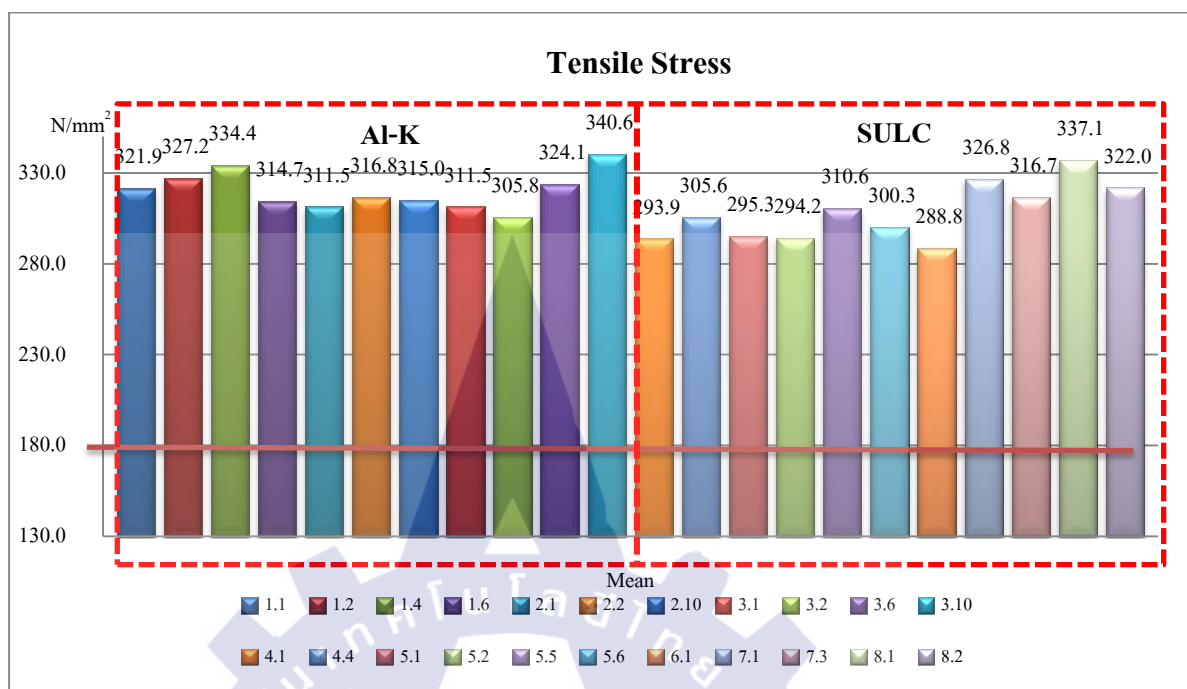
1.2 Thickness

ค่า Thickness มากทำให้ค่า Pressure Gauge สูง แต่ถ้าวค่า Thickness น้อยทำให้ค่า Pressure Gauge ต่ำ โดยที่ Material เดียวกัน ดังนั้นค่า Thickness มีผลต่อความแข็งแรง เช่นเดียวกับค่า Chemical Composition

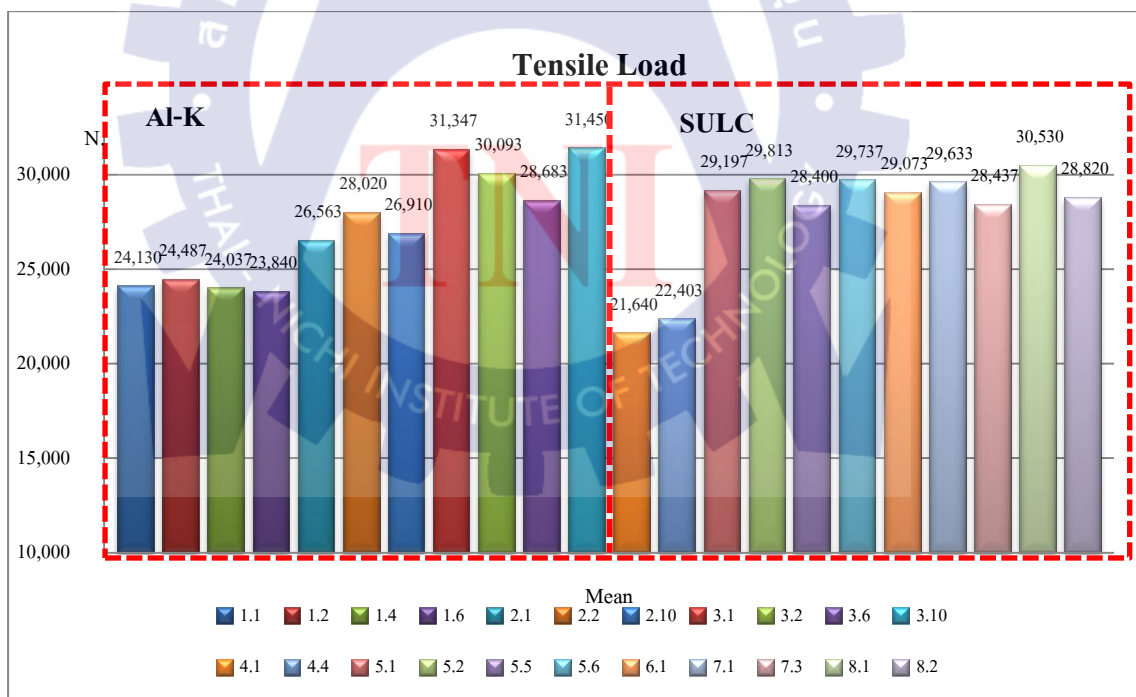
ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ค่า Thickness กับค่า Pressure Gauge ของ Material กลุ่มที่ 2

Material	Thickness	Note	Pressure Gauge	Note
Al-k	3.0 mm.	มาก	158 bar	สูง
Al-k	4.0 mm	น้อย	228 bar	ต่ำ

2. Tensile Test



ภาพที่ 4.5 กราฟ Tensile Stress ของ Material กลุ่มที่ 2



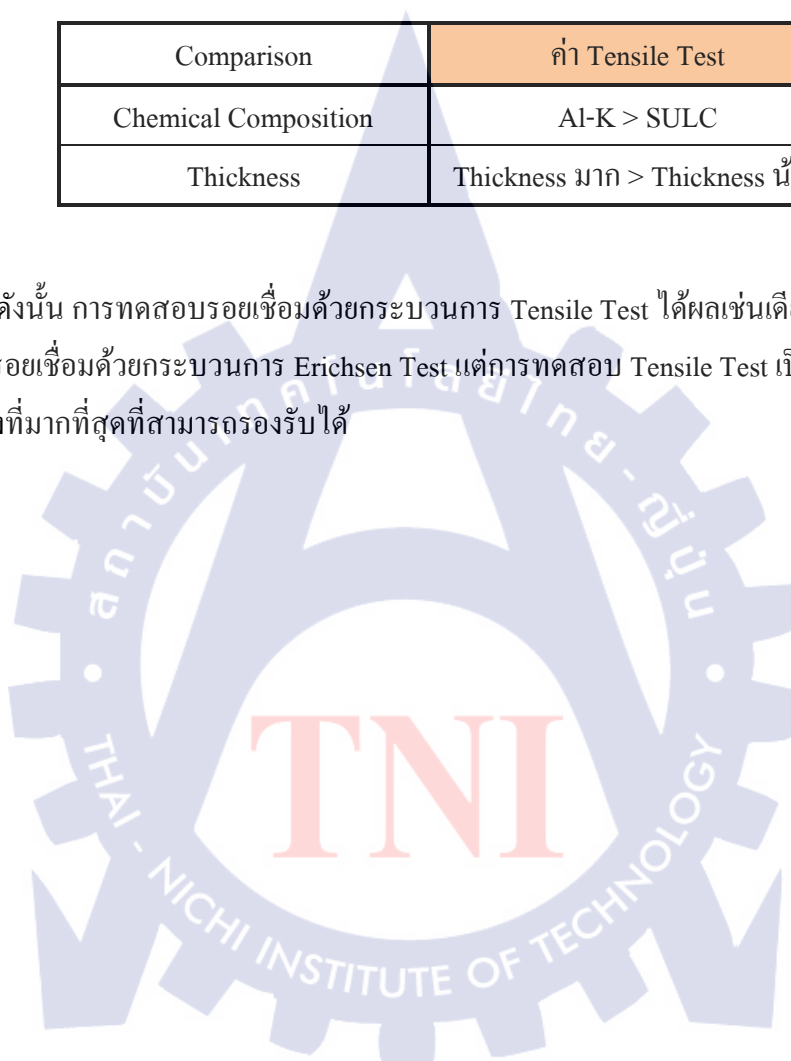
ภาพที่ 4.6 กราฟ Tensile Load ของ Material กลุ่มที่ 2

สรุปผลการวิเคราะห์ : การทดสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนการ Tensile Test ค่า Tensile Stress มีค่าเกิน 180 N/mm^2 (ซึ่งเป็นมาตรฐานในการผลิต) และสามารถนำมาเปรียบเทียบกับ

ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์ค่า Chemical Composition และค่า Thickness กับค่า Tensile Test ของ Material กลุ่มที่ 2

Comparison	ค่า Tensile Test
Chemical Composition	AI-K > SULC
Thickness	Thickness มาก > Thickness น้อย

ดังนั้น การทดสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนการ Tensile Test ได้ผลเช่นเดียวกันกับการทดสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนการ Erichsen Test แต่การทดสอบ Tensile Test เป็นการทดสอบเพื่อหาแรงดึงที่มากที่สุดที่สามารถรองรับได้

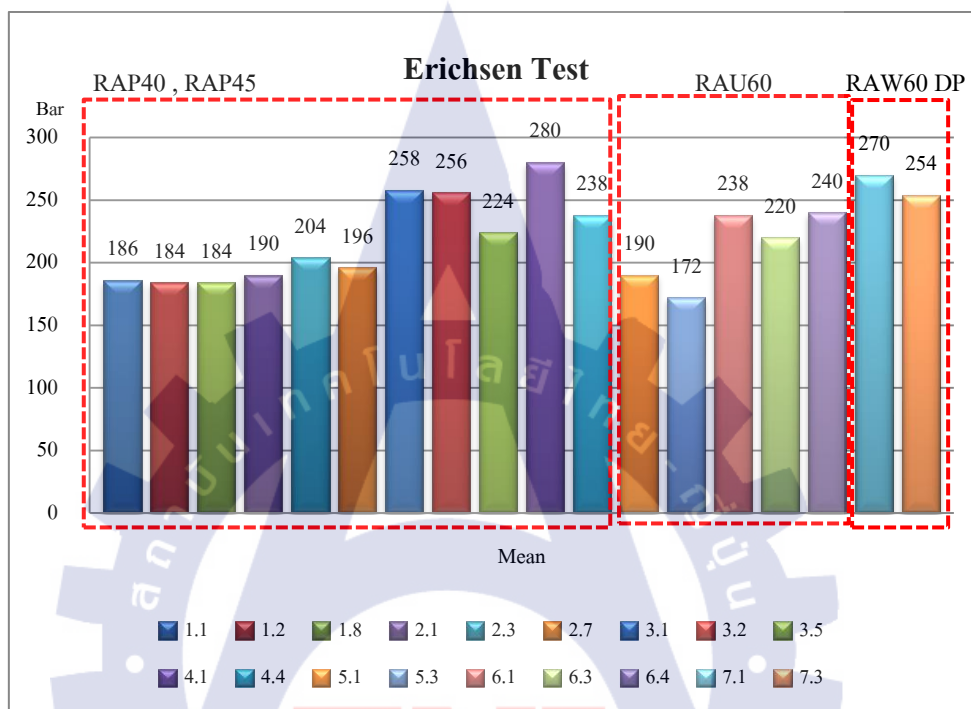


4.2.1 การวิเคราะห์ Material กลุ่มที่ 3 ; Welding conditions for new material [Hi-Tensile] of NSGT

วิเคราะห์จากการทดสอบรอยเชื่อม

วัตถุประสงค์ : เพื่อเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบกับการผลิตจริง

1. Erichsen Test



ภาพที่ 4.7 กราฟ Erichsen Test ของ Material กลุ่มที่ 3

สรุปผลการวิเคราะห์ : การทดสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนกร Erichsen Test เปรียบเทียบดังนี้

1.1 Chemical Composition

ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์ค่า Chemical Composition ของ Material กลุ่มที่ 3

Material	Composition (%wt)							C.E.
	C	Si	Mn	P	S	Ai	N	
RAP40	0.07-0.09	≤ 0.04	0.45-0.6	≤ 0.02	≤ 0.01	0.01-0.03	≤ 0.00035	0.21-0.27
RAP45	0.096-0.124	0.05-0.15	1.2 -1.4	≤ 0.025	≤ 0.023	0.01-0.04	≤ 0.0005	0.29-0.36
RAU60	0.11-0.113	0.25-0.35	1.35-1.5	≤ 0.015	≤ 0.006	0.005-0.02	≤ 0.00035	0.34-0.38
RAW60DP	0.065-0.085	1.9-2.1	1.35-1.5	≤ 0.02	≤ 0.01	0.005-0.02	≤ 0.0005	0.43-0.51

การทดสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนกร Erichsen Test นั้น Material ; RAW60DP มีค่า Pressure Gauge ที่สูงโดยที่ Thickness เดียวกัน เนื่องจากมีค่า C.E. มากทำให้มีความแข็งแรงมากกว่า

$$\text{RAW60DP} \geq \text{RAU60} \geq \text{RAP45} \geq \text{RAP40}$$

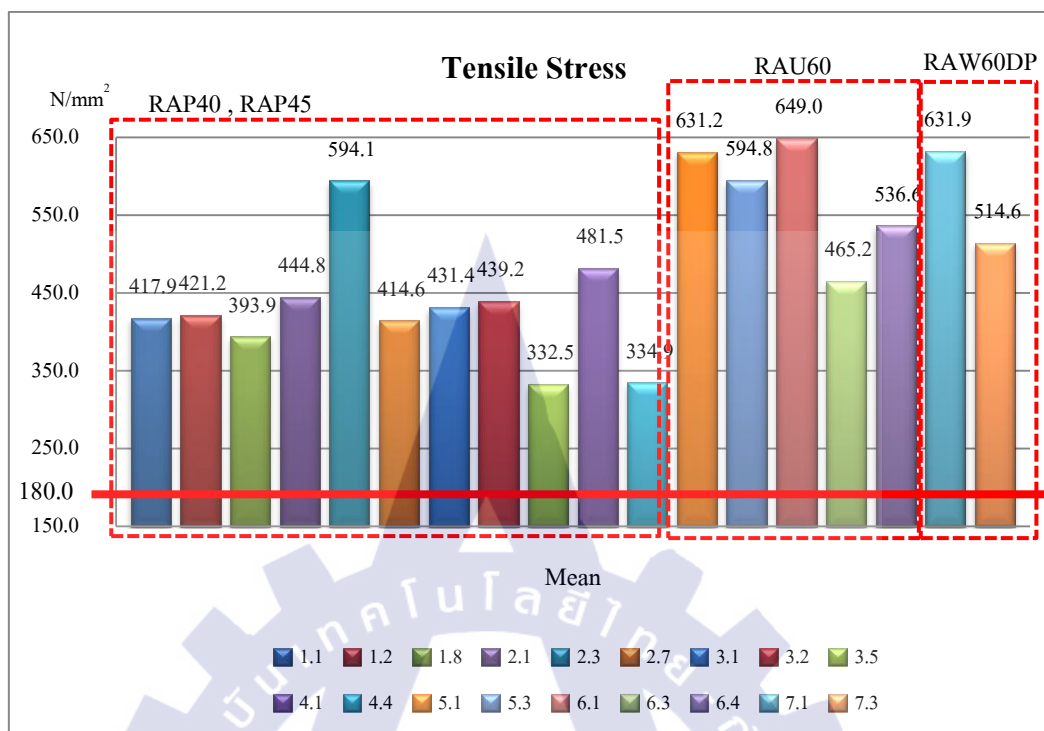
1.2 Thickness

ค่า Thickness มีผลต่อความแข็งแรง เช่นเดียวกับค่า Chemical Composition คือ ค่า Thickness มากทำให้ค่า Pressure Gauge สูง แต่ถ้าค่า Thickness น้อยทำให้ค่า Pressure Gauge ต่ำ โดยที่ Material เดียวกัน

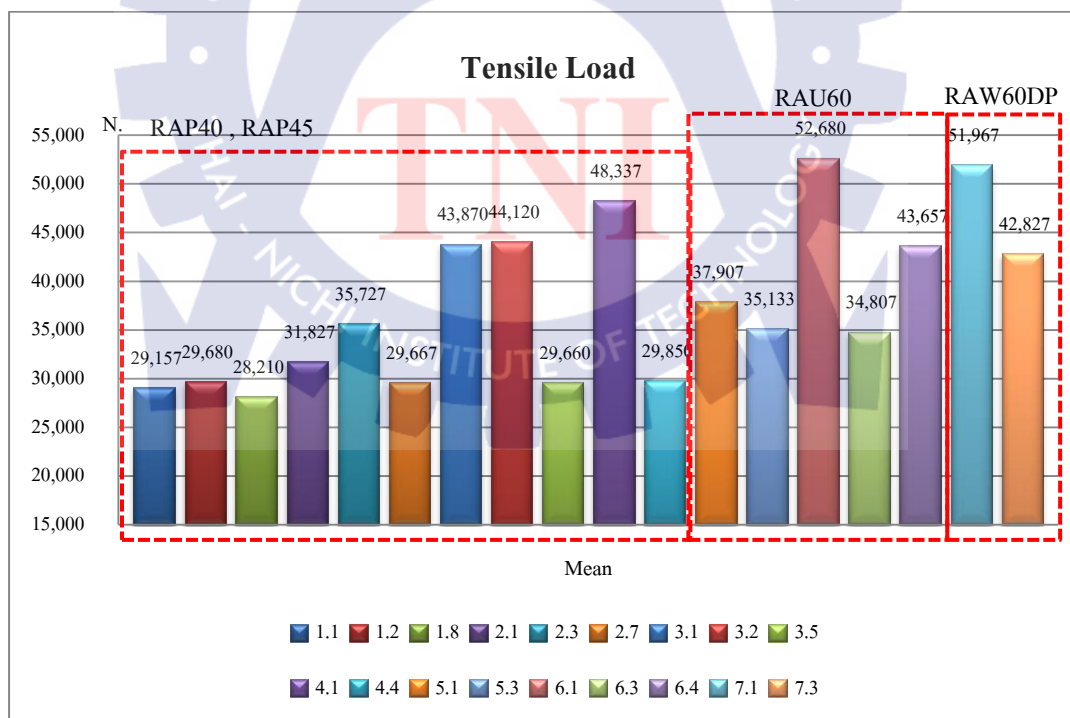
ตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์ค่า Thickness กับค่า Pressure Gauge ของ Material กลุ่มที่ 3

Material	Thickness	Note	Pressure Gauge	Note
RAU60	2.3 mm.	มาก	190 bar	สูง
RAU60	3.2 mm	น้อย	238 bar	ต่ำ

2. Tensile Test



ภาพที่ 4.8 กราฟ Tensile Stress ของ Material กลุ่มที่ 3



ภาพที่ 4.9 กราฟ Tensile Load ของ Material กลุ่มที่ 3

สรุปผลการวิเคราะห์ : การทดสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนการ Tensile Test ค่า Tensile Stress มีค่าเกิน 180 N/mm^2 (ซึ่งเป็นมาตรฐานในการผลิต) และสามารถนำมาเปรียบเทียบดังนี้

ตารางที่ 4.15 การวิเคราะห์ค่า Chemical Composition และค่า Thickness กับค่า Tensile Test ของ Material กลุ่มที่ 3

Comparison	ค่า Tensile Test
Chemical Composition	RAW60DP $\geq$ RAU60 $\geq$ RAP45 $\geq$ RAP40
Thickness	Thickness มาก > Thickness น้อย

ดังนั้น การทดสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนการ Tensile Test ได้ผลเช่นเดียวกันกับการทดสอบรอยเชื่อมด้วยกระบวนการ Erichsen Test แต่การทดสอบ Tensile Test เป็นการทดสอบเพื่อทดสอบหาค่าการรองรับแรงดึงมากที่สุดที่สามารถรองรับได้

4.3 วิเคราะห์และวิจารณ์ข้อมูลโดยเปรียบเทียบผลที่ได้รับกับวัตถุประสงค์ในการปฏิบัติงาน

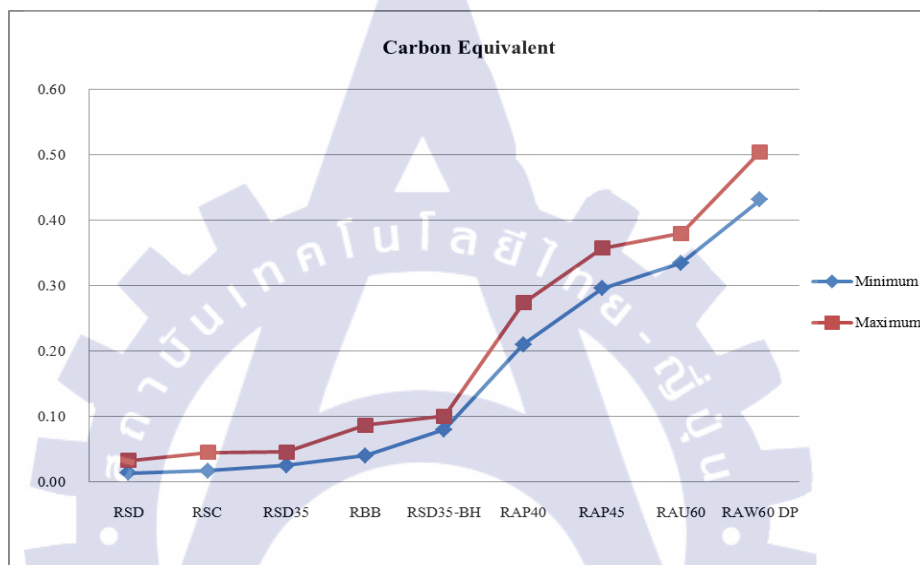
การดำเนินงานโดยรวมเป็นไปตามแผนปฏิบัติงาน ค่า Conditions การเชื่อมที่ทำการทดสอบ เมื่อนำมาใช้ในการผลิตจริงไม่พบการขาดของ Strip หรือรอยเชื่อมไม่สมบูรณ์ระหว่างการผลิต และสามารถผลิตเพื่อออกขายตลาดให้กับบริษัทได้ ดังนั้นค่า Conditions การเชื่อมนี้สามารถใช้ในการผลิตได้ แล้วนำค่า Conditions การเชื่อมมา Set up เพื่อเป็นค่า Standard สำหรับ New Product ทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถทำงานได้อย่างสะดวก ดังนั้นการดำเนินการครั้งนี้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการปฏิบัติงานโครงการสหกิจศึกษา

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

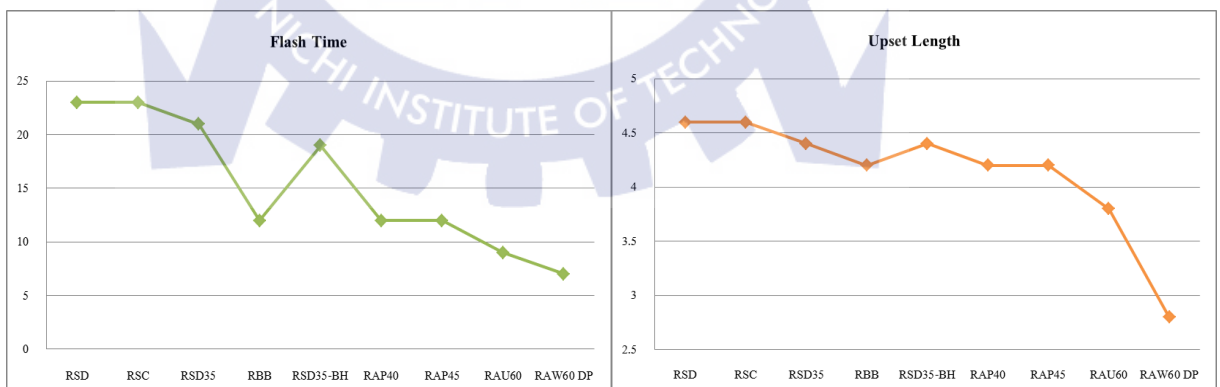
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากผลการดำเนินงาน สามารถสรุปความสัมพันธ์ของ Carbon Equivalent กับค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสม ได้ดังนี้



ภาพที่ 5.1 กราฟสรุปค่า Carbon Equivalent

C.E. : RAW60DP > RAU60 > RAP45 > RAP 40 > RSD35BH > RBB > RSD35 > RSC > RSD



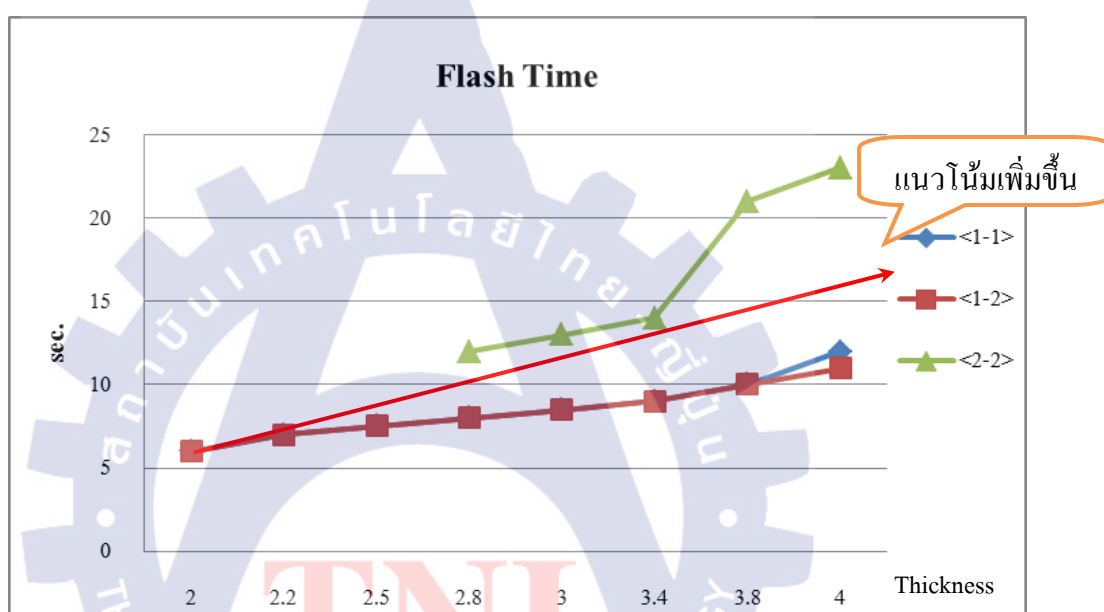
ภาพที่ 5.2 กราฟสรุปค่า Flash Time และ Upset Length

$$C.E. \propto \frac{1}{\text{Flash Time}} \propto \frac{1}{\text{Upset Length}}$$

จากผลการดำเนินงาน สามารถสรุปค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสม ได้ดังนี้
 ตารางที่ 5.1 Code สำหรับการอ้างอิงข้อมูลของ Material แต่ละชนิด

Code	Material
1	RBB , RAP40 , RAP45
2	RSC , RSD , RSD35

5.1.1 ค่า Flash Time



ภาพที่ 5.3 กราฟแนวโน้มค่า Flash time ของ Material ที่ทำการทดสอบ

จากกราฟ ความสัมพันธ์ของค่า Flash Time มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อค่า Thickness เพิ่มขึ้น
 นำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาวิเคราะห์ข้อมูลเป็นสมการได้ดังนี้

- Connecting Coil ; 1-1

$$\text{Flash Time} = (1.272(\text{Tav}^4)) - (13.279(\text{Tav}^3)) + (50.149(\text{Tav}^2)) - (78.837(\text{Tav})) + 48.87$$

; ทศนิยม 1 ตำแหน่ง (ปัดขึ้นเป็น .0 หรือ .5 เท่านั้น)

- Connecting Coil ; 1-2 , 2-1

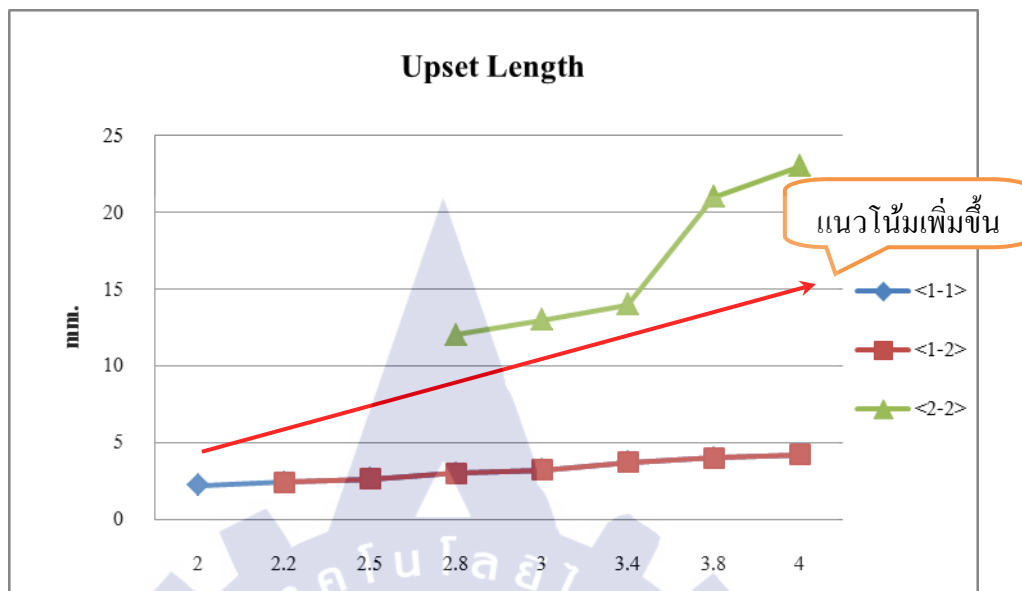
$$\text{Flash Time} = (1.1602(\text{Tav}^3)) - (10.295(\text{Tav}^2)) + (31.727(\text{Tav})) - 25.591$$

; ทศนิยม 1 ตำแหน่ง (ปัดขึ้นเป็น .0 หรือ .5 เท่านั้น)

- Connecting Coil ; 2-2

$$\text{Flash Time} = - (45.139(\text{Tav}^4)) + (609.72(\text{Tav}^3)) - (3062.4(\text{Tav}^2)) + (6786.1(\text{Tav})) - 5589.9$$

5.1.2 ค่า Upset Length



ภาพที่ 5.4 กราฟแนวโน้ค่า Upset Length ของ Material ที่ทำการทดสอบ

จากกราฟ ความสัมพันธ์ของค่า Upset Length มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อค่า Thickness เพิ่มขึ้น นำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาวิเคราะห์ข้อมูลเป็นสมการได้ดังนี้

- Connecting Coil ; 1-1

$$\text{Upset Length} = - (0.1917(\text{Tav}^3)) + (1.7091(\text{Tav}^2)) - (3.9035(\text{Tav})) + 4.7179$$

; ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

- Connecting Coil ; 1-1

$$\text{Upset Length} = (0.3866(\text{Tav}^4)) - (5.0388(\text{Tav}^3)) + (24.181(\text{Tav}^2)) - (49.528(\text{Tav})) + 38.922$$

; ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

- Connecting Coil ; 2-2

$$\text{Upset Length} = - (45.139(\text{Tav}^4)) + (609.72(\text{Tav}^3)) - (3062.4(\text{Tav}^2)) + (6786.1(\text{Tav})) - 5589.9$$

Note: $\text{Tav} = [(|T_{\text{lead}} - T_{\text{trail}}|) \times K] + T_{\text{min}}$

T_{lead} = Leading strip thickness

T_{trail} = Trailing strip thickness

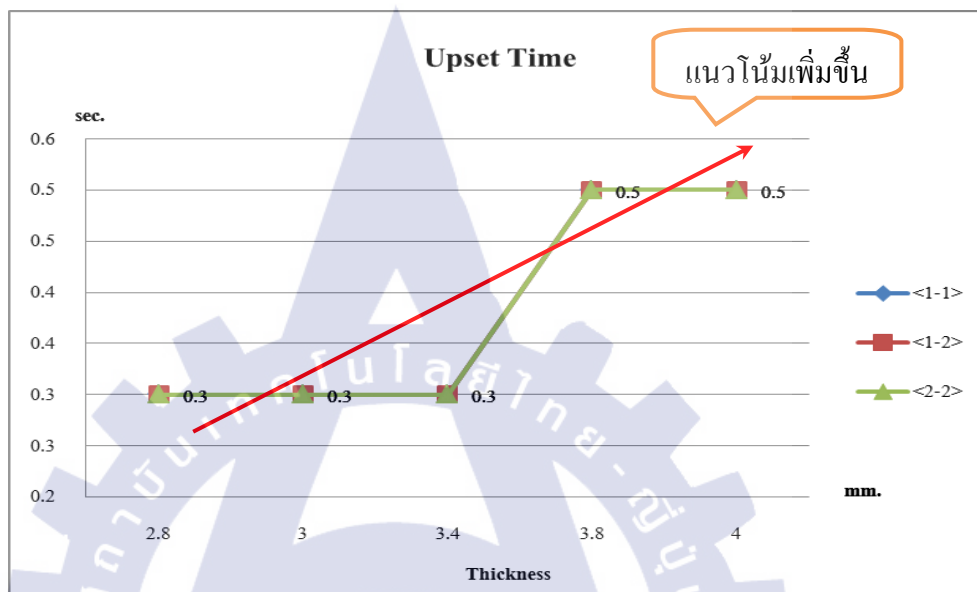
K = Typical (Coefficient = 0.5)

T_{min} = Thinner strip thickness

$TK_n = \text{Thickness (mm.)}$; $TK_n < Tav \leq TK_{(n+1)}$ ใช้ค่า $Tav = TK_{(n+1)}$

$n_1 = 1.8$	$n_2 = 2.0$	$n_3 = 2.2$	$n_4 = 2.5$	$n_5 = 2.8$
$n_6 = 3.0$	$n_7 = 3.4$	$n_8 = 3.8$	$n_9 = 4.0$	$n_{10} = 4.2$

5.1.3 ค่า Upset Time



ภาพที่ 5.5 กราฟแนวโน้มค่า Upset Time ของ Material ที่ทำการทดสอบ

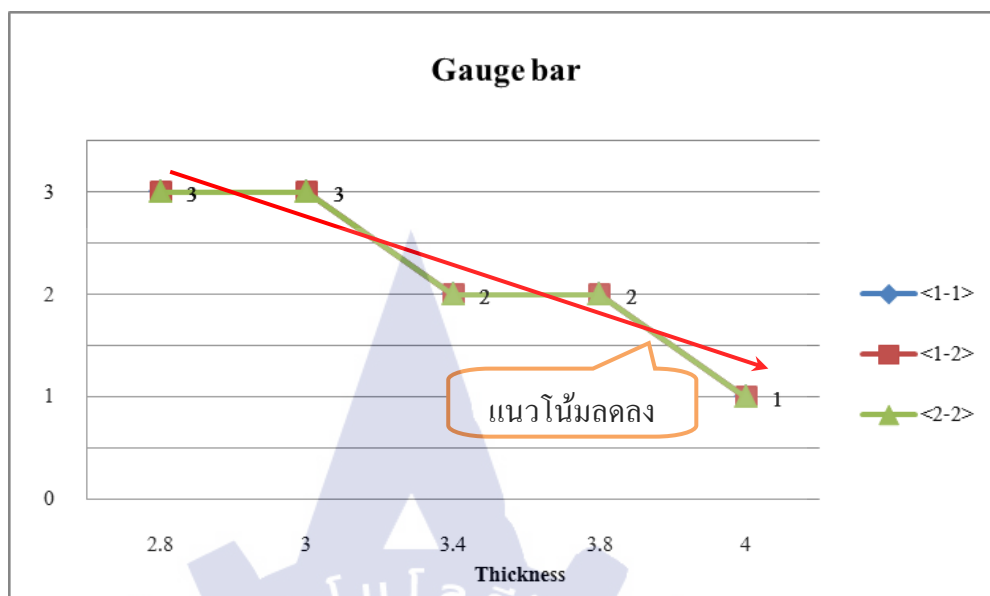
จากกราฟ ความสัมพันธ์ของค่า Upset Time มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อค่า Thickness เพิ่มขึ้น โดยนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้

ตารางที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของค่า Thickness กับค่า Upset Time

Tav (mm.)	Upset Time (sec.)
2.8 – 3.4	0.3
3.8 – 4.0	0.5

Thickness $\propto$ Flash Time $\propto$ Upset Length $\propto$ Upset Time

5.1.4 ค่า Gauge bar



ภาพที่ 5.6 กราฟแนวโน้มนค่า Gauge bar ของ Material ที่ทำการทดสอบ

จากกราฟ ความสัมพันธ์ของค่า Gauge bar มีแนวโน้มนลดลง เมื่อค่า Thickness เพิ่มขึ้น โดยนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้

ตารางที่ 5.3 ความสัมพันธ์ของค่า Thickness กับค่า Gauge bar

Tav (mm.)	Gauge bar
2.8 – 3.0	3
3.4 – 3.8	2
4.0	1

5.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา

จากการศึกษาและทดสอบหาค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสม ด้วยกระบวนการ Flash butt welding นั้นปัญหาที่พบคือ ในประเทศไทยมีกระบวนการเชื่อมแบบ Flash butt welding จำนวนน้อยมาก ทำให้ข้อมูลอ้างอิงในเรื่องนี้มีจำนวนน้อย ดังนั้นแนวทางแก้ปัญหาคือ นำข้อมูลของบริษัทและข้อมูลค่า Conditions การเชื่อมที่ใช้ผลิตอยู่ในปัจจุบัน นำมาเป็นข้อมูลอ้างอิงในการทดสอบหาค่า Conditions การเชื่อมที่เหมาะสม เพื่อตั้งสมมุติฐานและหาค่า Conditions การเชื่อมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะจากการดำเนินงาน

การทดสอบหาค่า Conditions การเชื่อมสำหรับ New Product เป็นการทดสอบแบบ Trial & Error เท่านั้น ดังนั้น บริษัทควรมีข้อมูลอ้างอิงที่เพิ่มมากขึ้นและควรมีค่า Conditions Standard ที่สามารถรองรับค่า Conditions การเชื่อมสำหรับ New Product จากบทสรุปที่ได้นำเสนอสมการขึ้น เพื่อเป็นค่า Conditions standard กับผลิตภัณฑ์ใหม่ในอนาคต จะทำให้บริษัทสามารถลดเวลาและลดต้นทุนในการทดสอบหาค่า Conditions การเชื่อมได้



เอกสารอ้างอิง

Edward A. Durand and Paul M. Unterweiser, 1971, Welding, Metal Handbook (ASM : vol.6 Welding and Brazing), Ian A. Anderson, 8th Edition, American Society for Metals, Metals Park Ohio 44073.

NIPPON STEEL CORPORATION, 1996, Welding Machine, Elementary education document for THE SIAM UNITED STEEL (1995) COMPANY LIMITED, October 1996.

เดชา สุขมา, 2551, การเชื่อมวาท่อชนเหล็กแรงรถไฟต่างขนาด, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

มนูญ เลิศวิจิตรพันธุ์, 2548, การใช้ค่าสมมูลคาร์บอน (CE) ในการคาดการณ์ค่าความแข็งในบริเวณกระทบร้อนของรอยเชื่อมเหล็กผสมต่ำ-แข็งแรงสูง (Using Carbon Equivalent Prediction of HAZ Hardness in Welds of HSLA Steels), วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1 (ปฐมฤกษ์).

D.C. Kim, W.J. So, M.J. Kang, 2009, Effect of flash butt welding parameters on weld quality of mooring chain, Advanced Welding & Joining R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology.

รศ. ดร. ประสงค์ ศรีเจริญชัย, 2553, โลหะวิทยาของเหล็กและเหล็กกล้า, โลหะวิทยาของเหล็กกล้า รุ่นที่ 2, 23 เมษายน 2553 ณ. ห้องอบรมสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, อาคารสำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา.

ภาคผนวก





ภาคผนวก ก.

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

ภาคผนวก ก.

1. มาตรฐาน JIS

1.1 มาตรฐาน JIS ที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต

เหล็กที่นำมาผลิตโดยกระบวนการรีดเย็นที่ใช้กันในปัจจุบันมีอยู่หลายมาตรฐานโดยบริษัท สยามยูไนเต็ดสตีล (1995) จำกัด นำมาใช้ผลิตมีดังนี้

- JIS G3113 (Hot-rolled steel plate, sheet and strip for automobile structural uses)
- JIS G3134 (Hot-rolled high strength steel plate, sheet and strip with improved formability for automobile structural uses)
- JIS G3131 (Hot-rolled mild steel plates, sheets and strips)

ในการผลิตเหล็กจะแบ่งคุณภาพของเกรดเหล็กออกได้หลายเกรดโดยมีความแตกต่างกันที่ความหนา ค่าความต้านทานแรงดึง และส่วนผสมทางเคมีที่ต่างกัน

ตาราง Classification symbol and applicable thickness of JIS standard

Standard JIS	Classification symbol	Applicable thickness (mm.)
JIS G3113	SAPH310	1.6 or over up to and incl. 14
	SAPH370	
	SAPH400	
	SAPH440	
JIS G3134	SAFH490	1.6 or over up to and incl. 6.0
	SAFH540	
	SAFH590	
	SAFH540Y	2.0 or over up to and incl. 4.0
	SAFH590Y	
JIS G3131	SPHC	1.2 or over up to and incl. 14
	SPHD	
	SPHE	1.2 or over up to and incl. 8
	SPHF	

ตาราง Chemical composition of JIS standard

Unit : %

Standard JIS	Classification symbol	C	Si	Mn	P	S
JIS G3113	SAPH310	≤ 0.1	≤ 0.30	≤ 0.50	≤ 0.035	≤ 0.01
	SAPH370	≤ 0.21	≤ 0.30	≤ 0.75	≤ 0.035	≤ 0.01
	SAPH400	≤ 0.21	≤ 0.30	≤ 1.40	≤ 0.03	≤ 0.01
	SAPH440	≤ 0.21	≤ 0.30	≤ 1.50	≤ 0.03	≤ 0.01
JIS G3134	SAFH490	-	-	-	-	-
	SAFH540	-	-	-	-	-
	SAFH590	-	-	-	-	-
	SAFH540Y	-	-	-	-	-
	SAFH590Y	-	-	-	-	-
JIS G3131	SPHC	≤ 0.15	-	≤ 0.60	≤ 0.05	≤ 0.050
	SPHD	≤ 0.10	-	≤ 0.50	≤ 0.04	≤ 0.040
	SPHE	≤ 0.10	-	≤ 0.50	≤ 0.03	≤ 0.035
	SPHF	≤ 0.08	-	≤ 0.50	≤ 0.025	≤ 0.25

ตาราง Mechanical Properties of JIS standard

JIS	Classification symbol	Tensile strength (N/mm ²)	Yield point or proof stress (N/mm ²)			Elongation (%)						Tensile test piece	Bending angle	Bendability		
			Thickness (mm.)			Thickness (mm.)								Inside radius		Bending test piece
			Under 6.0	6.0 or over to and excl. 8.0	8.0 or over up to and incl. 14	1.6 or over to and excl. 2.0	2.0 or over to and excl. 2.5	2.5 or over to and excl. 3.15	3.15 or over to and excl. 4.0	4.0 or over to and excl. 6.3	6.3 or over to and excl. 14			Thickness (mm.)		
														Under 2.0	2.0 min	
G3113	SAPH310	310 min.	(185) min.	(185) min.	(175) min.	33 min.	34 min.	36 min.	38 min.	40 min.	41 min.	No.5 test piece taken in rolling direction	180°	Flat on itself	Thickness x 1.0	No.3 test piece in transverse rolling direction
	SAPH370	370 min.	225 min.	225 min.	215 min.	32 min.	33 min.	35 min.	36 min.	37 min.	38 min.	Thickness x 0.5		Thickness x 1.0		
	SAPH400	400 min.	255 min.	235 min.	235 min.	31 min.	32 min.	34 min.	35 min.	36 min.	37 min.	Thickness x 1.0		Thickness x 1.0		
	SAPH440	440 min.	305 ^{a)} min.	295 ^{a)} min.	275 ^{a)} min.	29 min.	30 min.	32 min.	33 min.	34 min.	35 min.	Thickness x 1.0		Thickness x 1.0		
JIS	Classification symbol	Tensile strength (N/mm ²)	Yield point or proof stress (N/mm ²)	Elongation (%)						Tensile test piece	Bending angle	Bendability				
				Thickness (mm.)								Inside radius		Bending test piece		
				1.6 or over to and excl. 2.0		2.0 or over to and excl. 2.5		2.5 or over to and excl. 3.15				3.15 or over to and excl. 4.0			Thickness (mm.)	
				1.6 or over to and excl. 3.25		3.25 or over up to and incl. 6.0		test piece								
G3134	SAFH490	490 or over	325 or over	22 or over	23 or over	24 or over	25 or over		No.5 test piece taken in transverse rolling direction	180°	Thickness x 0.5	Thickness x 1.0	No.3 test piece taken in transverse rolling direction			
	SAFH540	540 or over	355 or over	21 or over	22 or over	23 or over	24 or over	Thickness x 1.0	Thickness x 1.5							
	SAFH590	590 or over	420 or over	19 or over	20 or over	21 or over	22 or over	Thickness x 1.5	Thickness x 1.5							
	SAFH540Y	540 or over	295 or over	-	24 or over	25 or over	26 or over	Thickness x 1.0	Thickness x 1.5							
	SAFH590Y	590 or over	325 or over	-	22 or over	23 or over	24 or over	Thickness x 1.5	Thickness x 1.5							
JIS	Classification symbol	Tensile strength (N/mm ²)	Yield point or proof stress (N/mm ²)	Elongation (%)						Tensile test piece	Bending angle	Bendability				
				Thickness (mm.)								Inside radius		test piece		
				1.2 or over to and excl. 1.6	1.6 or over to and excl. 2.0	2.0 or over to and excl. 2.5	2.5 or over to and excl. 3.2	3.2 or over to and excl. 4.0	4.0 or over			Thickness (mm.)				
												Up to and excl. 3.2	3.2 or over			
G3131	SPHC	270 min.	-	27 min.	29 min.	29 min.	29 min.	31 min.	31 min.	No. in rolling direction	180°	Flat on itself	Thickness x 0.5	No.3 in rolling direction		
	SPHD	270 min.	-	30 min.	32 min.	33 min.	35 min.	37 min.	39 min.		-	-	-			
	SPHE	270 min.	-	31 min.	33 min.	35 min.	37 min.	39 min.	41 min.		-	-	-			
	SPHF	270 min.	-	37 min.	38 min.	39 min.	39 min.	40 min.	42 min.		-	-	-			

2. Carbon Equivalent (C.E)

ค่า Carbon Equivalent (C.E.) ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของส่วนผสมทางเคมีของธาตุต่างๆ ที่แสดงถึงอิทธิพลของส่วนผสมที่อยู่ในโลหะ โดยให้ผลในทางบวกหรือลบของส่วนผสมในเหล็กกล้า สูตรในการคำนวณ ค่า C.E. คือ

$$C.E. = C + \frac{Mn+Si}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

ในกระบวนการเชื่อม ค่า C.E. ถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการเชื่อม (Weldability) โดยถ้าส่วนผสมของธาตุคาร์บอนและธาตุผสมอื่นๆ สูงขึ้น (Mn, Cr, Si, Mo, Cu, Ni) มีแนวโน้มที่ Weldability ลดลง

ตาราง ความสัมพันธ์ของค่า Carbon Equivalent กับ Weldability

Carbon Equivalent	Weldability
C.E. < 0.14	Excellent
0.14 < C.E. < 0.45	Fair
C.E. > 0.45	Poor

ตาราง ค่า Carbon Equivalent ของ Material ที่ใช้ทดสอบ

Material	Carbon Equivalent	Weldability
RSD	0.01-0.03	Excellent
RSC	0.02-0.05	Excellent
RSD35	0.03-0.05	Fair
RBB	0.04-0.09	Fair
RSD35-BH	0.08-0.10	Fair
RAP40	0.21-0.27	Fair
RAP45	0.30-0.36	Fair
RAU60	0.34-0.38	Fair
RAW60 DP	0.43-0.51	Poor

3. Specification Welder

ตาราง ขนาดมาตรฐาน Hot coil

Hot Coil	Data Limit	
	Lower	Upper
Strip Thickness (mm.)	2.0	4.0
Strip Width (mm.)	700	1350

ตาราง ค่ามาตรฐาน Condition การเชื่อม

Set up welding Condition	Data Limit	
	Lower	Upper
Flash Time (sec.)	3.0	30.0
Upset Time (sec.)	0.05	0.99
Upset Length (mm.)	1.0	8.0

ตาราง ค่ามาตรฐาน Gauge bar

Gauge bar	Thickness (mm.)	Initial Extension (mm.)
1	3.5-4	23
2	3.0-3.5	19
3	<3.0	14

ตาราง ค่ามาตรฐาน Electrode die

Standard	Electrode Die	
	Electrode Die ตัวบน	Electrode Die ตัวล่าง
ความหนา	จุด A = 64.9 ± 0.1 mm.	จุด A = 70 ± 0.05 mm.
	จุด B = 65.1 ± 0.1 mm.	จุด B = 70 ± 0.05 mm.
อายุการใช้งาน	40,000 $\pm$ 5,000 Ton.	25,000 $\pm$ 5,000 Ton.

ตาราง ค่ามาตรฐานการเคลื่อนที่ของ Moving stand

Moving Stand		Allowance (mm.)		
		WS	DS	WS-DS
ตำแหน่งของ Moving Stand ขณะเคลื่อนที่สุด	Gauge bar 1	± 0.1	± 0.1	± 0.05
	Gauge bar 2	± 0.1	± 0.1	± 0.05
	Gauge bar 3	± 0.1	± 0.1	± 0.05
ระยะเคลื่อนที่จริงกับค่าที่อ่านได้		± 0.1	± 0.1	± 0.05

Note : ความแตกต่างระยะเคลื่อนที่ของ Moving Stand ด้าน WS และ DS ต้องไม่เกิน 7%

4. การทดสอบรอยเชื่อม

4.1 การตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยการกระบวนกร Erichsen Test

วัตถุประสงค์ : เพื่อเป็นการทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อมและทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปของเหล็กแผ่นที่นำมาทดสอบ

ขอบเขต : มาตรฐานที่ใช้ขึ้นรูปของเหล็กแผ่นที่ความหนา 1.8-4.0 mm.

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ :

Erichsen Test แบบที่ไม่มีช่องว่างระหว่าง Die กับ Blank Holder โดยมีแผ่นทดสอบอยู่ตรงกลาง และใช้แรงในการ Fix แผ่นทดสอบเท่ากับ 10 KN. (แบบ Fix แผ่นทดสอบ)

สภาพแวดล้อม : ทดสอบที่อุณหภูมิ 10 -35 °C

4.2 การตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยการกระบวนกร Tensile Test

วัตถุประสงค์ :

1. เพื่อทดสอบความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานทดสอบว่าได้มาตรฐานที่ต้องการหรือไม่
2. เพื่อทดสอบความสามารถในการขึ้นรูป (Strain hardening ratio) ของชิ้นงานทดสอบว่าได้ตามมาตรฐานที่ต้องการหรือไม่

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ :

- การเตรียมชิ้นงานทดสอบ อ้างอิง JIS Z2241 : 2011 (No.5)
- การทดสอบความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานทดสอบ (Tensile) อ้างอิง JIS Z2241 : 2011
- การทดสอบคุณสมบัติในการขึ้นรูป (Strain hardening ratio) อ้างอิง JIS Z2241 :2011

สภาพแวดล้อม : ทดสอบที่อุณหภูมิ 10-35 °C

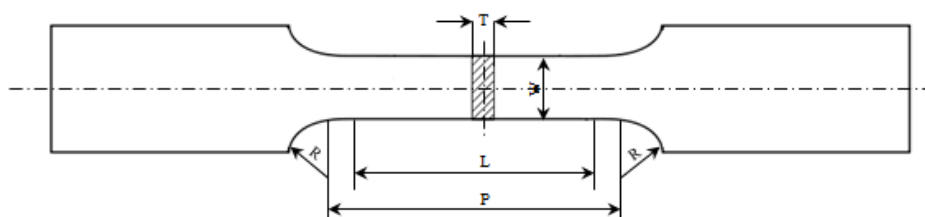
สารเคมีที่ใช้ทำความสะอาดก่อน Aging : N-Hexane

การใช้งานของเครื่อง :

- เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile) อ้างอิง (S-TQ-TL-SM-004)
- เครื่องวัดความหนา (Micrometer) อ้างอิง (S-TQ-TL-SM-007)
- เครื่องวัดความกว้าง (Tool For With Dial gauge) อ้างอิง (S-TQ-SM-038)

ขนาดของชิ้นงานทดสอบ :

- เหล็กแผ่นที่มีความหนา ไม่เกิน 20 mm. อ้างอิง JIS Z2241 :2011 (No.5)
- เหล็กแผ่นที่มี Width มากกว่า 18 mm. width ที่วัดตรงตำแหน่ง parallel portion ที่ค่ามากที่สุด ลบ ค่าน้อยที่สุด ต้องไม่เกิน 0.1 mm.



ชิ้นงานทดสอบ Tensile ตามมาตรฐาน JIS Z2241 : 2011 (No.5)

ตาราง ขนาดชิ้นงานทดสอบ Tensile ตามมาตรฐาน JIS Z2241 : 2011 (No.5)

	Width (W)	Gauge length (L)	Parallel length (P)	Radius of fillet (R)	Thickness (T)	ความกว้างปลายชิ้นงาน (B)
JIS No.5	25 ± 0.7 mm.	50 mm.	min 60 mm.	min 15 mm.	< 20 mm.	≥ 30 mm.
SUS	25 ± 0.7 mm.	50 ± 0.1 mm.	60 mm.	25 mm.	< 6 mm.	35 mm.

ในมาตรฐาน JIS Z2241 : 2011 (No.5) ระบุในหมายเหตุกรณีทีชิ้นงานทดสอบความหนา น้อยกว่า 3 mm. จะต้องม Radius of fillet (R) 20-30 mm. และความกว้างของปลายชิ้นงานทดสอบ ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 30 mm.

หลักการทำงานของเครื่องทดสอบ :

- อัตราดึงที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานทดสอบ ซึ่งควบคุม Stress – rate ที่ 10 N/mm² sec - 20 N/mm² sec (JIS Z2241 : 1998 Stress – rate ที่ 3 N/mm² sec - 30 N/mm² sec) จนถึงจุด Yield point

การกำหนดค่าอัตราการดึงของเครื่องทดสอบเป็น N/sec

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการดึง} &= \text{Stress} \times \text{Width} \times \text{Thickness} \\
 &= 10 \text{ N/mm}^2\text{sec} \times 25 \text{ mm.} \times 1 \text{ mm.} \\
 &= 250 \text{ N/sec}
 \end{aligned}$$

- เมื่อถึงจุด Yield point เปลี่ยนการควบคุม Strian rate ซึ่งควบคุมที่ 45 % min (JIS Z2241 : 1998 ควบคุม Strain rate ที่ 20%/min – 50%/min)

การกำหนดค่าอัตราการดึงของเครื่องทดสอบเป็น mm / min

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการดึง} &= \text{Stress rate} \times \text{guage lenth} \\
 &= \frac{450 \times 50}{100}
 \end{aligned}$$

- บันทึกค่า Variable เพื่อคำนวณ n – value
- หยุดการทำงานเมื่อชิ้นงานขาด
- เมื่อจบ Stage ต่างๆ เครื่องจะทำตามโปรแกรมที่เขียนไว้ที่ Action นั้นๆ

ตาราง ค่าอัตราการดึงที่ Stress rate ต่างๆ ตามมาตรฐาน JIS Z2241 : 2011 (No.5)

Thickness	JIS Standard force rate N/sec		SUS Design force rate N/sec (for normal product)		SUS Design force rate N/sec (for Hi-tensile product)	
	3 N/mm ² sec	30 N/mm ² sec	10 N/mm ² sec	20 N/mm ² sec	20 N/mm ² sec	30 N/mm ² sec
0	0	0	0	0	0	0
0.1	7.5	75	25	50	580	75
0.2	15	150	50	100	100	150
0.3	22.5	225	75	150	150	225
0.4	30	300	100	200	200	300
0.5	37.5	375	125	250	250	375
0.6	45	450	150	300	300	450
0.7	52.5	525	175	350	350	525
0.8	60	600	200	400	400	600
0.9	67.5	675	225	450	450	675
1.0	75	750	250	500	500	750
1.1	82.5	825	275	550	550	825
1.2	90	900	300	600	600	900
1.3	97.5	975	325	650	650	975
1.4	105	1050	350	700	700	1050
1.5	112.5	1125	375	750	750	1125
1.6	120	1200	400	800	800	1200
1.7	127.5	1275	425	850	850	1275
1.8	135	1350	450	900	900	1350
1.9	142.5	1425	475	950	950	1425
2.0	150	1500	500	1000	1000	1500

ตาราง อัตราการดึงที่ Stress rate ของ Normal product ควบลุ่มที่ 10-20 N/mm²sec

ความหนาของชิ้นงานทดสอบ	อัตราการดึง (N/sec)
$X < 0.2$	50
$0.2 \leq X \leq 0.4$	100
$0.4 \leq X \leq 0.8$	200
$0.8 \leq X \leq 1.6$	400
$X \geq 1.6$	800

ตาราง อัตราการดึงที่ Stress rate ของ Hi-Tensile product ควบลุ่มที่ 20 – 30 N/mm² sec

ความหนาของชิ้นงานทดสอบ	อัตราการดึง (N/sec)
$X < 0.6$	300
$0.6 \leq X \leq 0.9$	450
$0.9 \leq X \leq 1.2$	675
$1.2 \leq X \leq 1.8$	900
$X \geq 1.8$	1350

ตาราง อัตราการดึงที่ Strain rate ควบลุ่มที่ 45%/min

อัตราการดึง		
ข้อกำหนด JIS		ข้อกำหนด SUS
20%/min	50%/min	45%/min
10	25	22.5

Note : Gauge length (GL) =50 mm

2.2.1 Test Result

$$1. \text{ Elastic Start} = \frac{\text{Lower load}}{\text{Load axis range}} \times 100$$

$$2. \text{ Elastic Factor} = \frac{0.2 \times \text{Gauge Length}}{\text{Extension x axis}}$$

Lower Load = แรงที่ต่ำที่สุดในการเริ่มทำกราฟ ซึ่งได้จากการขยายดูกราฟช่วงล่าง

Load axis range = ค่ากำหนดของกราฟในแกน Y

100 = ทำให้เป็น %

0.2 = ค่า Off set ของกราฟ โดยทั่วไปใช้ 0.2 %

Gauge Length = 50 mm.

Extension range = ค่ากำหนดของกราฟในแกน X (30 mm.)

ซึ่งมีค่าตั้งไว้ดังนี้ ; Elastic Start = 10% (มีผลต่อ YP)

; Elastic Factor = 0.333% (มีผลต่อ 0.2% YP)

2.2.2 สูตรหาค่า Tensile Strength (TS)

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A_0}$$

σ = Tensile Strength (N/mm²)

$F_{\max}$ = แรงดึงสูงสุด (N)

A_0 = พื้นที่หน้าตัดก่อนดึง , Thickness x Width (mm²)

2.2.3 สูตรหาค่า Elongation (EL)

$$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100$$

δ = EL หลังการยืดตัว (%)

L = ความยาวของ Gauge Length หลังการดึง (mm)

L_0 = ความยาวของ Gauge Length ก่อนการดึง (mm)

2.2.4 สูตรหาค่า Yield Strength (YS)

$$YS = \frac{F}{A_0}$$

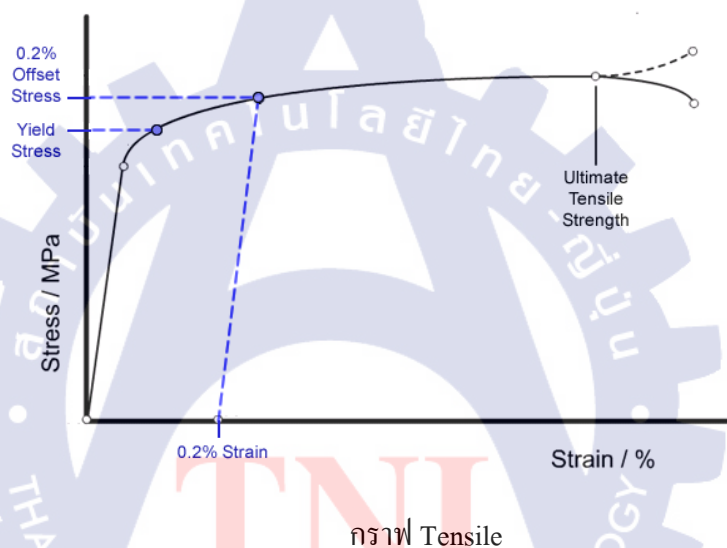
YS = Yield Strength (N/mm²)

F = แรงดึงสูงสุดที่จุด YS (N)

A₀ = พื้นที่หน้าตัดก่อนดึง , Thickness x Width (mm²)

2.2.5 สูตรหาค่า 0.2 % YP

$$0.2 \% YP = \frac{0.2 \times \text{Gauge length (50 mm)}}{100}$$



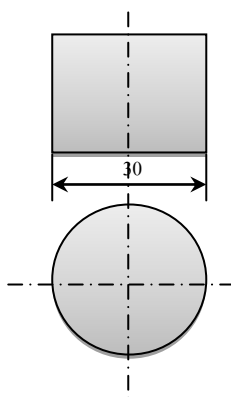
4.3 การตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยการกระบวนกร Microsphotograph

วัตถุประสงค์ : เพื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะของเม็ดเกรนและใช้เป็นเกณฑ์ประกอบการพิจารณาคุณสมบัติของโลหะ

ขอบเขต : มาตรฐานนี้ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของ Material ตามมาตรฐาน JIS

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ : สอดคล้องกับมาตรฐาน JIS 0522 (GS)

ขนาดของชิ้นทดสอบ : ตำแหน่งและขนาดของชิ้นงานทดสอบ อ้างอิงถึง (W-TQ-TL-WT-056)



ชิ้นงานทดสอบ Microphotograph ตามมาตรฐาน JIS 0522

คุณสมบัติสารที่ใช้ทดสอบ :

1. Resin Epomet Molding Compound (เรซิน รักษาขอบชิ้นงาน)
ประเภทเรซินแบบเทอร์โมเซตติง แข็งทนต่อการเสียดสี ไม่หดตัว ทนสารเคมี รักษาขอบและระนาบ
2. Resin Multi Fast Phenolic (เรซิน ทัวไป)
ประเภทเรซินแบบเทอร์โมเซตติง ง่ายต่อการเก็บรักษา หดตัวปานกลาง ใช้กับงานทั่วไปที่ไม่แข็งและไม่ต้องดูขอบ
3. Resin Transoptic Power (เรซิน ใส)
ประเภทเรซินแบบเทอร์โมพลาสติก ใสมองเห็นภายใน
4. Silicone Mold Release, Spray
สารหล่อลื่น เหมาะกับแบบหล่อ Hot Molding ป้องกันแบบหล่อแห้งและไหม้ รักษาแบบหล่อ
5. Diamond Suspension 3 Micron
มีลักษณะเป็นผงขัดมีเพชรผสมอยู่ในของเหลว ใช้เป็นตัวขัดเอาผิวของชิ้นงานออกไป มีความแข็งแรงมากที่สุด (ประมาณ 800 HV)
6. Alumina Power 0.05 Microm (ที่ทำการผสมแล้ว)
มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวผสมอยู่ในน้ำ ใช้งานต้องเขย่าให้เข้ากัน ขัดมันวัสดุทั่ว ๆ ไป มีความละเอียดสูง
7. Nitric Acid +Ethyl Alcohol (ที่ทำการผสมแล้ว)
เป็นน้ำยาที่ทำการจุ่มกับชิ้นงาน (เหล็ก) จะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับชิ้นงาน ทำให้เกิดโครงสร้างของเม็ดเกรนขึ้น

ภาคผนวก ข.

เอกสารเพิ่มเติม



ภาคผนวก ข.

1. ระบบงาน TPM [Total Productive Maintenance]

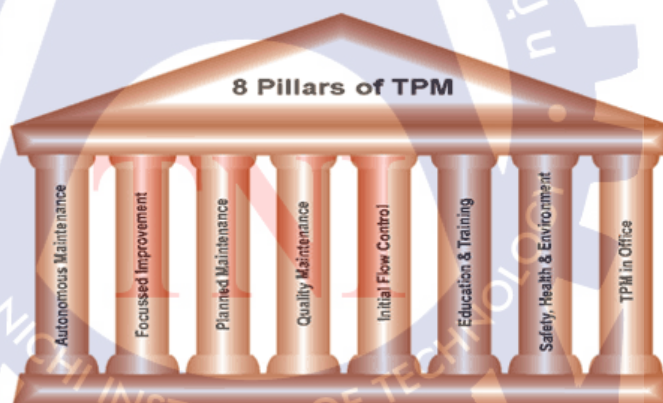
Total productive + Total maintenance + Total participation of all employees

TPM (Total Productive Maintenance) หมายถึง ระบบการบำรุงรักษาที่ครอบคลุมตลอดช่วงอายุอุปกรณ์ นับตั้งแต่การวางแผน ผลิต และการบำรุงรักษา โดยอาศัยความร่วมมือจากพนักงานทุกคน ตั้งแต่ฝ่ายบริหารระดับสูงจนถึงพนักงานหน้างาน

1.1 ลดการการสูญเสีย ทั้งกรณีหยุดสายการผลิตและการหยุดเพื่อซ่อมแซมงาน

1.2 การผลิตมีประสิทธิภาพโดยรวมสูงสุด แ่งปริมาณ คือ ผลิตให้มากขึ้น และแง่คุณภาพ คือ การผลิต ผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าพอใจ

1.3 การปรับปรุงองค์กรทั้งด้านความปลอดภัย สุขอนามัย และสิ่งแวดล้อม เพื่อให้คุณภาพดีขึ้นและมีผลกำไรสูงขึ้น



ภาพที่ 6.4 8 เสาหลักของ TPM

AM = Autonomous Maintenance การบำรุงรักษาด้วยตัวเอง ดูแลเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพ ปลอดภัย ไม่มีของเสีย (หาจุดบกพร่อง > Kaizen > จัดทำมาตรฐานการดูแล)

FI = Focus Improvement การปรับปรุงเฉพาะเรื่อง ยกกระดับ/ปรับปรุงเพื่อลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นหน้างาน

PM = Planned Maintenance การวางแผนการบำรุงรักษา การยกระดับการซ่อมบำรุงไปสู่ Zero breakdown ผ่านแนวคิดซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน รวมถึงยกระดับการซ่อมบำรุงให้มีประสิทธิภาพ

QM = Quality Maintenance การบำรุงรักษาเชิงคุณภาพ กระบวนการหรือเครื่องจักรต้องปราศจากเงื่อนไขที่ทำให้เกิดของเสีย

2. The 7 Waste



ภาพที่ 6.5 The 7 Waste

ความสูญเสีย 7 ประการนั้น เป็นความสูญเสียที่แฝงอยู่ในกระบวนการผลิต ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตสูงเกิน เกิดการล่าช้าในการผลิต ผู้ปฏิบัติงานต้องเสียเวลาในการแก้ปัญหาแทนที่จะปฏิบัติงานให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพ หรือพัฒนางานให้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นกระบวนการผลิตต้องลดความสูญเสียทั้ง 7 ประการนี้ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ความสูญเสียทั้ง 7 ประการ คือ

1. ความสูญเสียจากการผลิตมากเกินไป (Over Production Waste) = ทำเกินกว่าใช้
2. ความสูญเสียจากการขนส่ง (Transportation Waste) = ขนย้ายมากเกินไป
3. ความสูญเสียจากการรอคอย (Waiting Waste) = สายการผลิตไม่สมดุล
4. ความสูญเสียจากสินค้าคงคลัง (Inventory Waste) = วัตถุดิบมากเกินไป

5. ความสูญเสียจากผลิตภัณฑ์บกพร่อง (Defects Waste) = เกิดของเสีย

6. ความสูญเสียจากการเคลื่อนไหว (Motion Waste) = ขั้นตอนการทำงานซ้ำซ้อน

7. ความสูญเสียจากกระบวนการมากเกินไป (Overprocessing Waste) = ปฏิบัติงานไม่ถูกต้อง

3. CDCM past accident

ตาราง ลักษณะงานที่เกิดอุบัติเหตุ ในสายการผลิต CDCM

ตำแหน่งงาน	สิ่งที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ	สาเหตุ	มาตรการป้องกัน
TCM Technician	CDCM Welder -เครื่องเจียร TCM Stand#3 และ Stand#4 -strip ขาดภายในเครื่องจักร	-วิธีปฏิบัติงานไม่ปลอดภัย -ใช้อุปกรณ์ที่ไม่มีความปลอดภัย 100 %	-ห้ามเข้าใกล้ขณะกำลังเจียร -จัดหาเครื่องมือที่มีความปลอดภัย
Coolant Control Technician	Clean Tank S2 -ฝา Tank	-อุปกรณ์ผ่อนแรงไม่มีหรืออยู่ไกลเกินไปทำให้ไม่สะดวกในการทำงาน	-ปรับปรุงอุปกรณ์ในการทำงานให้มีขนาดเล็กลงหรือทำให้ง่ายขึ้น
TCM Operator [Stand #5]	-Chock - Wok Roll Chock Stand#4	-ใช้มือจับ Chock ขณะเครนกำลังยก -ไม่ให้สัญญาณเมื่อเครนกำลังยก -Bearing มีอายุการใช้งานเกิน 2 ปีทำให้เกิดเกิด Over Heat ที่ Wok Roll Chock Stand#4 เกิดไฟไหม้	-ห้ามใช้อุปกรณ์อื่นแทนอุปกรณ์ที่ใช้จริง -ใช้ตะขอหรือเหล็กมัดแทนการใช้มือ - ห้ามใช้ Chock ที่มี Bearing อายุงานเกิน 2 ปี -ตรวจสอบสภาพให้ถี่ถ้วน -เตรียมการสื่อสารให้พร้อมในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน

ตาราง ลักษณะงานที่เกิดอุบัติเหตุ ในสายการผลิต CDCM (ต่อ)

ตำแหน่งงาน	สิ่งที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ	สาเหตุ	มาตรการป้องกัน
TCM Operator [Roll Preparation]	-การรีด Coil ใน mode auto	-Coil หางยาวกว่าปกติ -ใช้มือประคอง strip ขณะที่เครื่องจักรเคลื่อนที่	-ตัดส่วนที่ผิดปกติออกมา -ห้ามพนักงานจับ strip ขณะที่เครื่องจักรเคลื่อนที่
TCM Operator [Inspector]	-เศษ Strip	-การปฏิบัติงานไม่ปลอดภัย -พนักงาน ประมาท -ชนิดของถุงมือไม่สามารถป้องกัน Strip ขาดได้	-ก่อนปฏิบัติงาน ต้องทำ KYT ก่อนทุกครั้ง -กำหนดการใส่ถุงมือ Kevlar
W/B Operator	-น้ำมันสน	-พื้นลื่น	-รักษาสภาพพื้นให้แห้งอยู่เสมอ
Entry Technician	Skin no.6 Delivery walking Beam CDCM -การตัดแผ่น Strip	-พื้นที่ปฏิบัติงานไม่เหมาะสม	-ก่อนปฏิบัติงานที่ผิดปกติหรือนานๆ ทำครั้ง ต้องทำ KYT ก่อนทุกครั้ง
Entry operator	-เครื่องเจียร	-ไม่ปิดเครื่องเจียรหลังทำงานเสร็จ -เกิดสะกิดการเจียร	-ห้ามเข้าใกล้ขณะกำลังเจียร -ใส่แว่นตาทุกครั้ง
Side Trimmer Operator	-Tension Meter Roll No.2	-สัมผัสกับ Strip โดยตรง -ไม่ใช่ Testing bar -ไม่มีป้ายเตือนให้ระมัดระวัง	-ระบุพื้นที่ทำงานและจุดที่ต้องระมัดระวังอันตราย
Roll Shop	-การวางแผ่นยางที่ Roll ลูกหลัง -คานของ Rack	-ตำแหน่งในการวางแผ่นยางบน Roll อยู่ไกล -คาน Rack และพื้นรองเท้าเปื้อนน้ำมัน	-วางแผ่นยางด้านนอกก่อนที่จะนำ Roll ไปวางใน Rack -จัดทำอุปกรณ์ Support

4. การทำ KYT (Kiken Yoshi Training)

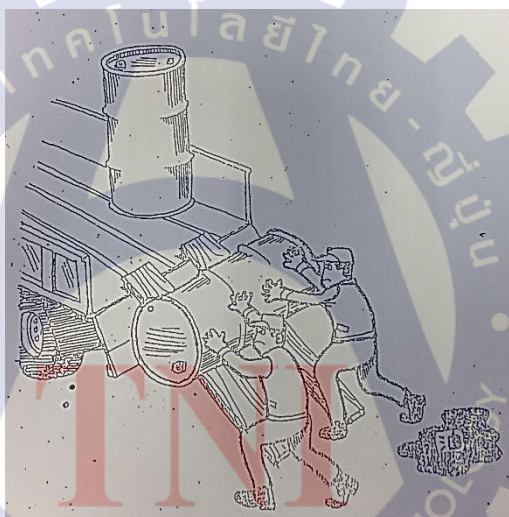
การทำมาตรการป้องกันอุบัติเหตุ ไม่ใช่เมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้น จึงเริ่มทำมาตรการป้องกัน แต่ควรต้องทำมาตรการป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดอุบัติเหตุ ดังนั้นจึงเกิดการทำ KYT เพื่อหยั่งรู้อันตรายที่จะเกิดขึ้น ขั้นตอนการทำ KYT 4 รอบ คือ

รอบ 1R พิจารณาสภาพ = การพิจารณาว่ามีอันตรายใดแอบแฝงอยู่บ้าง

รอบ 2R วิเคราะห์ปัญหา = สรุปเป้าหมายและจุดอันตรายที่จะเกิดขึ้น

รอบ 3R ค้นหามาตรการ = ควรทำการแก้ไขปัญหานี้อย่างไร

รอบ 4R วางเป้าหมายปฏิบัติ = กำหนดเป้าหมายให้แน่ชัดเพื่อการดำเนินงานอย่างจริงจัง



ภาพที่ 6.6 สภาพการทำงาน “พนักงานกำลังช่วยกันขนย้ายถังน้ำมันหนักประมาณ 200 กก. ลงจากรถบรรทุก”

จุดเสี่ยงและอันตราย :

1. พนักงานอาจลื่นล้มได้ เนื่องจากมีน้ำมันอยู่บนพื้น
2. ถังน้ำมันมีขนาดใหญ่ อาจจะทำให้พนักงานยกได้ยาก
3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเคลื่อนย้าย อาจเกิดการชำรุด หรือหักได้
4. อุปกรณ์เคลื่อนย้ายอาจมีความชันมาก ทำให้เคลื่อนย้ายไม่สะดวก

มาตรการป้องกัน :

1. ทำความสะอาด และ Check ความปลอดภัยทุกครั้งก่อนปฏิบัติงาน
2. ใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมืออื่นในการเคลื่อนย้าย เช่น รถโฟล์คลิฟท์ หรือ เครน
3. อุปกรณ์ที่เคลื่อนย้าย ควรมีการลดความชัน เพื่อเคลื่อนย้ายได้สะดวกมากขึ้น

Motto : “ใช้รถโฟล์คลิฟท์ ช่วยในการเคลื่อนย้าย”



ภาคผนวก ค.

Weekly Report



Follow up Welding condition for new material T1

[Sep 4, 2013]

Objective : นำค่า Condition ที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการผลิตจริงเพื่อปรับ Tune ให้เหมาะสม เพื่อทำเป็น Standard ในการผลิตต่อไป

Target : HC Specification BA1 , Steel Grade T1 , Thickness 2.6 mm.

HC Spec	Steel Grade	Chemical Composition (%wt)									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Al	N	Ti
		⁻² x10	⁻² x10	⁻² x10	⁻³ x10	⁻³ x10	⁻² x10	⁻² x10	⁻³ x10	⁻⁴ x10	⁻³ x10
BA1	T1	<0.2	<3	5~15	<7	<8	<5.5	<6	10~40	<40	40~60
BA3	T3	0.10~0.40	<3	50~60	<20	<23	<5.5	<6	25~65	<30	10~24
BA4	T4	3~5	<3	18~35	<20	<20	<5	<6	23~90	-	-

ผลการผลิต : จำนวน 19.24 Ton. มีรายละเอียดดังตาราง

Target					Connecting coil				Welding Condition			Result (รอบเชื่อม)
No.	HC spec	St. grade	HC Thk	Ton.	Item	HC spec	St. grade	HC Thk	FT	UL	UT	
1	BA1	T1	2.6	19.2	1.3	BA4	T4	2.3	8	3	0.3	√
					1.4	BA3	T3	2.6	12	3	0.3	√

√ : ไม่แตก สามารถใช้ในการผลิตได้

สรุปผลจากการผลิต : ค่า condition จากการทดลอง สามารถนำมาใช้ในการผลิตจริงได้ โดยไม่เกิดปัญหารอยเชื่อมแตก

Next action : พิจารณาร่วมกับ Engineer เพื่อนำไป Set up เป็น Standard Condition ในการผลิตต่อไปได้







ประวัติผู้จัดทำโครงการงานสหกิจศึกษา



ชื่อ – สกุล

นางสาว อติศา ประพันธ์วรคุณ

วัน เดือน ปีเกิด

2 ตุลาคม 2534

ประวัติการศึกษา

ระดับประถมศึกษา

พ.ศ. 2540 – พ.ศ. 2546

โรงเรียนปทุมทรัพย์

ระดับมัธยมศึกษา

พ.ศ. 2547 – พ.ศ. 2552

โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ๒

ระดับอุดมศึกษา

พ.ศ. 2553 – ปัจจุบัน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมการผลิต

สถาบันเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น

ทุนการศึกษา

ทุนสถาบันเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่นประเภทที่ 3

ประวัติการฝึกอบรม

1. เข้าร่วมโครงการ SINGHA BIZ COURSE รุ่นที่ 5

2. ศึกษาการทำงานที่บริษัท Minebea Co., Ltd.

3. ศึกษาการทำงานที่บริษัท Dailynews

4. ศึกษาการทำงานที่บริษัท CP All Co., Ltd.

5. อบรมระบบการผลิตแบบโตโยต้า (TPS)

6. อบรมมาตรฐานวัดวิทยาในอุตสาหกรรม โดย บริษัท

MITUTOYO (THAILAND) CO., LTD.

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

-ไม่มี-