การศึกษาอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของรอยเชื่อมจากการเชื่อมแก๊สทังสเตนด้วยอาร์กอนปกคลุมด้วยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นที่ต่างกัน

Study of Depth to Width Ratio Weld from Argon Arc Tungsten Gas Welding using Different Activation Fluxes

วรินทร ห้วยเรไร[1]* ชัชวาล ศุภมงคล[1] และโกวิทย์ กัลยาทอง[1]

Varinthorn Huyrari[1]*, Chatchawal Supamongkol[1] and Kowit Kallayathong[1]

[1]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[1]Department of Mechanical Engineering Technology,

College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

*Corresponding author: varinthorn.h@cit.kmutnb.ac.th

Received: October 10, 2025

Revised: December 27 2025

Accepted: January 7, 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเชื่อมแก๊สทังสเตนด้วยอาร์กอนปกคลุมด้วยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ ไทเทเนียมเปอร์ออกไซด์ แมงกานีสเปอร์ออกไซด์และสังกะสีออกไซด์ โดยการออกแบบการทดลองใช้ฟลั๊กซ์ทั้งแบบชนิดเดียว สองชนิดและสามชนิดผสมกันด้วยสัดส่วนที่แตกต่างกันจำนวนทั้งสิ้น 22 รูปแบบการทดลอง นำฟลั๊กซ์กระตุ้นดังกล่าวไปผสมกับอะซิโตนแล้วทาลงบนผิวของชิ้นงาน จากนั้นทำการเชื่อม TIG ด้วยพารามิเตอร์เดียวกัน ผลลัพธ์ที่ได้คือความลึก ความกว้าง และอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของงานเชื่อม ค่าดังกล่าวเหล่านี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับการเชื่อม TIG ที่ไม่ได้ใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น จากผลการวิจัยพบว่าการใช้ชนิดของฟลั๊กซ์กระตุ้นและสัดส่วนผสมที่ต่างกันส่งผลต่อค่าความลึก ความกว้าง และอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของรอยเชื่อม โดยการใช้แมงกานีสเปอร์ออกไซด์ปริมาณ 75 เปอร์เซ็นต์และสังกะสีออกไซด์ 25 เปอร์เซ็นต์ ทาลงบนผิวของชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมจะให้อัตราส่วนความลึกต่อความกว้างที่สูงที่สุดคือ 0.745 ในขณะที่การเชื่อม TIG แบบไม่ใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นจะให้ค่าดังกล่าวเพียง 0.495 หากคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูงมากกว่าถึง 33.5%

คำสำคัญ: การเชื่อมแก๊สทังสเตนด้วยอาร์กอนปกคลุม ฟลั๊กซ์กระตุ้น ไทเทเนียมเปอร์ออกไซด์ แมงกานีสเปอร์ออกไซด์ สังกะสีออกไซด์

Abstract

This study investigated activated tungsten inert gas (A-TIG) welding using three different activating fluxes: titanium peroxide (TiO_2), manganese peroxide (MnO_2), and zinc oxide (ZnO). A total of twenty-two experimental conditions were designed, including single-, binary-, and ternary-flux mixtures with varying proportions. Each flux was mixed with acetone to form a paste and uniformly applied to the surface of the workpiece prior to welding. All welding trials were conducted under identical TIG welding parameters. The weld bead geometry, including penetration depth, bead width, and the depth-to-width (D/W) ratio, was measured and compared with conventional TIG welding performed without activating flux. The results demonstrated that both the type of activating flux and the mixture proportions significantly influenced weld penetration, bead width, and the D/W ratio. The application of a binary mixture consisting of 75% manganese peroxide and 25% zinc oxide produced the highest D/W ratio of 0.745. In contrast, conventional TIG welding without activating flux yielded a D/W ratio of 0.495. This represents an approximately 50.5% increase in the D/W ratio compared with the flux-free condition.

Keywords: gas tungsten arc welding, activated fluxes, titanium peroxide, manganese peroxide, zinc oxide

บทนำ

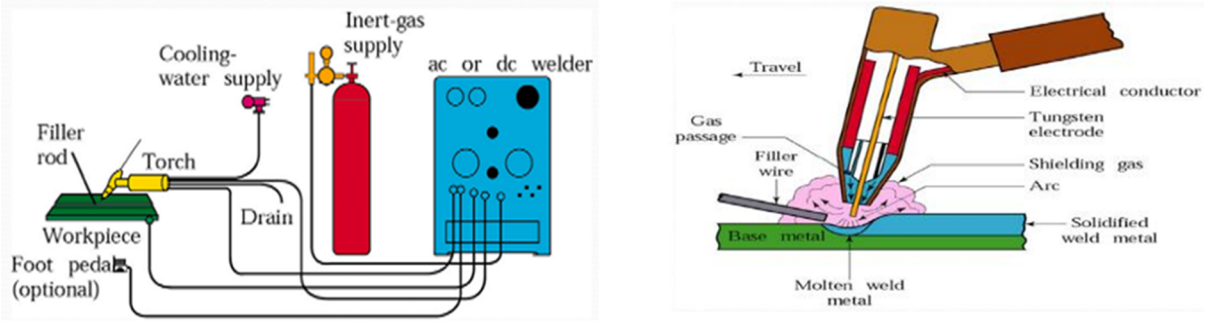
Gas Tungsten arc Welding: GTAW หรือที่รู้จักกันดี คือ Tungsten Inert Gas: TIG มีหลักการเชื่อมโดยการอาร์กระหว่างชิ้นงานที่ต้องการเชื่อมกับแท่งอิเล็กโทรดทังสเตนภายใต้แก๊สปกคลุม เช่น อาร์กอน ฮีเลี่ยม การเชื่อมด้วยวิธีนี้เหมาะกับวัสดุประเภทเหล็กกล้าไร้สนิม แมกนีเซียม อะลูมิเนียมและไทเทเนียม เนื่องจากให้คุณภาพของงานเชื่อมสูงแต่มีข้อจำกัดที่เด่นชัด คือ ความลึกของรอยเชื่อมจะต่ำ ต้องการช่างเชื่อมที่มีทักษะสูง ส่งผลให้ได้ผลผลิตจากการเชื่อมต่ำ (Chauhan et al., 2022) หลักการเชื่อม TIG แสดงดังภาพ 1 จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1960 Paton Electric welding institute ได้บุกเบิกวิธีการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น (activate flux) ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ละลายในตัวทำละลายเช่น แอลกอฮอล์ อะซิโตน หรือเอทานอล ก่อนทำการเชื่อมจะทาฟลั๊กซ์ดังกล่าวไปตรงบริเวณที่ต้องการเชื่อมด้วยแปรงเป็นชั้นบาง ๆ หน่วยงานของกองทัพเรือสหรัฐได้ใช้เทคนิคดังกล่าวนี้กับการซ่อมแซมเรือและเครื่องบินซึ่งพบว่า ด้วยวิธีการดังกล่าวสามารถทำให้การซึมลึกของรอยเชื่อมสูงถึง 8-10 มิลลิเมตรด้วยการเชื่อมเพียงครั้งเดียว ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูงถึง 300 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับการเชื่อมแบบดังเดิมที่ไม่ใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น (Lugade & Deshmukh, 2015) ด้วยวิธีการดังกล่าวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพงานเชื่อมได้อย่างมากเช่น Tensile Strength Impact Toughness Ductility อันเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวงานเชื่อม วิธีการดังกล่าวนี้รู้กันดีในชื่อ Activated Tungsten Inert Gas: A-TIG (Ahmadi et al., 2013)

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมามีงานวิจัยเกี่ยวกับ การใช้ฟลั๊กซ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อม TIG เช่น Choudhary and Duhan (2015) พบว่า การเชื่อม TIG ด้วยการใช้ฟลั๊กซ์ชนิดต่าง ๆ เช่น MnO_2 ZnO $Fe2O_3$ และ $MgCl_2$ จะส่งผลต่อค่าความลึก (D) ความกว้าง (W) และอัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง (D/W) ของเหล็กกล้าไร้สนิม SS304 เมื่อเทียบกับการเชื่อมแบบไม่ทาฟลั๊กซ์ที่มีค่า D เท่ากับ 1.20 มิลลิเมตร ค่า W เท่ากับ 5.20 มิลลิเมตร และอัตราส่วน D/W เท่ากับ 0.23 ฟลั๊กซ์ต่าง ๆ ที่ทาลงบนผิวของชิ้นงานจะทำให้ค่า D W และ D/W มากขึ้น โดยฟลั๊กซ์ MnO_2 จะมีค่า D เท่ากับ 4.20 มิลลิเมตร ค่า W เท่ากับ 2.80

มิลลิเมตร และอัตราส่วน D/W เท่ากับ 1.50 ซึ่งสูงที่สุด ผลจากการใช้ MnO_2 เป็นฟลั๊กซ์กระตุ้นส่งผลทำให้ค่า Tensile Strength เพิ่มสูงถึง 640.32 MPa เมื่อเทียบกับการเชื่อมแบบไม่ใช้ฟลั๊กซ์ซึ่งมีค่าดังกล่าว 605.42 MPa ภายใต้สภาวะการเชื่อมเดียวกัน Sridhar et al. (2016) และ Sresracoo and Sriboonchandr (2019) ได้ทำการศึกษาการใช้ฟลั๊กซ์ 5 ประเภท ประกอบด้วย TiO_2 Cr_2O_3 MoO3 V_2O_5 และ Al_2O_3 ทาลงบนผิวของชิ้นงานเหล็กกล้า Incoloy 800H ก่อนทำการเชื่อม TIG ภายใต้สภาวะการเชื่อมเดียวกันพบว่า การเชื่อมด้วยการทาฟลั๊กซ์แต่ละชนิดบนผิวของชิ้นงานจะส่งผลต่อความลึกของรอยเชื่อมที่มากขึ้น นั่นคือ TiO_2 จะส่งผลให้ความลึกสูงถึง 4.000 มิลลิเมตร และมีค่า Impact Toughness ถึง 75 J เมื่อเทียบกับการเชื่อมโดยไม่ใช้ฟลั๊กซ์ที่มีความลึกเพียง 2.494 มิลลิเมตร และ Impact Toughness ถึง 60 J Lin and Wu (2012) ได้ทำการศึกษาเรขาคณิตของงานเชื่อมในการเชื่อม TIG วัสดุ Inconel 718 ด้วยฟลั๊กซ์ต่าง ๆ คือ SiO_2 NiO MoO_3 Cr_2O_3 TiO_2 MnO2 ZnO และ MoS_2 พบว่า การใช้ฟลั๊กซ์แต่ละชนิดทาลงบนผิวของชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมจะส่งผลต่อค่าความลึกของงานเชื่อมและอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของงานเชื่อมเมื่อเทียบกับการเชื่อม TIG แบบไม่ทาฟลั๊กซ์ โดย SiO_2 จะให้ค่าดังกล่าวที่สูงที่สุด ขณะที่การใช้ฟลั๊กซ์สองชนิดทาลงบนผิวของชิ้นงานก่อนการเชื่อมก็ส่งผลต่อค่าดังกล่าวที่สูงขึ้น โดยการใช้ฟลั๊กซ์ SiO_2 และ MoO_3 จะให้ค่าความลึกของงานเชื่อมและอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของงานเชื่อมสูงที่สุด ภายใต้สภาวะการเชื่อมเดียวกัน Kumar et al. (2021), Kaewsuriwong et al. (2024) และ Kannan et al. (2024) พบว่า ความหนาแน่นของฟลั๊กซ์ที่ทาบนผิวของเหล็กกล้า AH-36 Marine-Grade ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการซึมลึกของรอยเชื่อมที่มากขึ้น การเชื่อม TIG แบบไม่ทาฟลั๊กซ์จะมีค่าความลึกเพียง 2.20 มิลลิเมตร ขณะที่การเชื่อม A-TIG ที่มีการทาฟลั๊กซ์ TiO_2 Fe_2O_3 และ 0.5TiO_2+0.5 Fe_2O_3 จะส่งผลต่อค่าความลึกของรอยเชื่อมเป็น 4.04 7.21 และ 8.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อกระทำภายใต้สภาวะการเชื่อมเดียวกัน Sardrouda et al. (2022), Rodjanakid and Yutan (2025) และ Pavan et al (2022) พบว่า เปอร์เซ็นต์ของฟลั๊กซ์ SiO_2 และ TiO_2 ที่ทาลงบนผิวของชิ้นงานอะลูมิเนียม 6061 ที่เพิ่มขึ้น 2.5 7.5 และ 10.0 เปอร์เซ็นต์ ก่อนการเชื่อม TIG จะส่งผลต่อค่าอัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง (D/W) การเชื่อมที่ไม่มีการทาฟลั๊กซ์ดังกล่าวบนผิวจะมีค่า D/W เพียง 0.25 และค่า Tensile Strength เพียง 80 MPa ขณะที่การทา SiO_2 ปริมาณ 10.0% จะส่งผลต่อค่าดังกล่าวที่เพิ่มขึ้นถึง 0.58 และค่า Tensile Strength 138 MPa เช่นเดียวกับการทา TiO_2 10.0% จะทำให้ค่า W/D สูงถึง 0.92 และค่า Tensile Strength 152 MPa ภายใต้สภาวะการเชื่อมเดียวกัน

การใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นทาลงบนผิวของชิ้นงานก่อนทำการเชื่อม TIG จะส่งผลต่อความลึก ความกว้างและสัดส่วนความลึกต่อความกว้างเนื่องจากแรงดึงที่ผิว (surface tension) การเชื่อม TIG แบบไม่ใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นความร้อนที่เกิดจากการอาร์คทำให้โลหะเกิดการหลอมละลาย แรงดึงบนผิวตรงบริเวณขอบของรอยเชื่อมจะสูงกว่าตรงกลางของรอยเชื่อมส่งผลให้เกิดแรงดึงจากกึ่งกลางไปหาขอบของงานเชื่อมส่งผลให้ความกว้างของรอยเชื่อมมากขณะที่ความลึกจะต่ำ แต่เมื่อทำการเชื่อมด้วยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นทาลงบนผิวของชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมจะส่งผลทำให้แรงดึงตรงบริเวณกึ่งกลางงานเชื่อมสูงกว่าตรงขอบรอยเชื่อมทำให้ได้ความลึกของรอยเชื่อมมากเนื่องมีแรงดึงเข้าสู่กึ่งกลางเป็นผลให้ความกว้างของรอยเชื่อมลดลงทำให้อัตราส่วนของความลึกต่อความกว้างเพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้เรียกว่า Marangoni convection

งานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาพบว่า มีการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นทาลงบนผิวของชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมจะส่งผลต่อค่าอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกเมื่อเทียบกับการไม่ใช้ฟลั๊กซ์ทาซึ่งงานวิจัยดังกล่าวมีการทดลองใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นเพียงประเภทเดียวหรือสองประเภทที่มีสัดส่วนอย่างละ 50 เปอร์เซ็นต์ และยังไม่ปรากฏงานวิจัยที่ใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น 3 ประเภทผสมกันด้วยสัดส่วนที่แตกต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยจะทำการทดลองการเชื่อมด้วยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น 3 ชนิดคือ TiO_2 MnO_2 และ ZnO โดยการทาลงบนผิวของชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมทั้งแบบใช้ฟลั๊กซ์ชนิดเดียว ฟลั๊กซ์สองชนิดผสมกันในสัดส่วนต่าง ๆ และการใช้ฟลั๊กซ์ทั้งสามชนิดกันผสมด้วยสัดส่วนต่าง ๆ ภายใต้สภาวะการเชื่อม TIG แบบเดียวกันเพื่อทำการศึกษาความลึกความกว้างและอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างที่เกิดขึ้น สุดท้ายจะนำผลการทดลองที่ได้จากการเชื่อมด้วยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นทั้งชนิดและสัดส่วนที่ต่างกันไปเปรียบเทียบการเชื่อมแบบดั้งเดิมที่ไม่มีการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น



ภาพ 1 หลักการเชื่อม TIG

Note. From "*Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) or (TIG) welding*," by Q. H. Malik, 2021 (https://www.researchgate.net/publication/353430058) Copyrigth 2021 by University of Liège

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบความลึก ความกว้าง และอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างจากการเชื่อม TIG ด้วยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นด้วยปริมาณและชนิดที่แตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

1.1 วัสดุที่ใช้ คือ เหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้เป็นเกรดออสเทนิติก 304 ขนาดกว้าง 10 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นเกรดที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายและนิยมกับการเชื่อม TIG เหล็กกล้าดังกล่าวนี้มีส่วนผสมทางเคมีแสดงดังตาราง 1

1.2 ฟลั๊กซ์กระตุ้นที่ใช้ในงานวิจัย คณะผู้วิจัยเลือกใช้ไทเทเนียมเปอร์ออกไซด์ (TiO_2) แมงกานีสเปอร์ออกไซด์ (MnO_2) และสังกะสีออกไซด์ (ZnO) ดังแสดงในภาพ 2 โดยฟลั๊กซ์กระตุ้นที่ใช้มีคุณสมบัติแสดงดังตาราง 2 การคำนวณมวลของฟลั๊กซ์ที่ใช้ทาจะคำนวณจากหนาแน่นของฟลั๊กซ์และปริมาตรของฟลั๊กซ์ที่ทาก่อนทำการเชื่อม ปริมาตรจะคำนวณจากพื้นที่ของฟลั๊กซ์ที่ทาคูณกับความหนา สำหรับงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยกำหนดความยาวของบริเวณที่ทาฟลั๊กซ์ 100 มิลลิเมตร ความกว้าง 10 มิลลิเมตร และความหนา 0.15 มิลลิเมตร การชั่งน้ำหนักของฟลั๊กซ์ที่ใช้ในงานวิจัยจะชั่งกับตาชั่งดิจิตอลดังแสดงในภาพ 3

1.3 เครื่องเชื่อมที่ใช้ในงานวิจัยเป็นรุ่น TIG/MMA-800 มีคุณสมบัติ Current range 20-800 A No-load voltage 65 V Rated power 6.6 kVA Frequency 50 Hz และ Input voltage AC 220 V

1.4 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการเคลื่อนที่ คือ เครื่อง CNC Router ขนาดเล็กที่ควบคุมด้วยโปรแกรม Mark III ดังแสดงในภาพ 4 โดยมีการกำหนดพารามิเตอร์ในการเชื่อมแสดงดังตาราง 3

1.5 การออกแบบการทดลอง ในงานวิจัยจะทำการออกแบบการทดลองแบบ Mixture Experiment ด้วยการผสมฟลั๊กซ์กระตุ้นด้วยสัดส่วนผสมที่แตกต่างกัน โดยยึดหลักว่า ผลรวมของปริมาณของปัจจัยจะต้องเป็น 1.0 (หรือ 100 เปอร์เซ็นต์) เสมอ โดยแผนการทดลองการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นที่สัดส่วนผสมต่าง ๆ แสดงดังตาราง 4

ตาราง 1

ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าที่นำมาใช้ในการวิจัย

C	Si	Mn	Ni	Cr	V	Co	Fe
0.0194	0.3747	0.9893	8.0457	19.2078	0.1289	0.2760	70.9165



TiO_2 MnO_2 ZnO

ภาพ 2 ฟลั๊กซ์กระตุ้นที่ใช้ในงานวิจัย

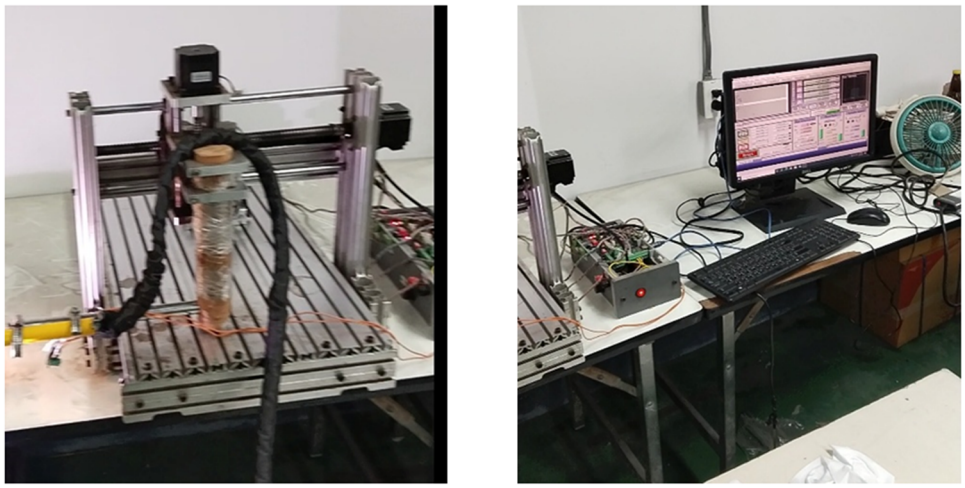
ตาราง 2

คุณสมบัติของฟลั๊กซ์กระตุ้นที่ใช้ในงานวิจัย

คุณสมบัติ	**ฟลั๊กซ์**		
	TiO_2	MnO_2	ZnO
Molar mass (g/mol)	79.866	86.930	81.406
Density (g/cm3)	4.230	5.026	5.600



ภาพ 3 ตาชั่งดิจิตอลยี่ห้อ OHAUS รุ่น PR432/E



ภาพ 4 การใช้เครื่อง CNC Router ขนาดเล็กที่ควบคุมด้วยโปรแกรม Mark III ในงานวิจัย

ตาราง 3

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อม

พารามิเตอร์	
กระแสเชื่อม	230 A
ความเร็วในการเชื่อม	30 mm/min
อัตราการไหลของแก๊ส	5 L/min
มุมทังสเตน	45°
แก๊สปกคลุมที่ใช้	อาร์กอน
ความโตของแท่งทังสเตน	3.2 mm
ระยะอาร์ก	2 mm
รูปแบบการเชื่อม	DCEN
การเชื่อม	อัตโนมัติ

ตาราง 4

การออกแบบการทดลองที่ใช้ในการวิจัย

การทดลอง	สัดส่วนของฟลั๊กซ์			การทดลอง	สัดส่วนของฟลั๊กซ์		
	TiO_2	MnO_2	ZnO		TiO_2	MnO_2	ZnO
1	0.00	0.00	0.00	13	0.00	0.50	0.50
2	1.00	0.00	0.00	14	0.66	0.33	0.00
3	0.00	1.00	0.00	15	0.66	0.00	0.33
4	0.00	0.00	1.00	16	0.00	0.66	0.33
5	0.75	0.25	0.00	17	0.33	0.66	0.00
6	0.75	0.00	0.25	18	0.33	0.00	0.66
7	0.00	0.75	0.25	19	0.00	0.33	0.66
8	0.25	0.75	0.00	20	0.66	0.17	0.17
9	0.25	0.00	0.75	21	0.17	0.66	0.17
10	0.00	0.25	0.75	22	0.17	0.17	0.66
11	0.50	0.50	0.00	23	0.33	0.33	0.33
12	0.50	0.00	0.50				

2. ขั้นตอนการวิจัย

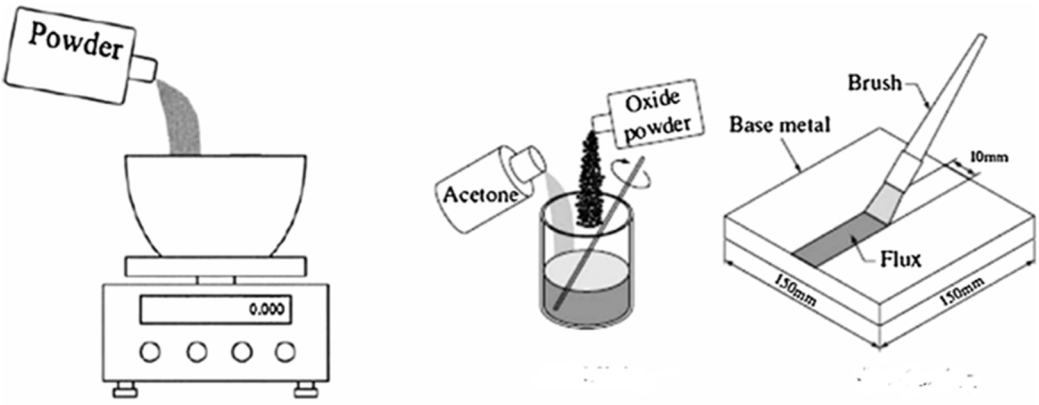
2.1 ในการวิจัยจะทำการศึกษาผลจากการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นทั้งแบบชนิดเดียวและผสมกันตามสัดส่วนผสมที่แสดงดังตาราง 4 นำฟลั๊กซ์ที่ได้จากการชั่งน้ำหนักมาทำการผสมกับอะซิโตนแล้วนำไปทาบนผิวของเหล็กกล้าตรงตำแหน่งที่ต้องการเชื่อมดังภาพ 5

2.2 นำชิ้นงานที่ทาฟลั๊กซ์ตามที่ออกแบบการทดลองไว้ไปเชื่อมกับเครื่องเชื่อม TIG ที่หัวเชื่อมประกอบกับแขนของอุปกรณ์ที่ควบคุมอัตราการเคลื่อนที่ดังภาพ 6 ทำการทดลองตามพารามิเตอร์ที่กำหนดในตาราง 4 จนครบตามที่แผนการทดลองที่ออกแบบไว้

2.3 นำชิ้นงานที่ได้ทำการเชื่อมในขั้นตอนที่ 2.2 ไปตัดตามแนวขวางของรอยเชื่อมยาวประมาณ 10 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องตัดรุ่น SQ-100 แล้วนำไปทำตัวเรือนหุ้มชิ้นงานด้วยเครื่องทำตัวเรือนยี่ห้อ Metkon เพื่อสะดวกต่อการขัดเพื่อตรวจสอบรอยเชื่อม

2.4 ทำการขัดชิ้นงานเพื่อตรวจสอบการซึมลึกของงานเชื่อมด้วยกระดาษทรายเบอร์ 320 400 500 600 800 1000 และ 1200 ตามด้วยการขัดมันจนชิ้นงานเป็นมันวาว การกัดกรดจะใช้กรดไนตริก น้ำกลั่นและเมทิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วน 30:50:20 ตามลำดับ

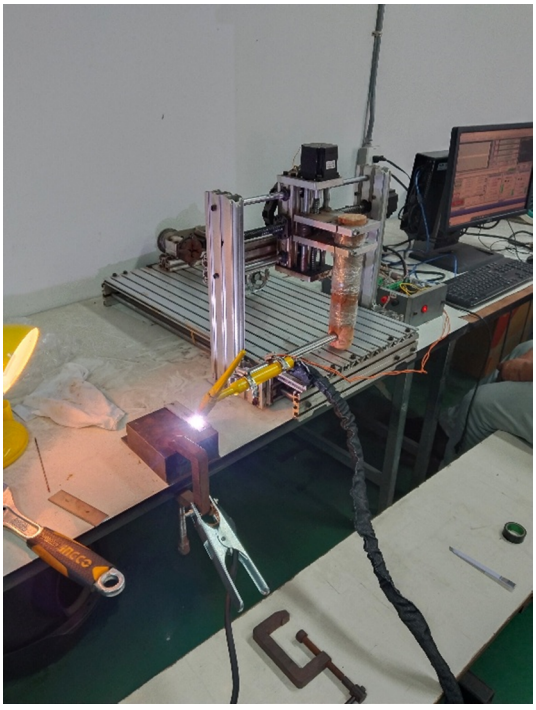
2.5 นำชิ้นงานที่ได้จากการขัดเพื่อตรวจสอบรอยเชื่อมไปทำการวัดความลึกของรอยเชื่อม (D) และความกว้างของรอยเชื่อม (W) ด้วยกล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Olympus รุ่น PM-CP-3 ดังภาพ 7 เพื่อคำนวณอัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง (D/W) ของงานเชื่อมที่ใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นด้วยสัดส่วนที่แตกต่างกัน



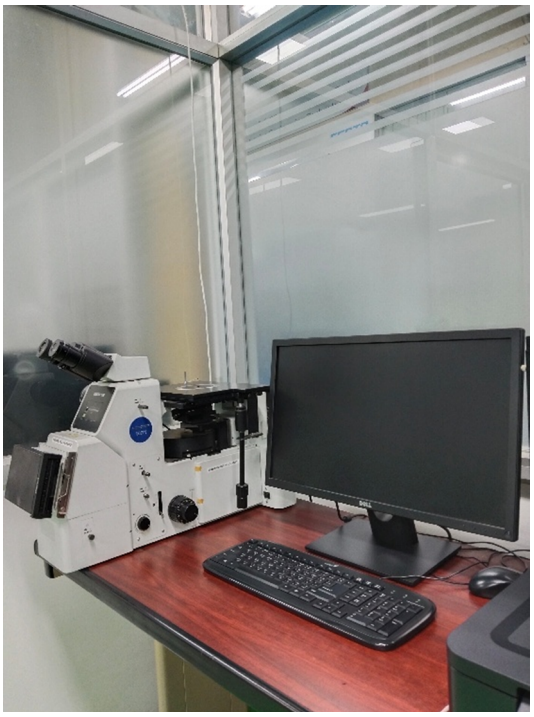
ภาพ 5 การผสมเตรียมฟลั๊กซ์กระตุ้นและการนำไปทาที่ชิ้นงานเชื่อม

Note. From "Development and application of oxide-based flux powder for tungsten inert gas welding of austenitic stainless steels," by K. H. Tseng, 2013, *Powder Technology, 233*(3), 72–79. Copyright 2013 by Elsevier.

Note. From "Evaluation of TIG flux welding on the characteristics of stainless steel," by H. Y. Huang, S. W. Shyu & C. P. Chou, 2005, *Science Technology Welding Join, 10*(5), 566–573. Copyright 2005 by Institute of Materials, Minerals & Mining.



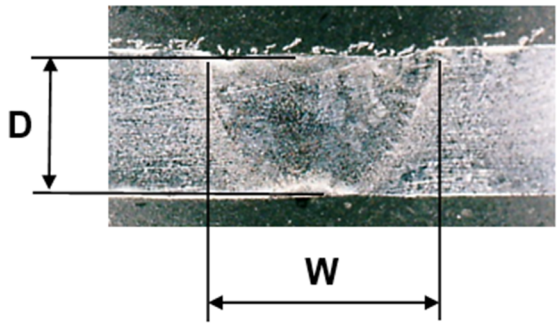
ภาพ 6 การเชื่อม TIG กับชิ้นงานเชื่อมตามที่ออกแบบการทดลองไว้



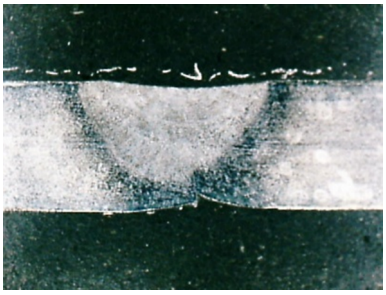
ภาพ 7 กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้สำหรับการวัดความลึกและความกว้างของรอยเชื่อม

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

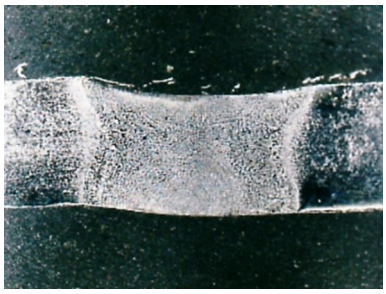
จากผลการเชื่อม TIG ด้วยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น TiO_2 MnO_2 และ ZnO ด้วยสัดส่วนที่แตกต่างกัน ได้ลักษณะของรอยเชื่อมต่าง ๆ แสดงดังภาพ 8 ความลึก (D) ความกว้าง (W) และอัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง (D/W) แสดงดังตาราง 5



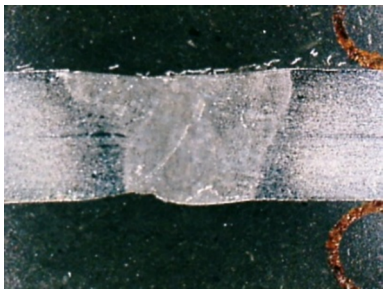
D= ความลึก W=ความกว้าง



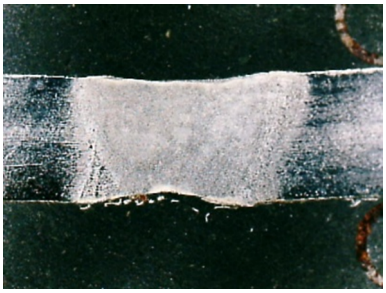
ไม่ทาฟลั๊กซ์กระตุ้น



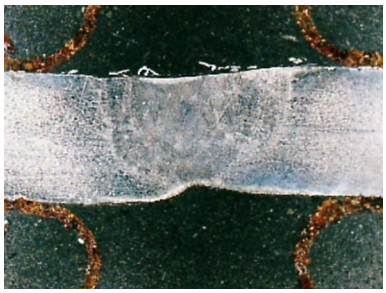
TiO_2



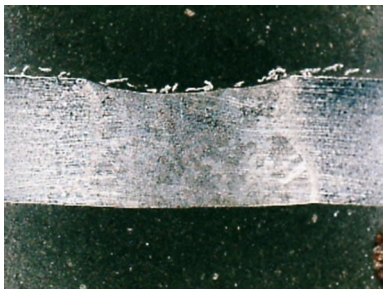
MnO_2



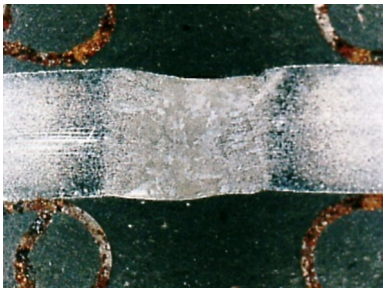
ZnO



$0.75TiO_2+0.25MnO_2$



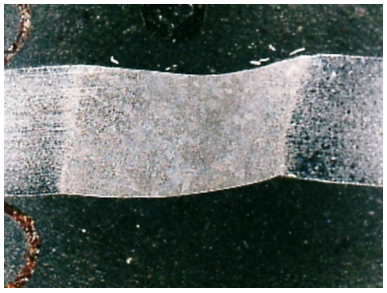
$0.75TiO_2+0.25ZnO$



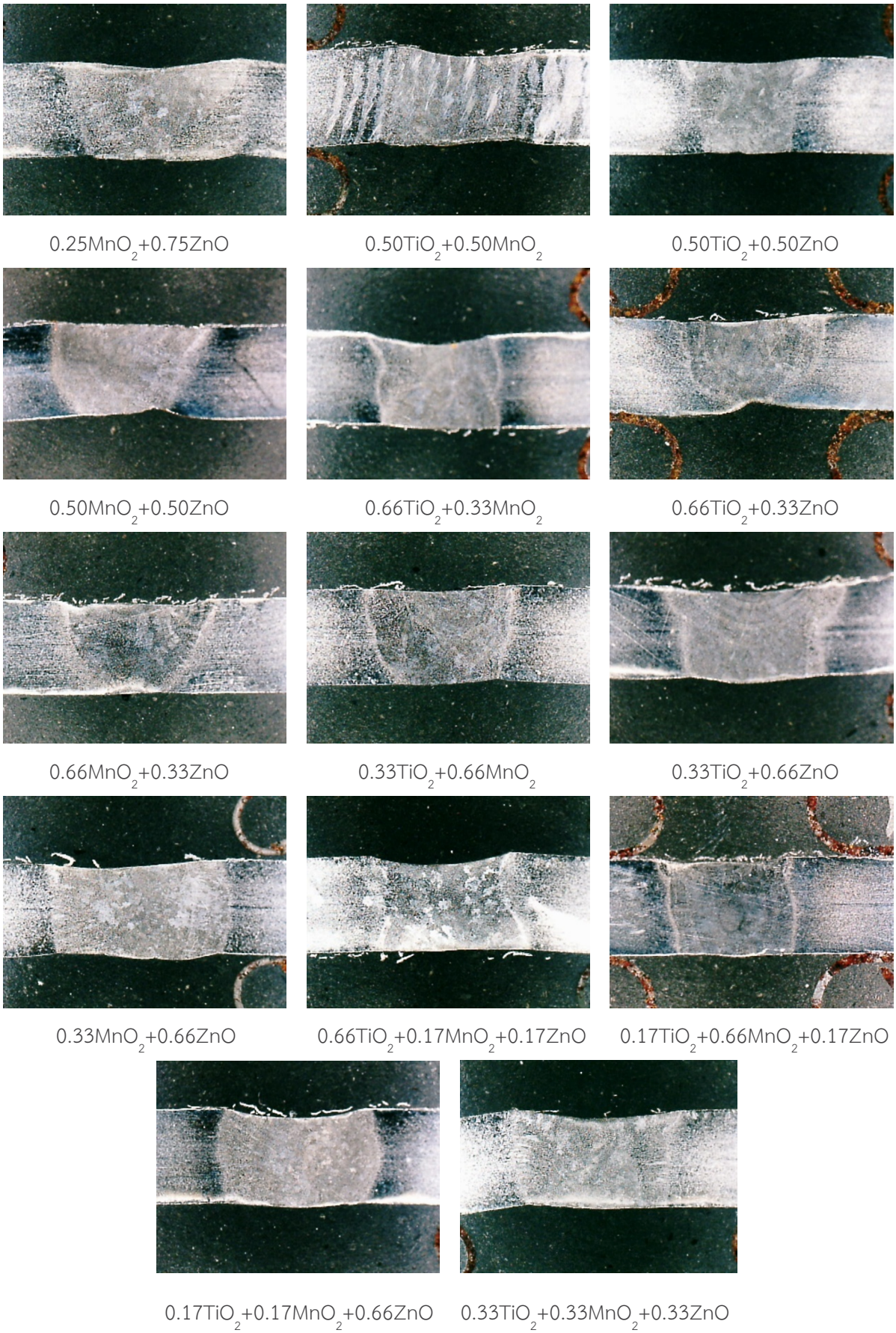
$0.75MnO_2+0.25ZnO$



$0.25TiO_2+0.75MnO_2$



$0.25MnO_2+0.75ZnO$



ภาพ 8 ลักษณะของรอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นที่แตกต่างกัน

ตาราง 5

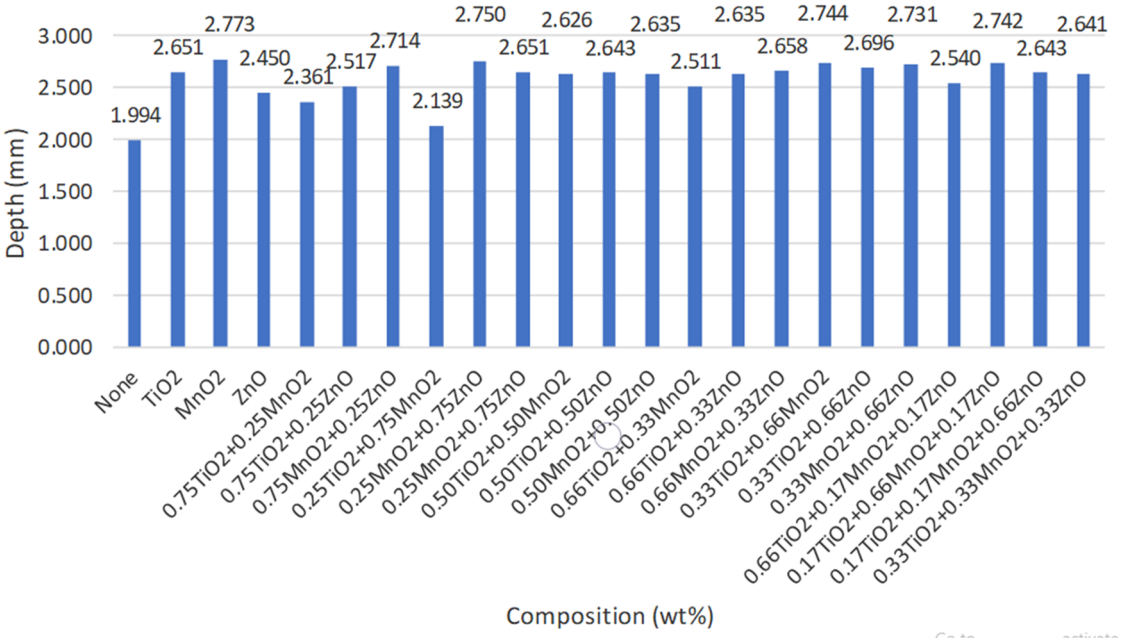
ความลึก (D) ความกว้าง (W) และอัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง (D/W)

การทดลอง	สัดส่วนของฟลั๊กซ์			Depth (mm)	Width (mm)	D/W
	TiO_2	MnO_2	ZnO			
1	0.00	0.00	0.00	1.994	4.030	0.495
2	1.00	0.00	0.00	2.651	5.259	0.504
3	0.00	1.00	0.00	2.773	4.810	0.577
4	0.00	0.00	1.00	2.450	4.997	0.490
5	0.75	0.25	0.00	2.361	4.375	0.540
6	0.75	0.00	0.25	2.517	4.423	0.569
7	0.00	0.75	0.25	2.714	3.643	0.745
8	0.25	0.75	0.00	2.139	4.484	0.477
9	0.25	0.00	0.75	2.750	5.062	0.543
10	0.00	0.25	0.75	2.651	5.188	0.511
11	0.50	0.50	0.00	2.626	3.740	0.702
12	0.50	0.00	0.50	2.643	4.055	0.652
13	0.00	0.50	0.50	2.635	4.746	0.555
14	0.66	0.33	0.00	2.511	3.809	0.659
15	0.66	0.00	0.33	2.635	5.669	0.465
16	0.00	0.66	0.33	2.658	4.520	0.588
17	0.33	0.66	0.00	2.744	4.301	0.638
18	0.33	0.00	0.66	2.696	5.270	0.512
19	0.00	0.33	0.66	2.731	5.107	0.535
20	0.66	0.17	0.17	2.540	4.450	0.571
21	0.17	0.66	0.17	2.742	3.803	0.721
22	0.17	0.17	0.66	2.643	4.269	0.619
23	0.33	0.33	0.33	2.641	4.675	0.565

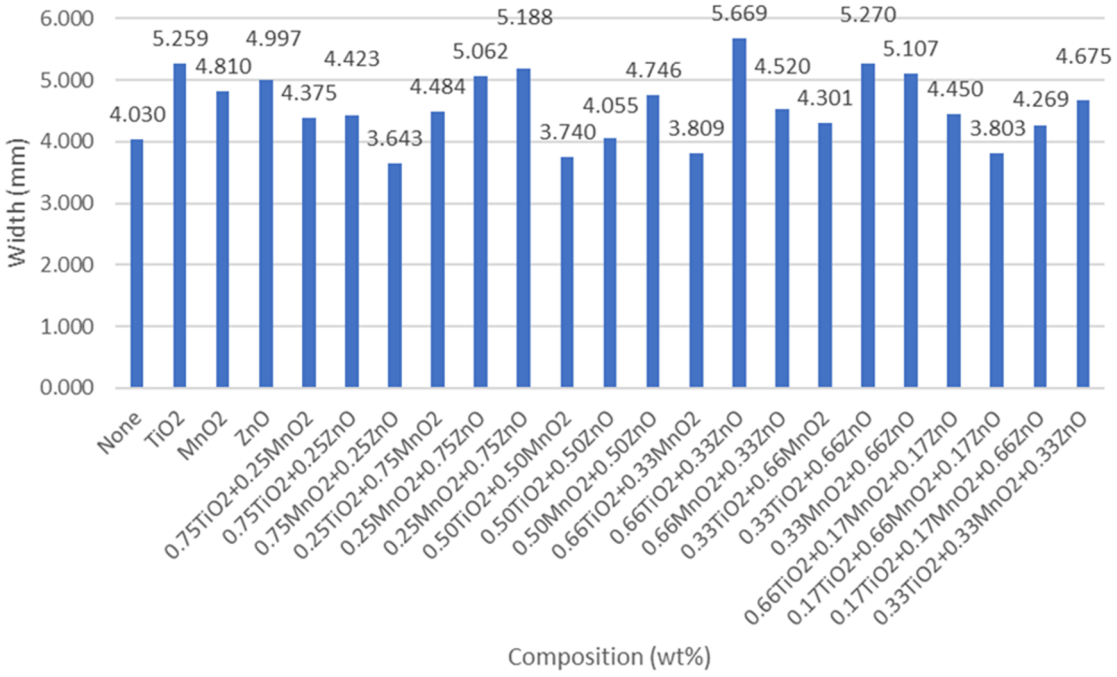
การเปรียบเทียบความลึกของรอยเชื่อมจากการเชื่อม TIG ด้วยการใช้ชนิดของฟลั๊กซ์และปริมาณสัดส่วนที่แตกต่างกันแสดงดังภาพ 9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้ฟลั๊กซ์ทาลงผิวของชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมจะส่งผลต่อความลึกของรอยเชื่อม จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าการใช้ฟลั๊กซ์ MnO_2 ทาลงบนผิวของชิ้นงานจะทำให้ค่าความลึกสูงที่สุด 2.773 มิลลิเมตร ขณะที่การเชื่อม TIG แบบไม่ใช้ฟลั๊กซ์จะให้ค่าความลึกเพียง 1.994 มิลลิเมตร เปอร์เซ็นต์ความลึกเพิ่มมากขึ้นถึง 28.09 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การใช้ฟลั๊กซ์ผสมด้วยสัดส่วนผสมที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อค่าความลึกที่สูงขึ้น คือ $0.33TiO_2+0.66MnO_2$ $0.17TiO_2+0.66MnO_2+0.17ZnO$ และ $0.75MnO_2+0.25ZnO$ ให้ค่าความลึก 2.744 2.742 และ 2.714 มิลลิเมตร ตามลำดับ

การเปรียบเทียบความกว้างของรอยเชื่อมจากการเชื่อม TIG ด้วยการใช้ชนิดของฟลั๊กซ์และปริมาณสัดส่วนที่แตกต่างกันแสดงดังภาพ 10 จากกราฟจะเห็นได้ว่าการใช้ฟลั๊กซ์ MnO_2 ในปริมาณ 75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ ZnO ในปริมาณ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะส่งผลต่อความกว้างของรอยเชื่อมลดลงเหลือ 3.643 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับการเชื่อม TIG โดยไม่ใช้ฟลั๊กซ์ที่มีความกว้างถึง 4.030 มิลลิเมตร ความกว้างของรอยเชื่อมลดลง 9.60 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการเชื่อม TIG ด้วยการใช้ $0.5TiO_2$+$0.5MnO_2$ และ $0.17TiO_2$+$0.66MnO_2$+0.17ZnO ที่ส่งผลต่อความกว้างของรอยเชื่อมลดลงเท่ากับ 3.740 และ 3.803 มิลลิเมตร ตามลำดับ

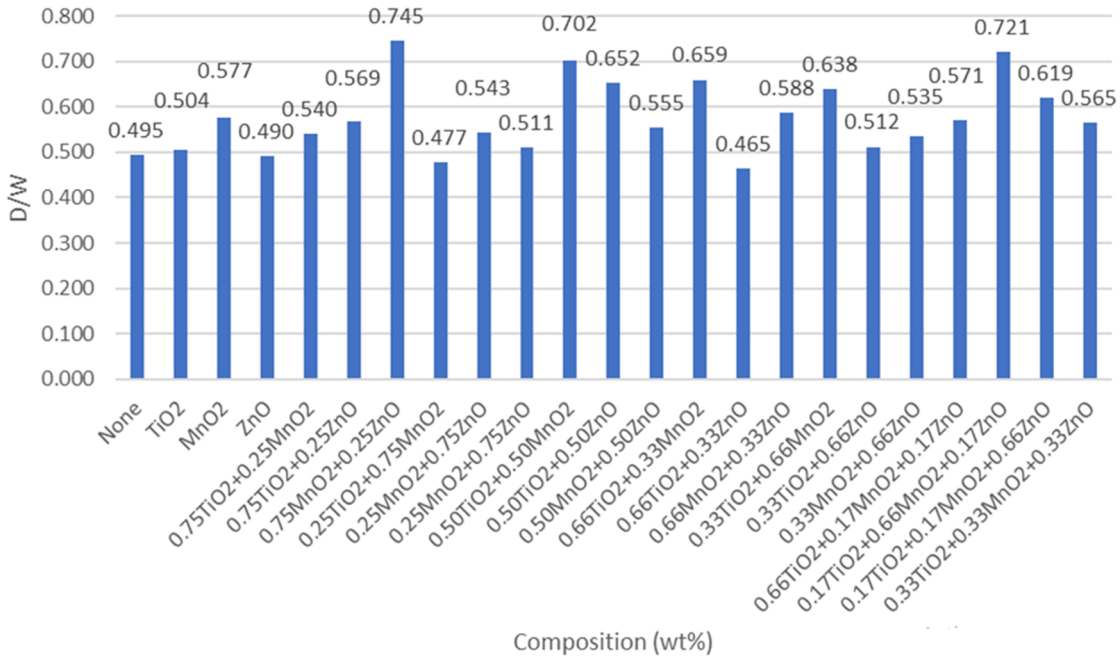
การเปรียบเทียบอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของรอยเชื่อมจากการเชื่อม TIG ด้วยการใช้ชนิดของฟลั๊กซ์และปริมาณสัดส่วนที่แตกต่างกันแสดงดังภาพ 11 จากกราฟแสดงให้เห็นว่า การใช้ฟลั๊กซ์และสัดส่วนที่ต่างกันส่งผลต่อค่า D/W โดยการใช้ $0.75MnO_2$+0.25ZnO จะให้อัตราส่วนดังกล่าวที่สูงที่สุด คือ 0.745 เมื่อเปรียบกับการเชื่อม TIG แบบไม่ใช้ฟลั๊กซ์ที่มีอัตราส่วน W/D เท่ากับ 0.495 ขณะที่การใช้ $0.17TiO_2$+$0.66MnO_2$+0.17ZnO และ $0.5TiO_2$+ $0.5MnO_2$ ทาลงบนผิวของงานเชื่อมจะส่งผลต่ออัตราส่วน D/W คือ 0.721 และ 0.702 ตามลำดับ ลักษณะของรอยเชื่อมที่เกิดจากการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นและรอยเชื่อม TIG แบบไม่ใช้ฟลั๊กซ์ดังภาพ 12



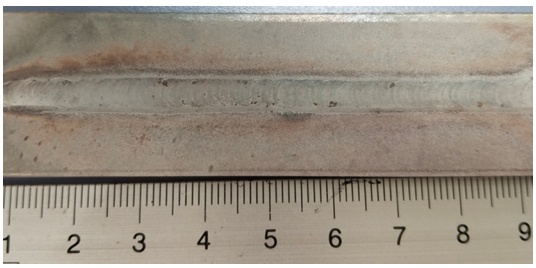
ภาพ 9 ความลึกของการเชื่อม TIG ที่ใช้ชนิดของฟลั๊กซ์และปริมาณที่แตกต่างกัน



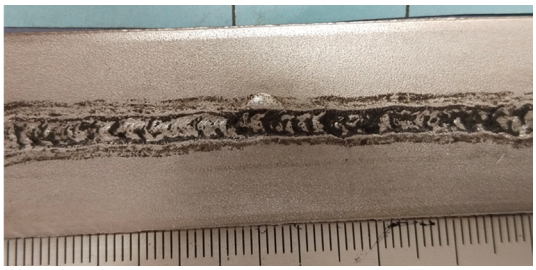
ภาพ 10 ความกว้างของการเชื่อม TIG ที่ใช้ชนิดของฟลั๊กซ์และปริมาณที่แตกต่างกัน



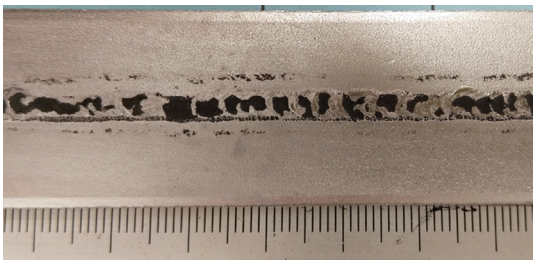
ภาพ 11 อัตราส่วนความลึกต่อความกว้าง (D/W) ของการเชื่อม TIG ที่ใช้ชนิดของฟลั๊กซ์และปริมาณที่แตกต่างกัน



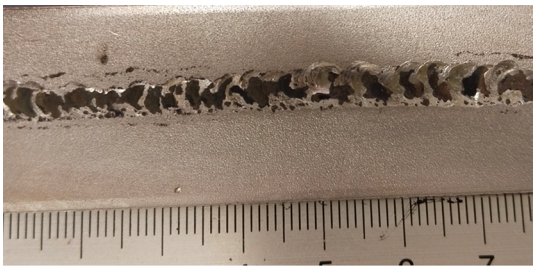
ไม่ทาฟลั๊กซ์กระตุ้น



$0.75MnO_2+0.25ZnO$



$0.17TiO_2+0.66MnO_2+0.17ZnO$



$0.5TiO_2+0.5MnO_2$

ภาพ 12 ลักษณะของรอยเชื่อมที่ไม่ใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นและใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น

สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น 3 ชนิด คือ TiO_2 MnO_2 และ ZnO ด้วยชนิด ปริมาณและสัดส่วนที่แตกต่างกันทาลงบนผิวของงานเชื่อมก่อนทำการเชื่อม TIG เพื่อศึกษาผลจากการใช้ฟลั๊กซ์ดังกล่าวส่งผลต่อความลึก ความกว้างและอัตราส่วนระหว่างความลึกต่อความกว้างของงานเชื่อม จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า การใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นจะช่วยเพิ่มความลึก ความกว้างและอัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของการเชื่อม TIG โดยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้น $0.75MnO_2$ +0.25ZnO จะให้อัตราส่วนความลึกต่อความกว้างที่สูงที่สุด คือ 0.745 ในขณะที่การเชื่อม TIG โดยไม่ใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นจะให้ค่าดังกล่าวเพียง 0.495 ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นถึง 33.5 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่การใช้ $0.17TiO_2+0.66MnO_2+0.17ZnO$ และ $0.5TiO_2+0.5MnO_2$ ทาลงบนผิวของชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมก็เป็นการเพิ่มอัตราส่วนดังกล่าวที่สูงขึ้นถึง 31.3 และ 29.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการเชื่อมแบบไม่ใช้ฟลั๊กซ์

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยการใช้ฟลั๊กซ์กระตุ้นกับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ผู้ทำการวิจัยอยากให้มีการทดลองใช้ฟลั๊กซ์ดังกล่าวกับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดอื่น ๆ เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกและเฟอริติว่าฟลั๊กซ์กระตุ้นจะส่งผลอย่างไรกับค่า D/W

References

Ahmadi, E., Ebrahimi, A. R., & Khosroshahi, R. A. (2013). Welding of 304L stainless steel with Activated Tungsten Inert Gas Process (A-TIG). *International Journal of ISSI, 10*(1), 27-33. https://journal.issiran.com/article_6557.html

Chauhan, R., Bhayani, J., & Borad, M. (2022). Effect of various fluxes on different metals and alloys in A-TIG Process: A review. *Journal Kejuruteraan, 34*(4), 543–553. https://doi.org/10.17576/jkukm-2022-34(4)-02

Choudhary, S., & Duhan, R. (2015). Effect of activated flux on properties of SS 304 using TIG welding. *International Journal of Engineering (IJE), Transactions B: Applications, 28*(2), 290–295. https://doi.org/10.5829/idosi.ije.2015.28.02b.16

Huang, H.Y., Shyu, S.W., & Chou, C. P. (2005). Evaluation of TIG flux welding on the characteristics of stainless steel. *Science Technology Welding Join, 10*(5), 566–573. https://doi.org/10.1179/174329305X48329

Kaewsuriwong, K., Meesanthia, P., Sornwongkaew, U., Aumpiem, A., Lumpapiwat, S., & Wattanathum, W. (2024). The study of the effect of O_2 contamination on discoloration at root pass welding of titanium grade 2 pipe ASTM B 861 using gas tungsten arc welding [In Thai]. *The Journal of Industrial Technology, 20*(2), 152–164. https//doi.org/10.14416/j.ind.tech.2024.08.011

Kannan, P. R., Madesh, S., Ganesan, A. T., & Prasannakumari, R. S. (2024). Study on effect of nickel molybdenum coated filler in gas tungsten arc welding [In Thai]. *Chiang Mai Journal of Science, 51*(2), e2024024. https://doi.org/10.12982/CMJS.2024.024

Kumar, K. V., Ramanaiah, N., & Rao, N. M. (2021). Effect of TiO_2, Fe_2O_3, and duplex of TiO_2 and Fe_2O_3 fluxes on microstructural, mechanical properties and weld morphology of A-TIG AH 36 marine-grade steel weldments. *International Journal of Engineering Trends and Technology, 69*(12), 218–228. https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V69I12P226

Lin, H. L., & Wu, T. M. (2012). Effects of activating flux on weld bead geometry of inconel 718 alloy TIG welds. *Materials and Manufacturing Processes, 27*(2), 1457–1461. https://doi.org/10.1080/10426914.2012.677914

Lugade, P. S., & Deshmukh, M. J. (2015). Optimization of process parameters of activated tungsten inert gas (A-TIG) welding for stainless steel 304L using taguchi method. *International Journal of Engineering Research and General Science, 3*(3), 854-860. https://doi.org/10.1088/2631-8695/acb526

Malik, Q. H. (2021). Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) or (TIG) welding [Research report]. https://www.researchgate.net/publication/353430058

Pavan, A. R., Chandrasekar, N., Arivazhagan, B., Kumar, S., & Vasudevan, M. (2022). Study of arc characteristics using varying shielding gas and optimization of activated-tig welding technique for thick AISI 316L(N) plates. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 35*, 675-690. https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.08.013

Rodjanakid, K., & Yutan, M. (2025). The study of mechanical characteristics and metallurgical of metal welding dissimilar between A335 P11 and A312 TP304 stainless steels by using GTAW [In Thai]. *Journal of Engineering and Innovation, 18*(1), 50-62. https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/eng_ubu/article/view/253455/171937

Sardrouda, R. A., Mostafapoura, A., & Mohtadi-Bonabb, M. A. (2022). Effect of active flux on aluminum 6061 and its mechanical properties by gas tungsten arc welding process. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications, 35*(8), 1501-1508. https://doi.org/10.5829/ije.2022.35.08b.06

Sresracoo, P., & Sriboonchandr, P. (2019). Guidelines for solving defects in welding work [In Thai]. *Journal of Thonburi University (Science and Technology), 3*(2), 11-18. https://www.thonburi-u.ac.th/Journal_SIT/Vol3_No2_2.pdf

Sridhar, S.P., Kumar, S.A., & Sathiya, P. (2016). A study on the effect of different activating flux on A-TIG welding process of incoloy 800H. *Advances in Materials Science, 16*(3), 26-37. https://doi.org/10.1515/adms-2016-0014

Tseng, K.H. (2013). Development and application of oxide-based flux powder for tungsten inert gas welding of austenitic stainless steels. *Powder Technology, 233*(3), 72–79. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.08.038