

อิทธิพลตัวแปรการเชื่อมแบบหมุนวนอิเล็กโทรดต่อสมบัติของโลหะเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304

Effect of Rotating TIG Welding Electrode on AISI304 Welds Properties

กิตติพงษ์ กิมะพงศ์^{1*} บุญส่ง จงกลณี² และ ประจักษ์ อ่างบุญตา³

^{1,2,3}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

E-mail: kittipong.k@en.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดประสงค์หลักในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อมทิกหมุนวนอิเล็กโทรดที่ประกอบด้วยความเร็วในการหมุนวนและความเร็วเดินแนวเชื่อม ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ การเพิ่มความเร็วรอบการหมุนอิเล็กโทรด ความเร็วในการเดินแนว และกระแสไฟฟ้าเชื่อม ส่งผลโดยตรงทำให้ระยะห่างระหว่างแกนเดนไดรท์ทุติยภูมิลดลง แต่หากเพิ่มความเร็วรอบการหมุนมากเกินไป ทำให้น้ำโลหะกระเด็นออกจากบ่อหลอมละลายและไม่ทำให้เกิดแนวเชื่อมขึ้น ค่าความเร็วเดินแนวและกระแสไฟฟ้าที่มากเกินไป ทำให้ระยะห่างระหว่างแกนเดนไดรท์ทุติยภูมิเพิ่มขึ้น ตัวแปรการเชื่อมที่มีค่าเหมาะสมที่สุด ที่ทำให้เกิดโครงสร้างเดนไดรท์ที่เล็กและละเอียดสุด คือ ความเร็วรอบ 300 rpm ความเร็วเดินแนว 175 mm/min และกระแสไฟฟ้า 70 แอมแปร์ ที่ค่าประมาณ 5.5104 μm

คำหลัก การเชื่อมทิก; ระยะห่างระหว่างแกนเดนไดรท์; โครงสร้างจุลภาค;

Abstract

This paper aims to study an effect of the rotating electrode TIG welding parameters such as a rotating speed and a welding speed on a

variation of a welded metal microstructure. The main results are as follows. Increasing of a rotating speed, a welding speed and a welding current affected directly to decrease secondary dendrite arm spacing (SDAS). However, when the rotating speed was too high, the molten metal in the weld was seriously splashed out from the welded pool and produced an incomplete weld metal. The too high welding speed and welding current also increased SDAS. The optimum condition that could obtained the fine SDAS was a rotating speed of 300 rpm, a welding speed of 175 mm/min and a welding current of 70A with SDAS of 5.5104 μm .

Keywords: GTAW; secondary dendrite arm spacing; microstructure;

1. บทนำ

เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 เป็นโลหะสำคัญในงานอุตสาหกรรมและชีวิตประจำวัน ที่มีการใช้งานในประเทศไทยอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น การทำอุปกรณ์เครื่องครัว อุปกรณ์เกี่ยวกับการผลิตอาหารหรือชิ้นส่วนต่างๆ ที่ต้องการวัสดุที่มีความต้านทานต่อการกัดกร่อน ในการนำเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 มา

ใช้งาน ในงานอุตสาหกรรมการทำเครื่องครัว การต่อ
ยึดเหล็กกล้าไร้สนิมเข้าด้วยกันที่มีความนิยมนิยมโดยทั่วไป
คือ การเชื่อมทิก (Tungsten Inert Gas: TIG) แต่
ข้อเสียของการเชื่อมนี้ คือ โลหะแนวเชื่อมจะเกิดการ
หลอมละลายเนื่องจากความร้อน และเกิดการแข็งตัว
และก่อตัวของโครงสร้างเดนไดรต์ (Dendrite struc-
ture) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความแข็ง และส่งผลเสียทำ
ให้ชิ้นงานที่ประกอบยากต่อการขึ้นรูป พับ ดัดโค้งเป็น
รูปร่างต่างๆ ดังนั้นกระบวนการทำลายโครงสร้างเดน
ไดรต์ เพื่อให้ได้โครงสร้างเกรนที่มีความกลมมนจึงเป็น
ที่ต้องการเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นลักษณะโครงสร้าง
ที่ความแข็งต่ำ มีความเหนียว สามารถทำการขึ้นรูปได้
ง่าย

ที่ผ่านมา มีรายงานผลการวิจัยที่ทำการลด
ขนาดเม็ดเกรนในโลหะเชื่อม เช่น Mohandas and
Reddy [1] ศึกษาเปรียบเทียบการใช้การเชื่อมทิกแบบ
ต่อเนื่องและแบบพัลส์ เพื่อการเชื่อมเหล็กกล้าความ
แข็งแรงสูง พบว่าการเชื่อมทิกแบบกระแสต่อเนื่อง ทำ
ให้ได้โครงสร้างที่มีรูปร่างเกรนที่มีความยาวแบบคอกลม
นำ ขณะที่กระแสแบบพัลส์นั้น ให้โครงสร้างผลึกที่มี
รูปร่างเกรนที่สมมาตร ขนาดเกรนในพื้นที่การหลอมละลาย
มีขนาดเล็กกว่า ทำให้ค่าความแข็งแรงที่แข็งแรง
กว่า กระแสแบบต่อเนื่องไม่แสดงค่าร้อยละการยึดตัว
ขณะที่กระแสแบบพัลส์นั้นให้ร้อยละการยึดตัวเท่ากับ 5
และเกิดการแยกตัวส่วนผสมทางเคมี (Segre-
gation) ต่ำกว่า ส่งผลทำให้รอยเชื่อมมีค่าความแข็งแรงสูง
Reynolds *et al.* [2] ทำการลดขนาดของรอย
ต่อชนเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304L หนา 3.2 มม ด้วย
การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน พบค่าความเร็ว
รอบที่สูงกว่าให้ความร้อนต่อแนวเชื่อมที่สูง ความร้อน

ที่ต่ำกว่าทำให้เกิดอุณหภูมิแนวเชื่อมต่ำ เม็ดเกรนใน
รอยเชื่อมมีขนาดที่เล็กละเอียดและมีความแข็งแรงกว่า
ความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นในแนวเชื่อมมีลักษณะเดียวกับ
ที่เกิดขึ้นในแนวเชื่อมด้วยการหลอมละลาย และพบ
ขนาดเกรนของแนวเชื่อมมีขนาดลดลงต่ำสุดประมาณ
7.6 μm Liu *et al.* [3] ศึกษาการทำให้เกิดผลึกใหม่ที่
ผิวหน้าของเหล็กกล้าไร้สนิม 316L โดยการใช้ใช้เทคนิค
อัลตราโซนิกซีดพื้นนิ่ง ในการลดขนาดเกรนของ
พื้นผิวความลึกไม่เกิน 30 μm ของเหล็กกล้าไร้สนิม
316L พบชั้นของผลึกระดับนาโนที่ผิวหน้าประมาณ
ความลึก 5 μm ทำให้เกิดเม็ดเกรนขนาดประมาณ 10
nm และมีการเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบที่ความลึกของ
ชั้นผิว 5-30 μm โครงสร้างประกอบด้วยเกรนละเอียด
และซับเกรนที่ขนาดประมาณ 10 - 100 μm การเพิ่ม
ค่าการสั่นสะเทือนไม่ส่งผลต่อขนาดเกรนที่ผิวหน้าของ
ชิ้นงาน แต่ส่งผลต่อความลึกของการเปลี่ยนแปลงเม็ด
เกรนที่ลึกลง การเปลี่ยนแปลงของขนาดเกรนเกิดจาก
ความหนาแน่นสูงของดิสโลเคชัน และการก่อแถบการ
เฉือน ประจักษ์ อ่างบุญตา และ สฤษฎ์ เข็มเจริญ [4]
ออกแบบและสร้างเครื่องหมุนวนอิเล็กทรอนิกส์เชื่อม
GTAW เพื่อลดปัญหาการแตกร้าวขณะร้อนในรอย
เชื่อมอลูมิเนียม 6063 การทดลองทำการศึกษาอิทธิ
ผลการหมุนวนอิเล็กทรอนิกส์ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางการ
หมุนวน 1.0-3.0 มม และความเร็วในการหมุนของอิ
เล็กทรอนิกส์ 45-210 รอบต่อนาที เพื่อเปรียบเทียบโครง
สร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของรอยเชื่อม ผลการ
ทดลอง พบการหมุนวนอิเล็กทรอนิกส์ในการเชื่อมอลูมิเนียม
สามารถทำให้เดนไดรต์แตกตัวเป็นตัวก่อให้เกิด
ผลึกใหม่ ทำให้เกรนมีขนาดเล็ก มีอิทธิพลต่อการลด
การแตกร้าวร้อนได้ การหมุนวนอิเล็กทรอนิกส์มีอิทธิพล

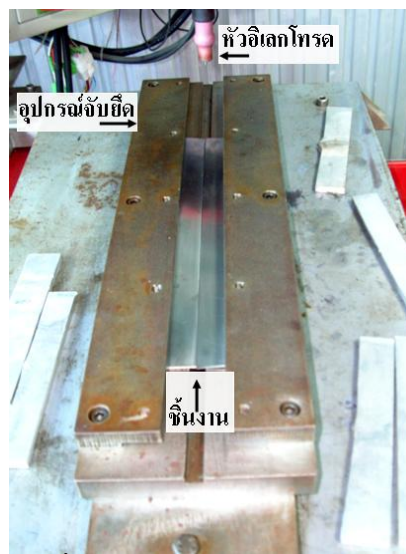
ต่อค่าความแข็งของรอยเชื่อม โดยค่าความแข็งที่รัศมีต่างๆ มีค่าต่ำกว่าชิ้นงานปกติแต่ไม่มีความสัมพันธ์กับรัศมีการหมุนวน การวิเคราะห์ความกว้างของรอยเชื่อม อิทธิพลของการหมุนวนอิเล็กโทรดที่มีรัศมีต่างกัน ทำให้ความกว้างของรอยเชื่อมมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น เมื่อรัศมีในการหมุนอิเล็กโทรดเพิ่มสูงขึ้น การวิเคราะห์การหลอมลึกของรอยเชื่อม อิทธิพลของการหมุนวนอิเล็กโทรดที่มีรัศมีต่างกัน ทำให้การหลอมลึกของรอยเชื่อมมีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อรัศมีในการหมุนอิเล็กโทรดเพิ่มสูงขึ้น

จากข้อมูลเบื้องต้น พบว่าการลดขนาดเกรนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 อาจเป็นไปได้โดยเทคนิคการสันตะเทือนโลหะหลอมเหลวในแนวเชื่อม ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการลดและทำลายโครงสร้างเดนไดรท์ โดยใช้เทคนิคการหมุนวนแท่งทั้งสแตนการเชื่อมทิก เพื่อทำให้เกิดการสันตะเทือนทางกลและการกวนในแนวเชื่อมและทำให้เกิดรูปแบบโครงสร้างในแนวเชื่อมตามต้องการต่อไป

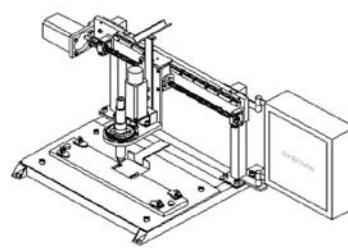
2. วิธีการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ เหล็กกล้าไร้สนิม ออสเทนเนติกเกรด AISI304 (0.05%C,18.5%Cr, 8.5% Ni, %โดยน้ำหนัก) หนา 1.5 มม ขนาดกว้าง 40 มม. ยาว 120 มม. ถูกประกบยึดแน่นในอุปกรณ์จับยึด ดังแสดงในรูปที่ 2 เครื่องเชื่อมที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องเชื่อมอาร์คด้วยแท่งทั้งสแตนแบบอินเวอร์เตอร์ มีตัวแปรต่างๆ คือ กระแสไฟฟ้า 60-90 แอมแปร์ เส้นผ่านศูนย์กลางอิเล็กโทรด 2.4 มม ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 100-325 มม/นาที การไหลของแก๊สอาร์กอน 12 ลิตร/นาที เชื่อมท่าราบ ระยะยื่นหัวอิเล็กโทรด

3.6 มม ระยะอาร์ค 1.5 มม ความเร็วรอบของการหมุนวนอิเล็กโทรด 0-300 รอบต่อนาที การเชื่อมเป็นแบบการเชื่อมเดินแนวบนแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม 304 (Bead on plate) โดยไม่มีการเติมลวดเชื่อม ชิ้นงานที่เชื่อมเสร็จจะถูกปล่อยให้เย็นตัวในอุปกรณ์จับยึด จากนั้นถอดออกมาทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค



รูปที่ 1 ชิ้นงานและการจับยึดในอุปกรณ์จับยึด



(ก) ภาพ 3 มิติเครื่องหมุนวนอิเล็กโทรด



(ข) หัวหมุนวน

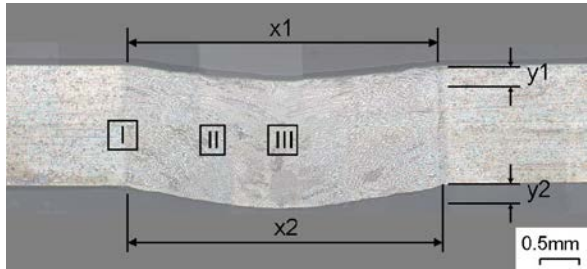
รูปที่ 2 เครื่องหมุนวนอิเล็กโทรด

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

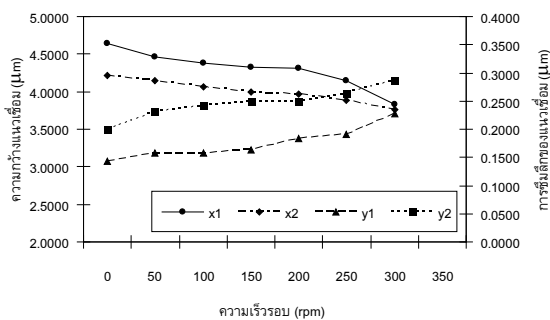
3.1 อิทธิพลความเร็วรอบต่อระยะห่างแกนเดนไดรท์ทฤษฎีภูมิ

รอยต่อชนเหล็กกล้าไร้สนิมถูกทำการเชื่อมด้วยกระแสไฟฟ้า 70 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 200

mm/min และความเร็วรอบการหมุนของหัวอิเล็กทริก 0-350 rpm ผลการทดลองที่ได้มีดังนี้



รูปที่ 3 โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ด้วยความเร็วรอบ 300 rpm



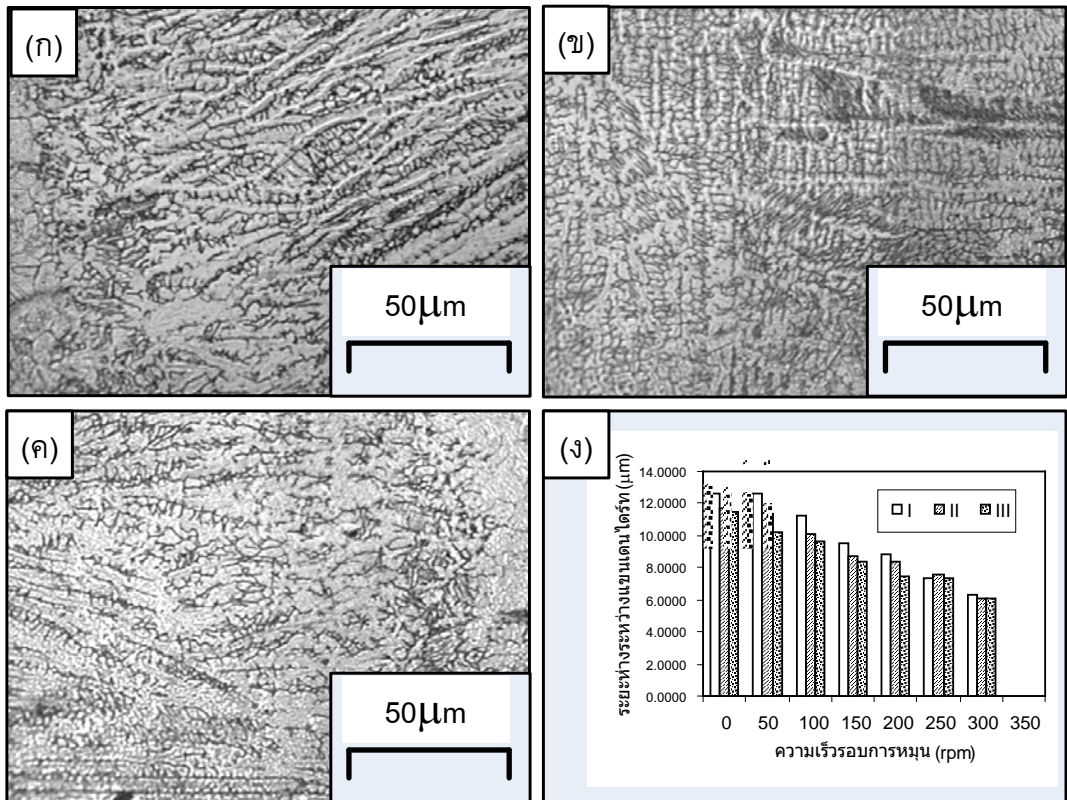
รูปที่ 4 ความกว้างของโลหะเชื่อมที่ความเร็วรอบต่างๆ: (x1=ความกว้างผิวหน้า x2=ความกว้างด้านซึ่มลึก y1=ความกว้างผิวหน้า และ y2=ระยะซึ่มลึก)

รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมตั้งฉากกับทิศทางการเดินแนวเชื่อม โดยที่ทิศทางการเดินแนวเชื่อมนั้นพุ่งออกมาจากหน้ากระดาษของชิ้นงานเชื่อมด้วยความเร็วรอบ 300 rpm โครงสร้างมหภาคแสดงความแตกต่างระหว่างโลหะหลักเหล็กกล้าไร้สนิมและบริเวณโลหะเชื่อมอย่างชัดเจน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาพื้นที่การเชื่อมแล้ว พบรูปร่างของแนวเชื่อมที่แตกต่างกันเมื่อความเร็วรอบของการเชื่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 4 ความกว้างของผิวหน้าแนวเชื่อมแปรผกผันกับความเร็วรอบการหมุน แต่ผิวหน้าด้านซึ่มลึกนั้นแปรผันตามความเร็วรอบ

การหมุนวน การเกิดลักษณะนี้คาดว่าเกิดจากการหมุนวนที่เร็วขึ้น ทำให้ความร้อนที่เกิดในแนวเชื่อมนั้นเกิดการแผ่ขยายไปสู่ด้านข้างของแนวเชื่อมที่ปริมาณน้อยลง และส่งผลทำให้การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแนวเชื่อมถูกจำกัดในบริเวณที่แคบลง นอกจากนี้ ความร้อนที่ลดลงส่งผลต่อการให้ความร้อนในแนวตั้งของแนวเชื่อมทำให้ความกว้างของชิ้นงานที่ด้านล่างของแนวเชื่อมบริเวณการซึ่มลึกแคบลงไปด้วย

รูปที่ 5 แสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมที่ตำแหน่ง I ถึง III ดังแสดงในรูปที่ 3 ของชิ้นทดสอบที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบ 300 rpm พบว่าที่บริเวณขอบเขตระหว่างโลหะหลักและพื้นที่การหลอมละลายนั้นเกิดโครงสร้างเดนไดรต์ที่พบบ่อยออกมาจากโลหะหลักขนาดของเดนไดรต์ที่พบมีความหยาบและขนาดใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 5 (ก) ทำการวัดช่องว่างระหว่างแขนเดนไดรต์ทุติยภูมิ (Secondary Dendrite Arm Spacing: SDAS) จำนวน 20 จุด พบมีค่าเฉลี่ยประมาณ 6.3162 μm ขณะที่บริเวณขอบเขตระหว่างโลหะหลักและกึ่งกลางแนวเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 5 (ข) และกึ่งกลางของโลหะเชื่อมนั้นดังแสดงในรูปที่ 5 (ข) มีรูปร่างของโครงสร้างเดนไดรต์ที่สั้นละเอียดกว่า ค่า SDAS มีค่าเฉลี่ยประมาณ 6.0417 μm และ 6.0276 μm ตามลำดับ

รูปที่ 5 (ง) ทำการเปรียบเทียบค่า SDAS ของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วรอบจาก 0 – 350 rpm พบว่าการเพิ่มของความเร็วรอบทำให้ค่า SDAS ลดลงทั้ง 3 ตำแหน่ง อย่างไรก็ตามเมื่อความเร็วรอบมีค่าสูงคือ 350 rpm นั้นไม่สามารถวัดค่าความเร็วในการเชื่อมได้ เนื่องจากการหมุนวนมีค่าสูงเกินไปทำให้โลหะหลอมเหลวที่อยู่ในบ่อหลอมละลายกระเด็นออก



รูปที่ 5 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่ความเร็วรอบ 300rpm: (ก) ตำแหน่งขอบโลหะเชื่อม (ข) ตำแหน่งขอบและกึ่งกลางแนวเชื่อม (ค) กึ่งกลางแนวเชื่อม และ (ง) ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างแขนเดนไดรต์ (SDAS) ความเร็วรอบการหมุน และตำแหน่งการตรวจสอบ

มา และทำให้แนวเชื่อมนั้นเกิดเป็นจุดบกพร่อง และไม่สามารถเติมเต็มผิวหน้าแนวเชื่อมได้ การลด SDAS ลงนี้ คาดว่าเกิดจากการกวนและการสั่นสะเทือนจากการอาร์คของแท่งแท่งสะเตน ทำให้โลหะหลอมเหลวเกิดการเติบโตเป็นเดนไดรต์ที่ยาวและหยابน้อยลง

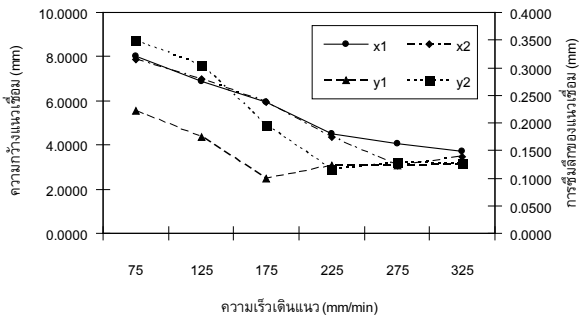
3.2 อิทธิพลความเร็วเดินแนวต่อระยะห่างแขนเดนไดรต์ทุติยภูมิ

ตัวแปรการเชื่อมที่ใช้ในการศึกษาประกอบไปด้วย ความเร็วรอบ 300 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 75-325 mm/min และกระแส ไฟฟ้า 70 A

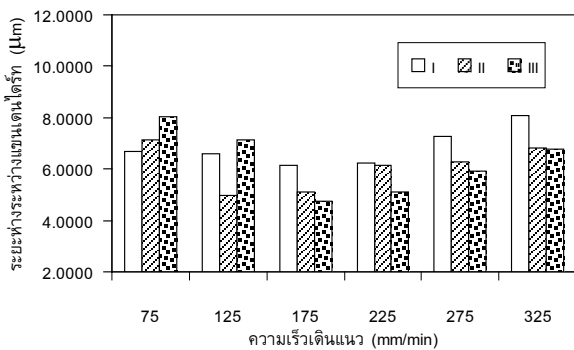
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเดินแนวเชื่อม ความกว้างของแนวเชื่อม และการซึมลึก

ของแนวเชื่อม พบว่าความกว้างของผิวหน้าแนวเชื่อม ความกว้างของระยะการซึมลึก ระยะการเว้าของผิวหน้า และการซึมลึกด้านหลังแนวเชื่อม มีแนวโน้มที่มีค่าลดลงเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นถึงช่วง 175-225 mm/min จากนั้นค่าต่างๆ ที่ทำการวัดนั้น มีค่าที่ลดลงเล็กน้อยจนกระทั่งค่อนข้างสม่ำเสมอ การเกิดการลดขนาดในลักษณะนี้คาดว่าเกิดจากการเดินแนวเชื่อมที่มีความเร็วมากเกินไปทำให้ค่าความร้อนที่ให้แก่แนวเชื่อมนั้น (Heat input) มีค่าที่ลดลง [5] และทำให้ความสามารถในการทำให้โลหะเกิดการหลอมละลายลดต่ำลง แต่อย่างไรก็ตามการลดลงในลักษณะนี้ดูเหมือนว่าจะทำให้การทดลองนี้ได้ผลการทดลองดัง

จุดประสงค์เพราะว่าขอบเขตของแนวเชื่อมนั้นมีค่าที่ลดต่ำลงนั่นเอง [6]



รูปที่ 6 ความกว้างของโลหะเชื่อมที่ความเร็วเดินแนวต่างๆ: (x1=ความกว้างผิวหน้า x2=ความกว้างด้านซึ่มลึก y1=ความเว้าผิวหน้า และ y2=ระยะซึ่มลึก)

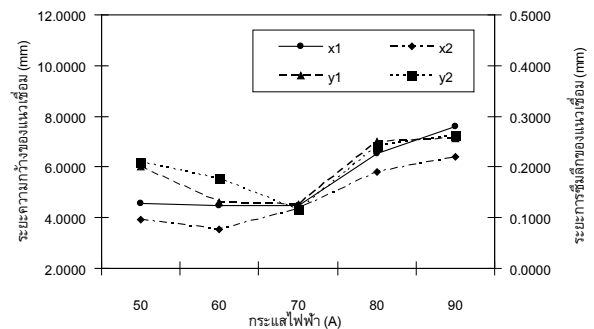


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างขานเดนไดรท์ ความเร็วรอบการหมุน และตำแหน่งการตรวจสอบ

รูปที่ 7 ทำการเปรียบเทียบค่า SDAS ของรอยต่อที่เชื่อมด้วยความเร็วเดิน 75-325 mm/min พบว่าการเพิ่มของความเร็วเดินทำให้ SDAS ลดลง แต่รูปแบบการลดขนาดนั้นไม่ได้เรียงลำดับเหมือนกับการเกิดในการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบดังแสดงในรูปที่ 5 (ง) การเกิดการลดขนาดนั้น ไม่ได้เฉพาะเจาะจงที่จะมีขนาดลดลงจากด้านโลหะหลักเข้าสู่กึ่งกลางแนวเชื่อม แต่สามารถเกิดได้ทุกตำแหน่ง การเกิดลักษณะนี้คาด

ว่าการเดินแนวที่เร็วขึ้นทำให้เกิดการรบกวนการเย็นตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ แต่การยืนยันคำพูดนี้ต้องมีการศึกษารูปแบบการเย็นตัวของแนวเชื่อมต่อไป อย่างไรก็ตามที่การเพิ่มความเร็วเดินแนวเชื่อมนั้น ค่า SDAS นั้นมีแนวโน้มที่ลดลง นอกจากนั้นค่า SDAS นี้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มจาก 225-325 mm/min ที่การศึกษาอิทธิพลการเดินแนวต่อการลด ค่า SDAS นี้พบว่าความเร็วเดินแนว 175 mm/min ทำให้เกิดความละเอียดมากที่สุดและใช้เป็นตัวกำหนดการเชื่อมในสภาวะต่อไป

3.3 อิทธิพลกระแสไฟฟ้าการเชื่อมต่อระยะห่างขานเดนไดรท์ทุติยภูมิ

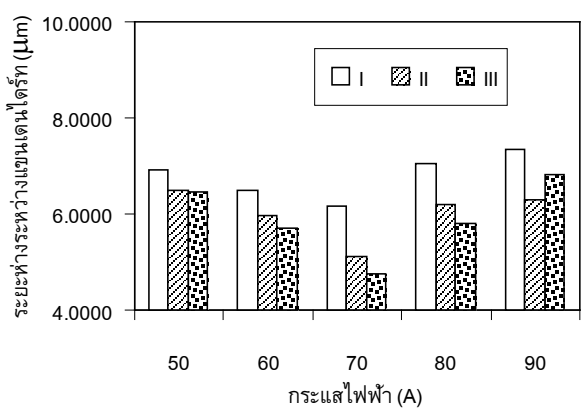


รูปที่ 8 ความกว้างของโลหะเชื่อมที่กระแสไฟฟ้าเชื่อมต่างๆ: (x1=ความกว้างผิวหน้า x2=ความกว้างด้านซึ่มลึก y1=ความเว้าผิวหน้า และ y2=ระยะซึ่มลึก)

ตัวแปรการเชื่อมที่ใช้ในการศึกษาประกอบไปด้วยความเร็วรอบ 300 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 mm/min และกระแส ไฟฟ้า 50-90 A

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม ความกว้างของแนวเชื่อม และการซึ่มลึกของแนวเชื่อม พบว่าความกว้างของผิวหน้าแนวเชื่อม ความกว้างของระยะการซึ่มลึก ระยะการเว้าของ

ผิวหน้า และการซึมลึกด้านหลังแนวเชื่อม มีแนวโน้มที่มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 50-75A และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าที่เชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น การเกิดการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นเนื่องจากค่าความร้อนที่ให้แก่นวเชื่อมนั้นมีค่าเพิ่มขึ้น [5] ทำให้ความร้อนที่สะสมในแนวเชื่อมนั้นเพิ่มขึ้น การหลอมละลายของโลหะเชื่อมดีขึ้น และเกิดการแผ่ขยายความร้อนออกไปทำให้พื้นที่การหลอมละลายและพื้นที่ที่ได้รับความอิทธิพลความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น



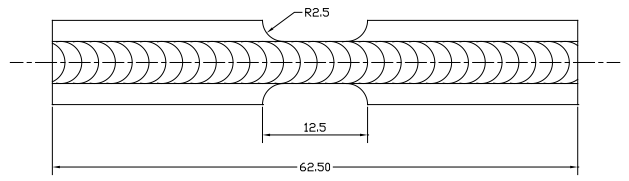
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างแกนเดนไดรท์กระแสไฟฟ้าการเชื่อม และตำแหน่งการตรวจสอบ

รูปที่ 9 แสดงผลการวัด SDAS ของรอยต่อที่เชื่อมด้วยกระแสไฟฟ้า 50-90A พบว่า SDAS มีค่าลดลงเมื่อกระแสไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองนี้ คือ 70A อย่างไรก็ตามเมื่อค่าความร้อนที่ให้เพิ่มขึ้นหรือกระแสเพิ่มขึ้นทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของโลหะหลอมเหลวและช่วงการแข็งตัวเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลโดยตรงต่อเวลาการแข็งตัวและการเพิ่ม SDAS [7] ที่การศึกษาอิทธิพลกระแสไฟฟ้าที่เชื่อมต่อการลด SDAS นี้ พบว่ากระแสไฟฟ้า 70 A ทำ

ให้เกิดโครงสร้างจุลภาคที่มีความละเอียดมากที่สุด มีค่าเฉลี่ย SDAS ประมาณ 5.5104 μm

3.4 ความแข็งแรงดึงของรอยเชื่อม

ความแข็งแรงดึงของชิ้นทดสอบการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบการหมุนวนอิเล็กโทรด คือ ค่าสภาวะการเชื่อมที่ 1-8 ในตารางที่ 1 พบว่าการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการหมุนวนส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมมีค่าที่เพิ่มขึ้น ดังผลการลดลงของค่า SDAS ที่แสดงในรูปที่ 5 (ง) นอกจากนั้นทำการศึกษาค่าความเหนียว (Toughness) ของวัสดุตามสูตรการคำนวณที่แสดงไว้โดย Dieter [8] พบว่าค่าความเหนียวของรอยต่อนั้นมีค่าที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบการหมุนเพิ่มขึ้น



รูปที่ 10 ชิ้นทดสอบแรงดึง (หน่วย: มม.)

ตารางที่ 1 แสดงสภาวะการเชื่อมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อม โดยทำการออกแบบชิ้นทดสอบใหม่ให้มีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 10 ค่าความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อมที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเร็วเดินแนวเชื่อม (สภาวะการเชื่อมที่ 7 และ 9-14) พบว่าความแข็งแรงดึงของชิ้นทดสอบนั้นมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 75-175 mm/min และลดลงเมื่อความเร็วเดินแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 200-325 mm/min การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงดึงเกิดขึ้นจากการลด SDAS ดังแสดงในรูปที่ 7

ตารางที่ 1 ความแข็งแรงดึงของแนวเชื่อมที่สภาวะการเชื่อมต่างๆ

สภาวะ	ความเร็วรอบ (rpm)	ความเร็วเดิน (mm/min)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความแข็งแรงสูงสุด (MPa)	ความเหนียว (Toughness, MN.m/m ³)
1	0	225	70	576.67	1510.875
2	50	225	70	584.37	1531.049
3	100	225	70	592.16	1557.381
4	150	225	70	596.09	1573.388
5	200	225	70	596.51	1574.786
6	250	225	70	600.46	1585.214
7	300	225	70	615.73	1625.217
8	350	225	70	-	-
9	300	75	70	570.66	1375.291
10	300	125	70	585.89	1464.725
11	300	175	70	628.15	1576.756
12	300	250	70	612.68	1531.700
13	300	275	70	611.38	151.222
14	300	325	70	608.51	1509.105
15	300	175	50	618.48	1546.200
16	300	175	60	637.21	1567.531
17	300	175	80	608.18	1350.160
18	300	175	90	592.34	1314.995
Base	-	-	-	654.19	1982.196

นอกจากนั้นค่า SDAS ที่ลดลงนั้น ส่งผลทำให้ค่าความเหนียวของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเร็วเดินแนวเชื่อม 175 mm/min นั้นมีค่าความเหนียวสูงสุด

การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงดึงและความเหนียวของแนวเชื่อม ที่เกิดจากการเชื่อมด้วยกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงจาก 50-90 A มีลักษณะคล้ายกับการเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงดึงและความเหนียวที่เกิดในการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบการหมุนของอิเล็กโทรด และความเร็วเดินแนวเชื่อม กล่าวคือการลดค่า SDAS ส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มค่าความแข็งแรงดึงและความเหนียวของแนวเชื่อม ดังนั้นการศึกษาและควบคุมให้ค่า SDAS นั้นควรมีการศึกษาต่อไปเพื่อให้ได้แนวเชื่อมที่มีความแข็งแรงและเหนียว

สูงสุดเพื่อการนำไปใช้งานในภาคอุตสาหกรรม ที่สภาวะการเชื่อมต่างๆ ที่ทำการศึกษา สภาวะการเชื่อมที่ดีที่สุดนั้น คือ ตัวแปรการเชื่อมประกอบไปด้วยความเร็วรอบ 300 rpm ความเร็วเดินแนว 175 mm/min และกระแสไฟฟ้า 70 แอมแปร์ ที่ค่าประมาณ 5.5104 μm โดยให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด 629 MPa และค่าความเหนียวประมาณ 1.57 GPa เมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิมที่นำมาทำการเชื่อมพบว่ามีความแข็งแรงดึงสูงสุดและค่าความเหนียวต่ำกว่าโลหะหลักประมาณ 4 และ 20% ตามลำดับ

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตัวแปรการเชื่อมทิกหมุนวนอิเล็กโทรด ที่ประกอบด้วยความเร็วในการหมุนวน และความเร็วเดินแนวเชื่อม ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค ผลการทดลองมีดังนี้

- 4.1 การเพิ่มความเร็วยรอบการหมุนอิเล็กโทรด ความเร็วในการเดินแนว และกระแสไฟฟ้าเชื่อม ส่งผลโดยตรงทำให้ค่า SDAS ลดลงแต่หากเพิ่มความเร็วยรอบการหมุนมากเกินไปทำให้น้ำโลหะกระเด็นออกจากบ่อหลอมละลายและไม่ทำให้เกิดแนวเชื่อมขึ้น
- 4.2 ค่าความเร็วเดินแนวและกระแสไฟฟ้าที่มากเกินไป ทำให้ค่า SDAS เพิ่มขึ้น
- 4.3 ตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมในการทำให้เกิดแนวเชื่อมที่มีโครงสร้างเดนไดรท์ที่ละเอียดสุด คือ ความเร็วยรอบ 300 rpm ความเร็วเดินแนว 175 mm/min และกระแสไฟฟ้า 70 แอมแปร์ ที่ค่าประมาณ $5.5104 \mu\text{m}$

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เอกสารอ้างอิง

[1] Mohandas, T. and Reddy, G.M. 1997. A Comparison of Continuous and Pulse Current Gas Tungsten Arc Welds of an Ultra High Strength Steel. J. of Mat. Pro. Tech., 69:222-226.

[2] Reynodls, A.P., Tang, W., Gnaupel-Herold, T. and Prask, H. 2003. Structure, Properties and Residual Stress of 304L Stainless Steel Friction Stir Welds. Scripta Materialia, 48:1289-1294.

[3] Liu, G., Lu, J., and Lu, K. 2000. Surface Nano crystallization of 316L Stainless Steel Induced by Ultra sonic Shot Peening. Mat. Sci. and Eng. A., 286:91-95.

[4] ประจักษ์ อ่างบุญตา และ สฤษฎ์ เข็มเจริญ. 2550. เครื่องหมุนวนอิเล็กโทรดสำหรับเชื่อมอะลูมิเนียม. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2550, 24-26 ตุลาคม, ภูเก็ต, หน้า 633-638.

[5] Brandon, D. and Kaplan, W.D. 1997. Joining Processes, An introduction. John Wiley&Sons, New York, 364p.

[6] Branes, T.A. and Pashyby, I.R. 2000. Joining Techniques for Aluminum Spaceframes used in Automobiles Part I-Solid and Liquid Phase Welding. J. of Materials Processing Technology, 99:62-71.

[7] Askeland, D.R. and Phule, P.P. 2006. The Science and Engineering of Materials. Thomson Canada Limited. Toronto. 302-343.

[8] Dieter, G.E. 1988. Mechanical Metallurgy. McGraw-Hill Book Company, Singapore, p.282.