

แบบจำลองของกระบวนการเชื่อมเลเซอร์สำหรับการเชื่อมรอยต่อเกย

Modeling of Laser Bonding Process for Bonding Lab Joint

ธนพงศ์ ปัญจิต, กิรติ สุลักษณ์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง นครราชสีมา 30000

*อีเมล: B4804055@hotmail.com โทรศัพท์ 0-8287-16290 โทรสาร 0-4422-4413

บทคัดย่อ

กระบวนการเชื่อมเลเซอร์มีความสำคัญต่อการประกอบวงจรชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ กระบวนการดังกล่าวมีพารามิเตอร์หลายตัวที่ต้องควบคุมเพื่อให้การเชื่อมมีคุณภาพ ได้แก่ กระแสไฟฟ้า เวลา แรงดันไนโตรเจน ความสูงหัวเชื่อม และตำแหน่งระหว่างรอยต่อ การศึกษาคูณลักษณะและผลกระทบของพารามิเตอร์แต่ละตัวจึงมีความสำคัญต่อการปรับปรุงคุณภาพงานเชื่อม งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ดังกล่าวที่มีต่อการเกิดมุมเงยตัวของชิ้นงานรอยต่อเกยหลังเชื่อม วิธี Box-Behnken ถูกนำมาใช้ออกแบบการทดสอบ พารามิเตอร์ของเครื่องเชื่อมถูกแปรค่าการทดสอบบนช่วงที่การเชื่อมเกิดขึ้นได้ ข้อมูลการทดสอบถูกนำไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยให้ความสนใจความแปรปรวนเป็นหลัก จากนั้นนำไปสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างมุมเงยตัวและพารามิเตอร์การเชื่อม แบบจำลองที่ได้บ่งชี้ถึงผลกระทบของแต่ละปัจจัยที่มีต่อมุมเงยตัวซึ่งนำไปสู่การปรับใช้ในกระบวนการเชื่อมได้

คำหลัก: การเชื่อมเลเซอร์, ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์, การออกแบบการทดลอง, มุมเงย, สมการความสัมพันธ์

Abstract

Laser welding process plays important role in assembling the hard disk drive component. In the process, there are many parameters that must be controlled in order to yield the good welding quality such as welding current, welding time, nitrogen pressure, welding height and location of the joins. An understanding in the characteristics of those parameters makes the engineers to improve the quality of welding. This research studies the effects of those influent parameters to the pitch angle of the lab joints. The Box-Behnken method is investigated for design the experiment. The parameters for controlling the machine are varied within the available range of the welding. The experimental data is taken into account for analyzing statistically and the variation of the data is of interest. The experimental data is then taken into account for formulating the correlations between the pitch angle and those welding parameters. The correlations can be used to predict the effect of each parameter to the pitch angle and the leading to applying in the welding process.

Keywords: Laser welding, Hard disk drive, Design of experiment, Pitch angle, Correlation.

1. บทนำ

กรรมวิธีหรือกระบวนการใดที่ต้องการให้เนื้อวัสดุมาประสานกันจะต้องอาศัยกระบวนการเชื่อม ซึ่งการเชื่อมในปัจจุบันมีหลายประเภทมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ก็เช่นกัน กระบวนการเชื่อมที่ใช้ในการประกอบวงจรขึ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์คือกระบวนการเชื่อมเลเซอร์ เนื่องจากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็ก และต้องการความเที่ยงตรงสูงในการเชื่อม ถึงแม้ว่าการเชื่อมเลเซอร์จะมีข้อดีคือความร้อนที่สะสมในเนื้อวัสดุน้อย โครงสร้างของชิ้นงานไม่เสียหาย แต่การเชื่อมเพื่อประกอบวงจรขึ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีลักษณะเป็นรอยต่อเกย จะทำให้เกิดการงอตัวขึ้นจากกระบวนการดังกล่าว ดังนั้นการศึกษาคูณลักษณะและผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ ของกระบวนการเชื่อมจึงมีความสำคัญต่อการปรับปรุงคุณภาพงานเชื่อม

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบการทดลอง

Montgomery [1] กล่าวว่า ถ้าต้องการให้การทดลองเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุด จะต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยวางแผนการทดลอง คำว่า “การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical design of experiment)” หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้สามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองเชิงสถิติเป็นสิ่งที่จำเป็น ถ้าต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่มีอยู่ ยิ่งถ้าปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวกับความผิดพลาดในการทดลอง (experiment error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการ สำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองคือการออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ศาสตร์ทั้งสองนี้มีความ

เกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่นำมาใช้

2.2 การทดลองแบบ Box-Behnken

ประไพศรี และพงศ์ชนัน [4] กล่าวว่า การทดลองแบบ Box-Behnken เป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพและนิยมใช้มากในกรณีศึกษาปัจจัยที่ 3 ระดับ โดยเฉพาะกรณีที่ต้องการสร้างสมการตัวแบบเมื่อปัจจัยเป็นปัจจัยเชิงปริมาณ ลักษณะของการออกแบบวิธี Box-Behnken จะใช้หลักการของ 2^2 แฟคทอเรียลเติมรูปแบบวกกับจุดกึ่งกลางรวมเข้าไป ข้อดีคือสามารถศึกษาผลกระทบเชิงเส้น (linear effect) ผลกระทบกำลังสอง (quadratic effect) และอันตรกิริยาหรือผลรวม 2 ปัจจัยได้

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่มีต่อการงอตัวของชิ้นงานรอยต่อเกย และสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างมุมงอตัวและพารามิเตอร์การเชื่อม ซึ่งปัจจัยที่จะศึกษาแสดงในตารางที่ 1 โดยการทดลองแบบ Box-Behnken ได้กำหนดระดับของปัจจัยไว้ที่ 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง

ตารางที่ 1 ปัจจัย ระดับและขอบเขตของปัจจัย

ปัจจัย	ระดับ		
	ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (+1)
1. กระแสไฟฟ้า	1500	1700	1900
2. เวลา	1	1.5	2
3. แรงดันไนโตรเจน	45	62.5	80
4. ความสูงหัวเชื่อม	170	285	400
5. ตำแหน่งระหว่างรอยต่อ	-20	-5	10

3.2. การทดสอบ

การทดสอบดำเนินการตามแผนการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา

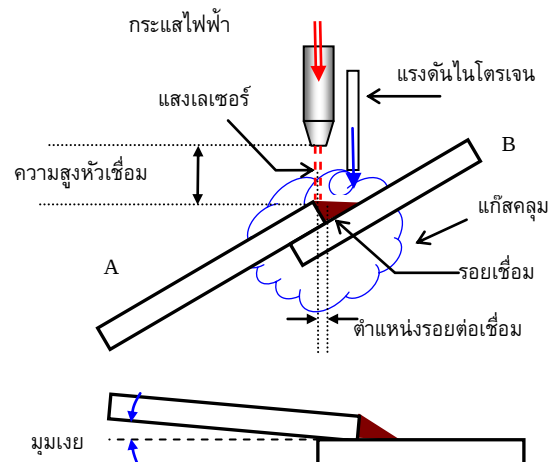
กระบวนการเชื่อมเลเซอร์มี 5 ปัจจัย มีการทดสอบทั้งหมด 46 ชุดการทดสอบ โดยการทดสอบนี้มีการทำซ้ำ 2 ครั้ง ดังนั้นการทดสอบจึงมีทั้งสิ้น 92 การทดสอบ กระบวนการทดสอบดำเนินการโดยโปรแกรม Minitab ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ [2] ได้รูปแบบการทดสอบดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างรูปแบบการทดลองแบบ Box-Behnken ที่ได้จากโปรแกรม Minitab

Std Order	Run Order	A	B	C	D	E
22	1	0	1	-1	0	0
44	2	0	0	0	0	0
29	3	0	0	-1	0	-1
70	4	0	1	1	0	0
48	5	1	-1	0	0	0
69	6	0	-1	1	0	0
36	7	1	0	0	0	1
51	8	0	0	-1	-1	0
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
88	89	0	0	0	0	0
24	90	0	1	1	0	0
2	91	1	-1	0	0	0
9	92	0	-1	0	0	-1

ปัจจัยที่ใช้ในการเชื่อมและช่วงการปรับค่ามีดังนี้ กระแสไฟฟ้า (A) 1500-1900 มิลลิแอมป์ เวลา (B) 1-2 มิลลิวินาที แรงดันไนโตรเจน (C) 45-80 มิลลิบาร์ ความสูงหัวเชื่อม (D) 170-400 ไมโครเมตร และ ตำแหน่งระหว่างรอยต่อ (E) -20-10 ไมโครเมตร การทดสอบจะดำเนินการแบบสุ่มตามลำดับ กระบวนการเชื่อมแสดงดังรูปที่ 1 ขั้นตอนการเชื่อมจะเริ่มจาก กระแสไฟฟ้าส่งผ่านพลังงานให้เกิดลำแสงเลเซอร์ในช่วงเวลาที่เหมาะสมเพื่อใช้หลอมโลหะให้ติดกับแผ่นเหล็กสองแผ่นวางตัวในลักษณะเกยกัน ซึ่งแผ่นเหล็กนี้จะวางตัวทำมุมกับแนวระดับที่มุม 45 องศา โดยความสูงระหว่างหัวเชื่อมถึงแผ่นเหล็กเกยเรียกว่าความสูง

หัวเชื่อม ตำแหน่งระหว่างแผ่นเหล็กสองแผ่นและลำแสงเลเซอร์ในแนวระดับเรียกว่าตำแหน่งระหว่างรอยต่อเกย แก๊สไนโตรเจนถูกใช้เพื่อคลุมบริเวณรอยเชื่อมป้องกันมิให้ออกซิเจน และความชื้นในอากาศเข้าไปรวมตัวกับรอยเชื่อม หลังจากการเชื่อมเสร็จสมบูรณ์แผ่นเหล็กจะเกิดการงอตัว ผลกระทบของมุมงอนี้เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดในกระบวนการและต้องมีการปรับปรุงเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดี



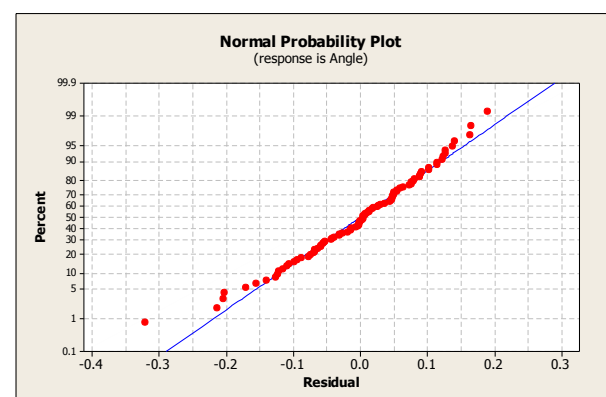
รูปที่ 1 ลักษณะงานเชื่อมของรอยต่อเกย

4. การตรวจสอบข้อมูลผลการทดลอง

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ โดยมีการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลดังนี้

4.1 การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ

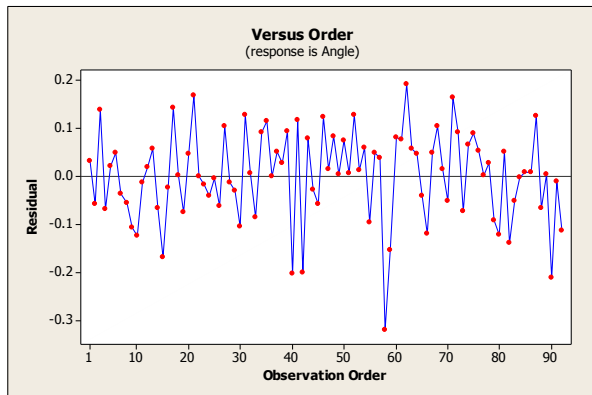
เป็นการตรวจสอบส่วนตกค้างของข้อมูลว่ามีการกระจายแบบแจกแจงปกติหรือไม่ ซึ่งจากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างจากการทดสอบค่ามุมเกย ไม่แสดงสิ่งผิดปกติให้เห็น



รูปที่ 2 การกระจายแบบแจกแจงปกติส่วนตกค้าง

4.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

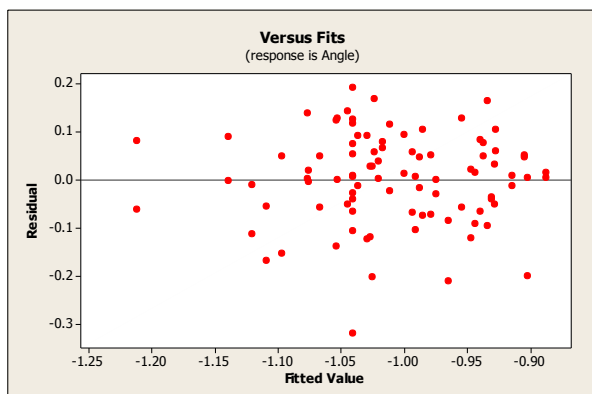
แผนภูมิการกระจายใช้สังเกตลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิ ว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่ จากรูปที่ 3 ส่วนตกค้างของผลการทดลอง มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอแสดงว่าข้อมูลมีความอิสระ



รูปที่ 3 กราฟส่วนตกค้างกับลำดับของข้อมูล

4.3 การตรวจสอบเสถียรภาพความแปรปรวน

การตรวจสอบเสถียรภาพความแปรปรวน โดยใช้แผนภูมิการกระจายค่าความคาดเคลื่อน พบว่าส่วนตกค้างของผลการทดลองมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ จากรูปที่ 4 แสดงว่าข้อมูลมีเสถียรภาพความแปรปรวน



รูปที่ 4 กราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนาย

5. ผลการทดสอบ

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติถูกประมวลผลด้วยโปรแกรม MINITAB ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ที่มีต่อกระบวนการเชื่อม โดยกำหนดพารามิเตอร์แทนปัจจัยต่างๆ ดังนี้ กระแสไฟฟ้า (A) เวลา (B) แรงดันไนโตรเจน (C)

ความสูงหัวเชื่อม (D) และตำแหน่งระหว่างรอยต่อ (E) ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3

6. แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างมุมบิดตัวและพารามิเตอร์การเชื่อม

จากค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ สามารถนำมาสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างมุมเงยตัวและพารามิเตอร์การเชื่อมได้ดังสมการที่ 1

$$\begin{aligned} \text{Angle} = & 6.2096 - (6.959B - 1.998BB) \times 10^{-1} \\ & - (1.256C + 1.157E) \times 10^{-2} \\ & - (-7.700A - 1.318D + 1.613BC - 2.820BE) \times 10^{-3} \\ & - (-2.182AB + 6.145BD - 2.419CE) \times 10^{-4} \\ & - (1.119CC - 1.238AC + 1.472CD) \times 10^{-5} \\ & - (-1.856AA + 1.425DD + 4.410EE + 4.054AE \\ & - 8.728DE) \times 10^{-6} \\ & - (-9.619AD) \times 10^{-7} \end{aligned} \quad (1)$$

7. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์การออกแบบการทดลองทางสถิติ ในการศึกษาคุณลักษณะและผลกระทบของพารามิเตอร์ที่มีต่อการเงยตัวในกระบวนการเชื่อมเลเซอร์ของการประกอบวงจรชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยปัจจัยที่ศึกษามี 5 ปัจจัยได้แก่ กระแสไฟฟ้า เวลา แรงดันไนโตรเจน ความสูงหัวเชื่อม และตำแหน่งระหว่างรอยต่อ จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวนจึงสามารถนำมาสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างมุมเงยตัวและพารามิเตอร์การเชื่อม เพื่อการปรับปรุงคุณภาพงานเชื่อมของกระบวนการเชื่อมเลเซอร์ในการประกอบวงจรชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (IUCRC) สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัยและบริษัท Seagate Technology (Thailand) Ltd. สำหรับการสนับสนุนด้านวัสดุและเครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Montgomery, D.C. (2009). *Design and analysis of Experiments*, 7th ed, The United States of America: John Wiley & Sons, 2009
- [2] "Meet Minitab 15." 2007
- [3] Box, G.E.P., Behnken, D.W., 1960. Some new three level designs for the study of quantitative variable. *Technometrics* 2, 455-475
- [4] ประไพศรี สุกตน์ ณ อุทยาน, พงศ์ชนัน เหลืองไพบุลย์ (2551). การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง, กรุงเทพฯ : ท้อป
- [5] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2545). สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 1 (ประมวลผลด้วย MINITAB), สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [6] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2545). สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2 (ประมวลผลด้วย MINITAB), สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติถูกประมวลผลด้วยโปรแกรม MINITAB

Response Surface Regression: Angle versus A, B, C, D, E

Estimated Regression Coefficients for Angle

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	6.20959	2.74188	2.265	0.027
A	-0.00770	0.00238	-3.234	0.002
B	-0.69585	0.78098	-0.891	0.376
C	-0.01256	0.02263	-0.555	0.581
D	0.00132	0.00336	0.392	0.696
E	-0.01157	0.02140	-0.541	0.590
A*A	0.00000	0.00000	2.918	0.005
B*B	0.19976	0.10175	1.963	0.054
C*C	-0.00001	0.00008	-0.135	0.893
D*D	-0.00000	0.00000	-0.741	0.461
E*E	-0.00000	0.00009	-0.052	0.959
A*B	0.00022	0.00038	0.581	0.563
A*C	0.00001	0.00001	1.153	0.253
A*D	0.00000	0.00000	0.589	0.558
A*E	-0.00000	0.00001	-0.380	0.705
B*C	-0.00161	0.00429	-0.376	0.708
B*E	0.00282	0.00426	0.662	0.510
C*D	-0.00001	0.00002	-0.788	0.433
C*E	0.00024	0.00012	1.986	0.051
D*E	0.00001	0.00002	0.471	0.639

S = 0.106279 PRESS = 1.30916

R-Sq = 34.58% R-Sq(pred) = 0.00%

R-Sq(adj) = 16.16%

Analysis of Variance for PSA

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	20	0.42399	0.42399	0.021200	1.88	0.028
Linear	5	0.15982	0.14269	0.028537	2.53	0.037
Square	5	0.16920	0.16920	0.03384	3.00	0.016
Interaction	10	0.09498	0.09498	0.009498	0.84	0.591
Residual Error	71	0.80196	0.80196	0.011295		
Lack-of-Fit	20	0.24591	0.24591	0.012296	1.13	0.353
Pure Error	51	0.55604	0.55604	0.010903		
Total	91	1.22595				

Estimated Regression Coefficients for PSA

Term	Coef
Constant	6.20959
A	-0.00770251
B	-0.695854
C	-0.0125629
D	0.00131751
E	-0.0115740
A*A	1.85565E-06
B*B	0.199764
C*C	-1.11886E-05
D*D	-1.42518E-06
E*E	-4.40887E-06
A*B	0.000218206
A*C	1.23770E-05
A*D	9.61848E-07
A*E	-4.05387E-06
B*C	-0.00161316
B*D	-6.14504E-04
B*E	0.00282009
C*D	-1.47149E-05
C*E	0.000241850
D*E	8.72813E-06