

การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการเชื่อมประสานที่มีต่อความ ต้านทานแรงเฉือนในรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

เกรด SS400 และทังสเตนคาร์ไบด์

A study on influence of brazing parameters on the shear strength in joining between SS400 low carbon steel and tungsten carbide

อาทร แสงทับทิม กรรณชัย กัลยาศิริ

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการเชื่อมประสานที่มีผลต่อความต้านทานแรงเฉือนในรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS400 กับทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) โดยใช้โลหะเติมชนิด Sil CD1050-5M ซึ่งตัวแปรที่พิจารณาประกอบด้วยอุณหภูมิและเวลาทำการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3^2 ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงเฉือนระหว่างการเชื่อมประสานในเตาภายใต้บรรยากาศปกติกับการเชื่อมประสานในเตาภายใต้บรรยากาศอาร์กอน (Ar) เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ผลพบว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงเฉือน โดยการเชื่อมประสานที่อุณหภูมิ 790 °C ภายใต้บรรยากาศอาร์กอนให้ค่าความต้านทานแรงเฉือนสูงสุด

คำสำคัญ : ความต้านทานแรงเฉือน / การเชื่อมประสาน / ทังสเตนคาร์ไบด์

Abstract

The objective of this work was to study the influence of brazing parameters affecting to shear strength in joining between SS 400 low carbon steel and tungsten carbide (WC). Filler metal Sil CD1050-5M was employed in this research. The brazing parameters are brazing temperature and time. Experimental strategy used in this investigation was 3^2 factorial design with three replication. Shear strength of brazed joint between the brazing in the furnace under usual atmosphere and the brazing in the furnace under argon atmosphere was compared using analysis of variance (ANOVA) at the significance level $\alpha = 0.05$. The results show that the temperature is the significant factor that has the influence to the shear strength. The brazing temperature of 790 °C under argon atmosphere provided the maximum shear strength.

Keywords : Shear strength / Brazing / WC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

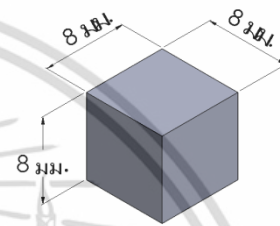
ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการหล่อที่ใช้ทรายเป็นวัสดุในการทำแบบหล่อมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่ต้องทนต่อการขัดสีและกัดกร่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเครื่องผสมทรายเนื่องจากในกระบวนการทำงานมีทั้งความร้อนและความชื้นเกิดขึ้นจึงทำให้เกิดการสึกหรอและสึกกร่อนของวัสดุ [1] ปัจจุบันได้มีการใช้วัสดุทั้งสเตนคาร์ไบด์ (WC) เกรด K20 เชื่อมติดกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS400 ซึ่งเป็นวัสดุต่างชนิดกัน โดยใช้กรรมวิธีการแล่นประสานด้วยการเติมทองเหลืองใช้เปลวไฟให้ความร้อน (Torch) แต่พบปัญหาคือ แผ่นทั้งสเตนคาร์ไบด์ ที่เชื่อมติดไว้มีการหลุดออกขณะใช้งานเนื่องจากเปลวไฟที่เป็นแหล่งความร้อนจะทำให้เกิดฟองอากาศและการหลอมเติมเนื้อโลหะผสานไม่เต็มรอยต่อ [2,3] ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าววิธีการแล่นประสานในเตาอบ (Furnace brazing) จึงได้ถูกนำมาใช้ เนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิ เวลาและบรรยากาศในการแล่นประสานได้ [4,5] จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การต่อ CBN เข้ากับเหล็ก CK45 ที่อุณหภูมิ 950°C ในเตาอบภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ซึ่งการเพิ่มเวลาแล่นประสานจะให้ความแข็งแรงของรอยต่อเพิ่มขึ้นสำหรับการต่อ WC เข้ากับ SAE 1040 โดยการแล่นประสานที่อุณหภูมิ 775°C โลหะเติมที่ใช้จะส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาคและความแข็งแรงของรอยต่อ [6,7] ดังนั้นในการแล่นประสานจึงมีหลายปัจจัยด้วยกันที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อ

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการแล่นประสานที่มีผลต่อความต้านทานแรงเฉือนในรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS400 กับทั้งสเตนคาร์ไบด์ โดยใช้โลหะเติม Si1 CD1050-5M ซึ่งตัวแปรที่พิจารณาประกอบด้วยอุณหภูมิและเวลาในการแล่นประสานตลอดจนความแตกต่างของบรรยากาศในกระบวนการแล่นประสาน นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ เพื่อหาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อความต้านทานแรงเฉือน [8,9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

ในการศึกษาใช้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS400 และทั้งสเตนคาร์ไบด์ เกรด K20 เตรียมให้ได้ขนาดเท่ากับ 8 x 8 x 8 มม. แสดงในรูปที่ 1 โดยใช้วิธีการตัดด้วยการจ่ายประจุไฟฟ้าผ่านเส้นลวดเนื่องจากวิธีนี้สามารถตัดวัสดุได้โดยไม่ต้องพิจารณาถึงค่าความแข็ง สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS400 และทั้งสเตนคาร์ไบด์เกรด K20 แสดงดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 1 ขนาดชิ้นงานสำหรับแล่นประสาน

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS400

Standard	Grade	Chemical Composition (wt.%)				
		C	Si	Mn	P	S
TIS1227-2539	SS400	0.00	-	-	0.05	0.05

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของทั้งสเตนคาร์ไบด์ K20

Standard	Chemical Composition (wt.%)		Grain	Density	HRA	T.R.S
ISO K20	93 WC	7 Co	1.5 μm .	14.75 g/cm^3	913	300 kgf/cm^2

โลหะเติมที่ใช้ในการทดลอง คือ Si1 CD1050-5M มีองค์ประกอบทางเคมีแสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งมีองค์ประกอบของ Ag-Cu-Zn เป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการแล่นประสานระหว่างโลหะต่างชนิดได้ดี เนื่องจากมีความสามารถแทรกตัวในช่องว่างระหว่างรอยต่อได้เป็นอย่างดี [10,11]

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของโลหะเติม [12]

Item	Chemical composition (wt.%)								Solidus (°C)	Liquidus (°C)	Brazing temperature (°C)
	Ag	Cu	Zn	Cd	Sn	Ni	Mn	In			
SiI CD 1050-5M	49	27.5	20.5	-	-	0.5	2.5	-	630	670	670 - 790

นำโลหะเติมมาเตรียมให้มีขนาดเท่ากับ 8 x 8 x 0.5 มม. ขั้นตอนการแล่นประสานนำโลหะพื้นทั้งสองชนิดมาขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 320 และ 400 แล้วล้างทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์และอะซิโตน (Acetone) จากนั้นจึงนำโลหะทั้งสองชนิดมาจุ่มฟลักซ์แบบครีมชนิด F-10HB [12] เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน และเพื่อช่วยให้ชิ้นงานเชื่อมติดกันง่ายขึ้น หลังจากจุ่มชิ้นงานในฟลักซ์แล้วจึงนำมาวางหรือจับยึดบนฟิกเจอร์ โดยต่อแบบต่อชน (Butt joint) ตามมาตรฐาน ISO 6974 และทำการสอดแผ่นโลหะเติมไว้ระหว่างรอยต่อของโลหะทั้งสองชนิดดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งกำหนดให้ SS400 อยู่ด้านล่างและนำไปแล่นประสานในเตาอบไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 3 โดยจะควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการแล่นประสานที่ 3 ระดับซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ คือ 700, 750 และ 790 °C เวลาในการแล่นประสานที่ 10, 15 และ 20 นาที ภายใต้บรรยากาศปกติและก๊าซอาร์กอน โดยข้อมูลตัวแปรและระดับในการทดลองแสดงดังตารางที่ 4 ในการทดลองใช้การทดลองแบบแฟกทอเรียล 3² ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง หลังจากการแล่นประสานนำชิ้นงานออกจากเตาอบแล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ

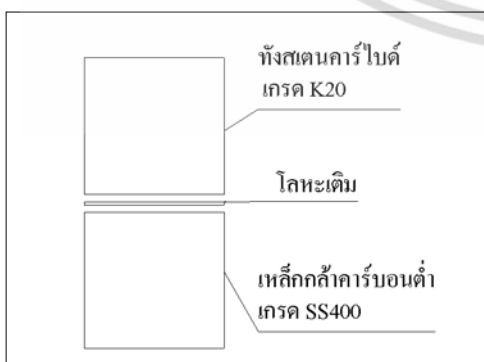


รูปที่ 3 เตาอบที่ใช้ในการทดลอง

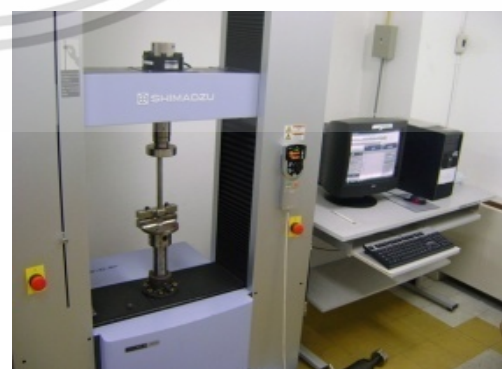
ตารางที่ 4 ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการแล่นประสาน

ระดับ	1		2		3	
	อาร์กอน	อากาศ	อาร์กอน	อากาศ	อาร์กอน	อากาศ
ปัจจัย						
อุณหภูมิ (°C)	700	700	750	750	790	790
เวลา (นาที)	10	10	15	15	20	20

นำชิ้นงานตัวอย่างมาทดสอบความต้านทานแรงเฉือนโดยใช้การทดสอบชิ้นงานตามมาตรฐาน JIS Z 3192 ใช้ความเร็วในการทดสอบที่ 15 มม./นาที ด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AG-X แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 2 ลักษณะของการเชื่อมต่อชิ้นงาน



รูปที่ 4 เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ยี่ห้อ Shimadzu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

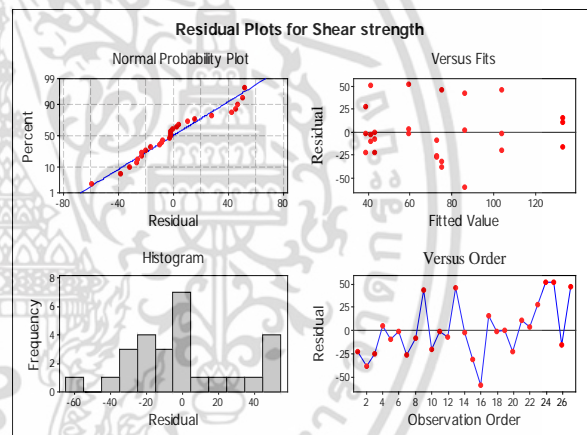
3.ผลการทดลอง

จากการทดลองโดยกำหนดตัวแปรและระดับในการทดลองแตกต่างกันแสดงผลความต้านแรงเฉือนระหว่างการเล่นประสานภายใต้บรรยากาศปกติและบรรยากาศอาร์กอนดังตารางที่ 5

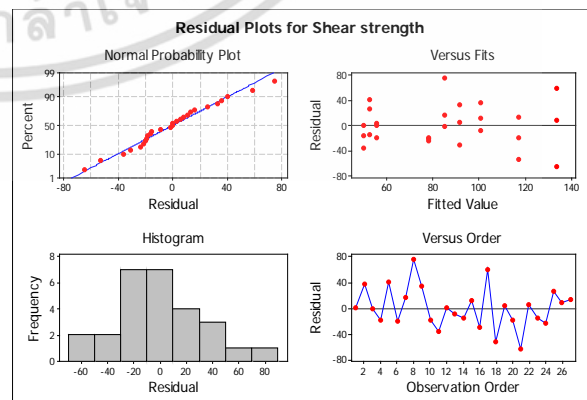
ตารางที่ 5 ผลการทดลองจากตัวแปรและระดับที่แตกต่างกัน

ลำดับการทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ความต้านทานแรงเฉือน (นิวตัน/ม ²)	
			บรรยากาศปกติ	บรรยากาศอาร์กอน
1	700	10	16.07	49.47
2	790	20	36.77	137.19
3	750	15	46.81	83.76
4	750	20	63.30	59.04
5	700	15	31.37	93.26
6	750	20	57.54	56.95
7	750	15	45.77	101.36
8	750	15	64.28	159.78
9	750	10	128.26	125.03
10	790	15	83.76	98.64
11	700	10	36.95	13.36
12	700	20	35.46	55.61
13	790	20	120.78	92.12
14	700	15	38.67	37.34
15	790	20	43.73	111.68
16	750	10	26.45	61.01
17	790	10	148.60	192.88
18	790	15	102.09	64.27
19	700	20	42.75	58.35
20	700	20	20.56	35.80
21	790	10	144.00	69.52
22	750	10	88.70	97.42
23	700	10	66.57	33.75
24	750	20	111.01	54.65
25	700	15	92.02	78.22
26	790	10	116.93	142.00
27	790	15	150.88	130.60

ในเบื้องต้นนำข้อมูลจากตารางที่ 5 มาตรวจสอบสมมติฐานทางสถิติได้แก่ ความเป็นปกติ (Normality) ความเป็นอิสระ (Independence) และความแปรปรวนคงที่ (Constant Variance) ของข้อมูลซึ่งสามารถแสดงผลจากการตรวจสอบได้ดังรูปที่ 5 สำหรับในกรณีค่าความต้านทานแรงเฉือนภายใต้บรรยากาศปกติ และรูปที่ 6 สำหรับค่าความต้านทานแรงเฉือนในกรณีทดลองภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ผลการตรวจสอบสมมติฐานของข้อมูลพบว่าไม่มีการละเมิดสมมติฐานแต่อย่างใด คือค่าส่วนตกค้างของการแจกแจงปกติมีการเกาะกลุ่มกันไปในลักษณะเส้นตรง ความเป็นอิสระของข้อมูลพบว่าไม่มีรูปแบบหรือแนวโน้มใดๆ และความแปรปรวนคงที่พบว่าข้อมูลมีความสม่ำเสมอและเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการทดลองจึงมีความเชื่อถือได้



รูปที่ 5 การตรวจสอบสมมติฐานค่าความต้านทานแรงเฉือนในการเล่นประสานภายใต้บรรยากาศปกติ



รูปที่ 6 การตรวจสอบสมมติฐานค่าความต้านทานแรงเฉือนในการเล่นประสานภายใต้บรรยากาศอาร์กอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ท่านไปเผยแพร่ข้อมูลใดๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main Effects) และปัจจัยร่วม (Interaction) ที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงเฉือนโดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ด้วยโปรแกรม MINITAB V.16 สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 6 และ 7 สำหรับค่าความต้านทานแรงเฉือนจากการทดลองภายใต้บรรยากาศปกติและบรรยากาศอาร์กอนตามลำดับ

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ค่าความต้านทานแรงเฉือนของการเล่นประสานภายใต้บรรยากาศปกติ

Source	Seq SS	DF	Adj MS	F-ratio	P-value
Temp.	17868	1	17868.1	18.83	0.000
Time	3217	1	3216.8	3.39	0.079
Temp.*Time	2928	1	2927.5	3.08	0.092
Error	21827	23	949.0		
Total	45840	26			

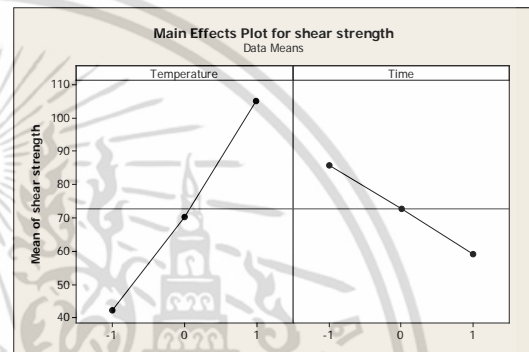
ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ค่าความต้านทานแรงเฉือนของการเล่นประสานภายใต้บรรยากาศอาร์กอน

Source	Seq SS	DF	Adj MS	F-ratio	P-value
Temp.	18930.7	1	18930.7	16.51	0.000
Time	841.2	1	841.2	0.73	0.401
Temp.*Time	1132.8	1	1132.8	0.99	0.331
Error	26380.2	23	1147.0		
Total	47284.9	26			

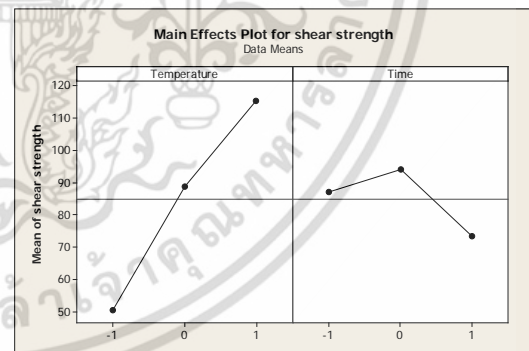
จากตารางที่ 6 และ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อเลือกตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงเฉือนที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่า ปัจจัยหลัก คือ อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงเฉือนอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P - value มีค่าน้อยกว่า 0.05 แต่สำหรับปัจจัยหลักเวลาและปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาไม่มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงเฉือน เนื่องจากค่า P - value มีค่ามากกว่า 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 7 และ 8 แสดงผลของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงเฉือน โดยค่าความต้านทานแรงเฉือนในการศึกษามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อกำหนดค่าตัวแปรอุณหภูมิในระดับสูง (1) หรือที่อุณหภูมิ 790 °C โดยให้ค่าความต้านทานแรงเฉือนที่สูงกว่าการกำหนดค่าตัวแปรอุณหภูมิในระดับกลาง (0) และการกำหนดค่าตัวแปรอุณหภูมิในระดับต่ำ (-1) หรือที่อุณหภูมิ 750 °C และ 700 °C ตามลำดับ



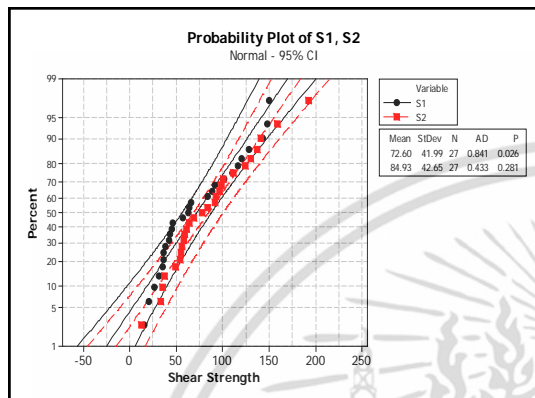
รูปที่ 7 ผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงเฉือนของการเล่นประสานภายใต้บรรยากาศปกติ



รูปที่ 8 ผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงเฉือนของการเล่นประสานภายใต้บรรยากาศอาร์กอน

เมื่อนำผลของค่าความต้านทานแรงเฉือนมาเปรียบเทียบกับระหว่างการเล่นประสานภายใต้บรรยากาศปกติกับภายใต้บรรยากาศอาร์กอนดังรูปที่ 9 โดยกำหนดให้ S1 คือ การเล่นประสานในเตาภายใต้บรรยากาศปกติ

และ S2 คือ การแล่นประสานในเตาภายใต้บรรยากาศอาร์กอน จะเห็นได้ว่าการแล่นประสานในเตาภายใต้บรรยากาศอาร์กอนได้ค่าความต้านทานแรงเฉือน สูงสุดคือ >190 นิวตัน/มม.² ซึ่งมากกว่าการแล่นประสานภายใต้บรรยากาศปกติที่ได้ค่าความต้านทานแรงเฉือนสูงสุดคือ >145 นิวตัน/มม.² ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 9 เปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงเฉือนระหว่างการแล่นประสานในเตาภายใต้บรรยากาศปกติกับการแล่นประสานในเตาภายใต้บรรยากาศอาร์กอน

4. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยกำหนดระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ สามารถสรุปได้คือปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงเฉือนในการแล่นประสานภายใต้บรรยากาศปกติและบรรยากาศอาร์กอน พบว่าปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงเฉือน โดยอุณหภูมิสูงสุดที่ 790 °C จะมีค่าความต้านทานแรงเฉือนสูงสุดและเมื่อลดอุณหภูมิต่ำลงทำให้ค่าความต้านทานแรงเฉือนมีแนวโน้มลดต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงเฉือนระหว่างการแล่นประสานในเตาภายใต้บรรยากาศปกติกับการแล่นประสานในเตาภายใต้บรรยากาศอาร์กอนจะเห็นได้ว่าการแล่นประสานในเตาภายใต้บรรยากาศอาร์กอนจะให้ค่าความต้านทานแรงเฉือนได้มากกว่าการแล่นประสานในเตาภายใต้บรรยากาศปกติ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] S.D. Cramer , B.S. Covino , “ ASM Handbook ” Vol.13B,Corrosion:Material,ASM International, pp.5-10, 2005.
- [2] David Leroy Olson , Thomas A. Siewert, Stephen Liu, and Glen R. Edwards, “ASM Handbook” ,Vol.6 Welding Brazing and Soldering. ASM International, 1993.
- [3] Mehmet Uzkut , N. Sinan KÖksal , B. Sadik ünlü , “The determination of element diffusion in connecting SAE 1040/WC material by brazing.” Journal of Materials Processing Technology 169, pp.409-413, 2005.
- [4] T. Noda, T. Shimizu, M. Okabe, T. Iikubo “Joining of TiAl and steels by induction brazing”Materials Science & Engineering A239 – 240, pp.613 – 618, 1997.
- [5] J.D. Boughton and P.M. Roberts, “ Furnance Brazing ,A Survey of Modern Processes and Plant” Johnson Matthey Matals Limited, London .
- [6] R. Johari Miab, and A.M. Hadian, “Effect of brazing time on microstructure and mechanical properties of cubic boron nitride/steel joints” Ceramics International, pp.1-6, January, 2014.
- [7] M. Uzkut, N. Sinan Koksall, and B. Sadik Unlu. “The determination of element diffusion in connecting SAE 1040/WC material by brazing” Journal of Materials Processing Technology 169 ,409-413,2005.
- [8] M.H. Sloboda, “Design and Strength of Brazed Joint” Johnson Matthey & Co Limited,London , July, 1961.
- [9] D.R. Cox, and N. Reid, “The Theory of the Design of Experiments” CHAPMAN & HALL/CRC Boca Raton London New York Washington, D.C.
- [10] Zhiyong He, Liping Ding “Investigation on Ag-Cu-Sn brazing filler metals” Material Chemistry and Physics 49,pp.1-6,1997.
- [11] L.Sisamouth, M.Hamdi, T.Ariga, “Investigation of gap filling ability of Ag-Cu-In brazing filler metals.” Journal of alloys and Compounds 504, pp.325-329, 2010.
- [12] NEIS (Thailand) Co.,Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้