

ST-017

การศึกษาผลของการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยเลเซอร์ด้วยผงโลหะ SS420 และความแข็งจุลภาค ของเพลาคความเร็วสูง 17CrNiMo6

Study on the Effects of Laser Cladding with SS420 Powder and Microhardness of High-Speed Shaft 17CrNiMo6

เบญจวรรณ ทองชื่นตระกูล^{1,*}, ไพบุณย์ วัฒนพรภักดิ์², หทัยพัฒน์ ค่อยประเสริฐ³, เอกรัตน์ ไวยนิตย์⁴ และอภิวัฒน์ มุตกามระ⁵

Benjawan Thongchuentrakool^{1,*}, Paiboon Wattanapornphan², Hathaipat Koiprasert³,

Ekkarut Viyanit⁴ and Apiwat Muttamara⁵

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

^{1,2,3,4} ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NSTDA)

¹Faculty of Engineering, Thammasat School of Engineering, Thammasat University

^{1,2,3,4} National Metal and Materials Technology Center (MTEC), National Sciences and Technology
Development Agency (NSTDA)

*Corresponding author's e-mail: Benjawan.tho@mtect.or.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ในการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยเลเซอร์โดยใช้ผงโลหะ SS420 ต่อความแข็งของชิ้นงานเพลาคความเร็วสูง 17CrNiMo6 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เช่น Powder Feed Rate 12 g/min, Laser Power 1600 W และ Cladding Speed 15 mm/s สามารถเพิ่มความแข็งของชิ้นงานได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการเลือกพารามิเตอร์ดังกล่าวมีค่า Dilution ของชั้นผิวเคลือบอยู่ที่ 43.8 เปอร์เซ็นต์ และค่า Aspect Ratio เท่ากับ 5 มีการยึดเกาะระหว่างผิวเคลือบและวัสดุฐานที่ดี จากการทดลองพอกผิวแข็งด้วยเลเซอร์เต็มพื้นที่ 7x7 เซนติเมตร พบว่าผิวเคลือบจำนวนสามชั้นไม่พบข้อบกพร่องที่ผิวด้านนอกและภายใน เช่น รูพรุนหรือรอยแตกร้าว นอกจากนี้การทดสอบด้วยเครื่อง X-ray Computed Tomography (XCT) และกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่าโครงสร้างของชั้นผิวเคลือบมีความสมบูรณ์และไม่มีการหลุดล่อนของผิวเคลือบ อีกทั้งความแข็งของผิวเคลือบที่เกิดจากการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยเลเซอร์ยังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของวัสดุฐานก่อนเชื่อมพอกผิวแข็งมีความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 326 HV เพิ่มขึ้นเป็น 445 HV, 570 HV, และ 582 HV ตามลำดับ เมื่อจำนวนชั้นผิวเคลือบเพิ่มขึ้น การเพิ่มความแข็งสัมพันธ์กับการสะสมความร้อนและการเปลี่ยนแปลงค่า Dilution ซึ่งมีผลต่อความแข็งของผิวเคลือบ ดังนั้นจากการทดลองดังกล่าวจึงสรุปได้ว่า

การเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยเลเซอร์สามารถเพิ่มความแข็งและปรับปรุงสมบัติของวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การเชื่อมพอกผิวด้วยเลเซอร์, ความแข็งจุลภาค, เพลาความเร็วสูง, ผงโลหะ

ABSTRACT

This research was to investigate the effect of various parameters in laser cladding using stainless steel 420 powder and microhardness of high-speed shaft 17CrNiMo6. The selection of appropriate parameters, such as a powder feed rate of 12 g/min, laser power of 1600 W, and cladding speed of 15 mm/s, can significantly increase the hardness of the workpiece. The selected process parameters resulted in a coating layer with a dilution rate of 43.8% and an aspect ratio of 5, indicating effective metallurgical bonding between the cladding layer and the substrate. A full-area laser surface cladding experiment was conducted over a 7x7cm. The results demonstrated that the three layer cladding exhibited no observable surface or internal defects, such as porosity or cracking, thereby confirming the structural integrity and quality of the coating. Furthermore, testing using X-ray Computed Tomography (XCT) and Scanning Electron Microscopy (SEM) confirmed that the coating layer possessed a defect-free microstructure with no evidence of delamination. In addition, the hardness of the cladding layer produced by laser surface hardening was significantly enhanced, indicating the effectiveness of the process in improving surface properties. The average hardness of the substrate material prior to laser cladding was 326 HV, which increased to 445 HV, 570 HV, and 582 HV, respectively, as the number of cladding layers increased. This enhancement in hardness is attributed to the cumulative thermal effect and changes in dilution, both of which significantly influence the microstructure and hardness of the coating layer. Based on these experimental results, it can be concluded that the proper selection of laser cladding parameters effectively enhances the hardness and improves the material properties of the substrate.

Keywords: Laser cladding, Microhardness, High-speed shaft, Powder

บทนำ

เพลาคความเร็วสูง (High-speed shaft) เป็นชิ้นส่วนสำคัญของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมเหมืองแร่ พลังงาน และยานยนต์ โดยทำหน้าที่ในการส่งถ่ายแรงหมุนจากมอเตอร์ไปยังกลไกต่างๆ ซึ่งจำเป็นต้องทนต่อแรงบิดและแรงกระแทกสูง วัสดุที่นิยมใช้ผลิตเพลาดังกล่าวคือเหล็กกล้าเกรด 17CrNiMo6 ซึ่งมีสมบัติเด่นทั้งด้านความแข็งแรง ทนต่อแรงกระแทก และสามารถชุบแข็งได้ดี เหมาะสำหรับงานที่ต้องรับแรงหมุนอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามแม้ว่าวัสดุดังกล่าวจะมีสมบัติเชิงกลที่ดี แต่การใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีแรงเสียดทานและแรงบิดสูงอย่างต่อเนื่องสามารถทำให้พื้นผิวสึกหรอได้ (Pang et al., 2013; Ge & Ming Liu, 2023) ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านประสิทธิภาพของเครื่องจักรและการเพิ่มต้นทุนในการเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่

การซ่อมแซมและเพิ่มอายุการใช้งานของเพลาคความเร็วสูงที่มีประสิทธิภาพอีกวิธีคือกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยเลเซอร์ (Laser Cladding) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถควบคุมปริมาณพลังงานได้อย่างแม่นยำ ทำให้บริเวณกระทบร้อน (HAZ) มีขนาดเล็ก ลดความเสียหายต่อวัสดุฐาน (Base metal) และสามารถพอกผิวเฉพาะจุดที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การเลือกใช้พารามิเตอร์และผงโลหะที่เหมาะสมกับวัสดุฐานมีผลต่อความสามารถในการยึดเกาะ ความแข็งที่ผิว และความต้านทานการสึกหรอ (Ge & Ming Liu, 2023; Jeyaprakash & Hua Yang, 2020) จากงานวิจัยของ Jeyaprakash & Hua Yang ในปี 2020 ยังได้ศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอและโครงสร้างจุลภาคของชั้นพอกผิวด้วยผงสแตนเลส 420 บนวัสดุฐาน Ti-6Al-4V โดยใช้กระบวนการเชื่อมพอกผิวด้วยเลเซอร์ (Laser Cladding Process) ซึ่งมุ่งเน้นการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น พลังงานเลเซอร์ ความเร็วในการสแกนของเลเซอร์ และอัตราการป้อนผง ซึ่งส่งผลต่อความแข็งและพฤติกรรมการสึกหรอของชั้นพอกผิว เพราะผงสแตนเลส 420 เป็นวัสดุที่มีสมบัติโดดเด่นหลายประการ เช่น ความแข็งสูงจากโครงสร้างมาร์เทนซิดิกที่ช่วยเพิ่มความต้านทานการสึกหรอ อีกทั้งยังมีความต้านทานการกัดกร่อนที่ดีในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นหรือสารเคมีบางชนิด จากการเชื่อมพอกผิวด้วยเลเซอร์เพื่อการซ่อมแซมชิ้นส่วนรางรถไฟ โดยใช้โลหะผสมโคบอลต์และสแตนเลสสตีล ผลการศึกษาพบว่าโลหะที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมพอกผิวมีความสามารถในการทนทานต่อการสึกหรอได้ดีและสามารถเพิ่มอายุการใช้งานของชิ้นส่วนที่ได้รับการซ่อมแซม และความทนทานต่อการกัดกร่อนของชิ้นส่วนรางรถไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Fasihi et al., 2022)

จากกรณีศึกษาที่ผ่านมาในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ มีการใช้ลวดเติม 10 MnMo4-5 ในการซ่อมบำรุงเพลาค 17CrNiMo6 ด้วยกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยเลเซอร์ พบว่ามีรอยแตกร้าว (Crack) ที่ตำแหน่งสวมอัด Bearing บริเวณพื้นผิวของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมพอกมีความแข็งซึ่งต่ำกว่าความแข็งของวัสดุฐานและบริเวณกระทบร้อน (Heat Affected Zone, HAZ) ลักษณะดังกล่าวจึงอาจเป็นผลจากการเลือกใช้ลวดเติม 10 MnMo4-5 ซึ่งเป็นลวดที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำเพียง 0.1% และไม่มีธาตุผสมที่ช่วยเพิ่มความสารถในการชุบแข็ง

เช่น โครเมียม (Cr) และนิกเกิล (Ni) ทำให้บริเวณเนื้อเชื่อมมีปริมาณธาตุผสมโครเมียม และนิกเกิล ต่ำกว่า โลหะพื้น ส่งผลให้ความสามารถในการชุบแข็งของเพลาลดลง บริเวณพื้นผิวของเพล่าที่ผ่านการเชื่อมเชื่อมจึงมีความแข็งต่ำ เกิดการเสียดสีได้ง่าย และทำให้เกิดการเสียรูปของเนื้อโลหะ (Deformation) ของเพล่าที่บริเวณผิวจนนำไปสู่การแตกร้าวและเกิดความเสียหายของเพล่า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการใช้ผงโลหะชนิด SS420 สำหรับการเชื่อมพอกผิวด้วยเลเซอร์บนเพล่าเหล็กกล้า 17CrNiMo6 ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่สามารถให้ความแข็งแรง ทนต่อการสึกหรอ และยึดเกาะกับวัสดุฐานได้ดี โดยศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ และประสิทธิภาพการพอกผิว (Deposition Efficiency) เพื่อประเมินศักยภาพของผงโลหะ SS420 ในการซ่อมแซมเพล่าความเร็วสูงในอุตสาหกรรม

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยเลเซอร์ด้วยผงโลหะ SS420
2. ทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ก่อนและหลังเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยเลเซอร์

สมมติฐานการวิจัย

พารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยเลเซอร์มีผลต่อคุณภาพของชั้นพอกผิวที่ได้จากผงโลหะ SS420 โดยเฉพาะความแข็งและความต่อเนื่องของโครงสร้างชั้นพอกผิวที่เกิดขึ้น นอกจากนี้การเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยเลเซอร์โดยใช้ผงโลหะ SS420 จะช่วยเพิ่มค่าความแข็งของพื้นผิวหลังการเชื่อมพอกให้สูงกว่าค่าความแข็งของพื้นผิวของเพล่าก่อนการเชื่อมพอกอย่างมีนัยสำคัญ

วิธีดำเนินการวิจัย

ชิ้นงานและส่วนผสมทางเคมี

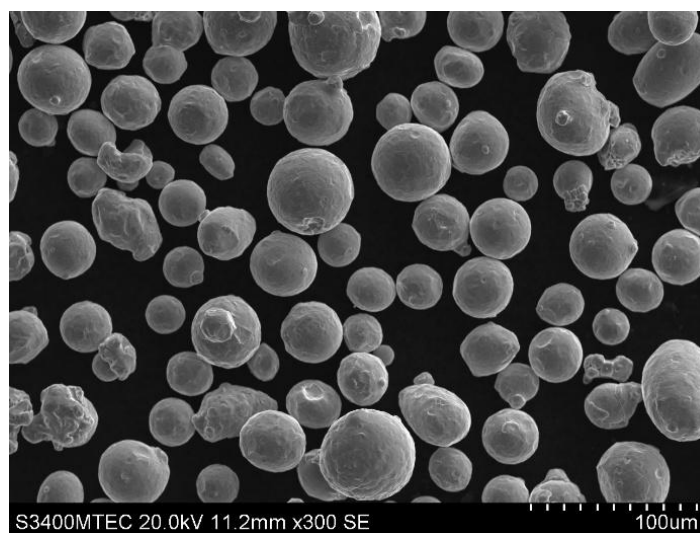
เพล่าความเร็วสูงที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังภาพที่ 1 คือเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low alloy steel) เกรด 17 CrNiMo6 ที่มีส่วนผสมทางเคมีอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของมาตรฐาน DIN 17210 ดังตารางที่ 1 โลหะผงสำหรับการเชื่อมพอกผิวแข็ง คือผงโลหะสแตนเลสเกรด 420 (Stainless Steel 420) ซึ่งเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีปริมาณคาร์บอนสูงและธาตุผสมโครเมียม (Cr) และ นิกเกิล (Ni) ที่มีความสามารถในการชุบแข็งได้ดี ส่วนผสมทางเคมีแสดงดังตารางที่ 2 โลหะผงมีลักษณะรูปร่างกลมมน แสดงดังภาพที่ 2 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยคือ $46.1 \mu\text{m}$ (D(0.5)) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Mastersizer 2000 ผลการวิเคราะห์มีการวัดขนาดอนุภาคในช่วงตั้งแต่ $0.02 \mu\text{m}$ ถึง $2000 \mu\text{m}$ โดยมีการใช้อากาศเป็นสื่อการกระจาย ที่แรงดัน 2 บาร์ แสดงดังตารางที่ 3



ภาพที่ 1 เฟลาความเร็วสูง เกรด 17CrNiMo6 ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเฟลาความเร็วสูงที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนผสมทางเคมี (wt%)								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Fe
0.23	0.312	0.57	0.007	0.011	1.80	0.32	1.63	Bal.



ภาพที่ 2 ผงโลหะ SS420 ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 2 ส่วนผสมทางเคมีของโลหะผงที่ใช้ในการทดลอง

โลหะผง	ส่วนผสมทางเคมี (wt%)							
	C	B	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Fe
420	0.25	-	0.5	1.2	13	-	<1	Bal.

ตารางที่ 3 การกระจายขนาดอนุภาคของผงโลหะ SS420

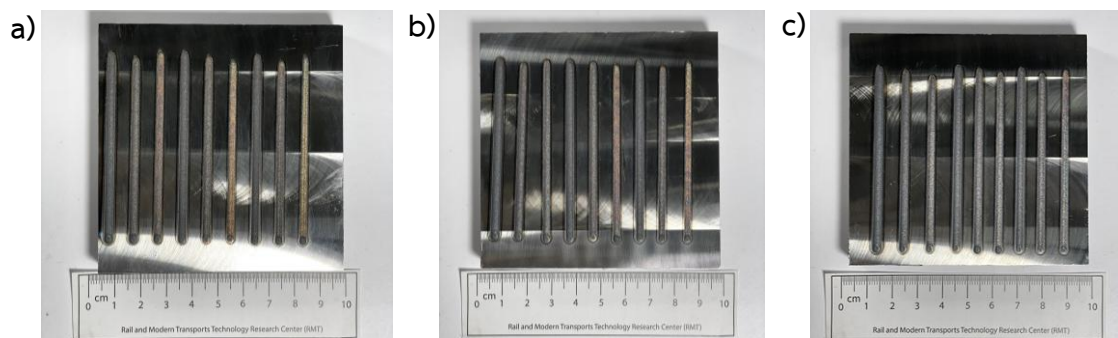
D10/ μm	D50/ μm	D90/ μm	Span
31.81	46.1	66.54	0.753

การเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยเลเซอร์

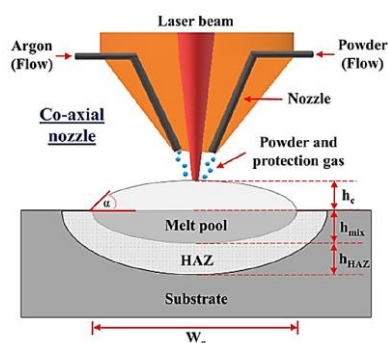
ตัดชิ้นงานเพลลาให้มีขนาด 9x9 เซนติเมตร และหนา 1.5 เซนติเมตร จำนวนทั้งหมด 6 ชิ้น สำหรับทดลองแบบเส้นเดี่ยว (Single Track) และทดลองแบบเชื่อมพอกผิวเต็มพื้นที่ กัดปาดผิวชิ้นงานให้เรียบด้วยเครื่องมือลึงและทำความสะอาดไม่ให้มีคราบสิ่งสกปรกบนผิวชิ้นงานก่อนเชื่อมพอกผิว โดยกำหนดตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4 และภาพที่ 3 จากนั้นเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากความสมมาตรจากการวัดทางเรขาคณิต (Geometrical Measures) และค่า Aspect Ratio วิธีวัดดังภาพที่ 4 และพิจารณาข้อบกพร่องจากการเชื่อม ซึ่งเชื่อมพอกผิวเป็นพื้นที่ 7x7 เซนติเมตร โดย Overlap 50% และเพิ่มชั้นเคลือบให้มีขนาดผิวพอกหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำชิ้นงานสแกนดูรูปทรงภายในด้วยเครื่อง X-ray Computed Tomography; XCT แสดงดังภาพที่ 5 และภาคตัดขวาง (Cross section)

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองแบบ Single Track

Powder Feed Rate (g/min)	Cladding Speed (mm/s)	Laser Power (W)
10	10, 15, 20	1800
	10, 15, 20	1600
	10, 15, 20	1400
12	10, 15, 20	1800
	10, 15, 20	1600
	10, 15, 20	1400
15	10, 15, 20	1800
	10, 15, 20	1600
	10, 15, 20	1400



ภาพที่ 3 ภาพชิ้นงานหลังเชื่อมแบบ Single Track ที่พารามิเตอร์ต่างๆ a) Powder feed rate 10 g/min
b) Powder feed rate 12 g/min และ c) Powder feed rate 15 g/min

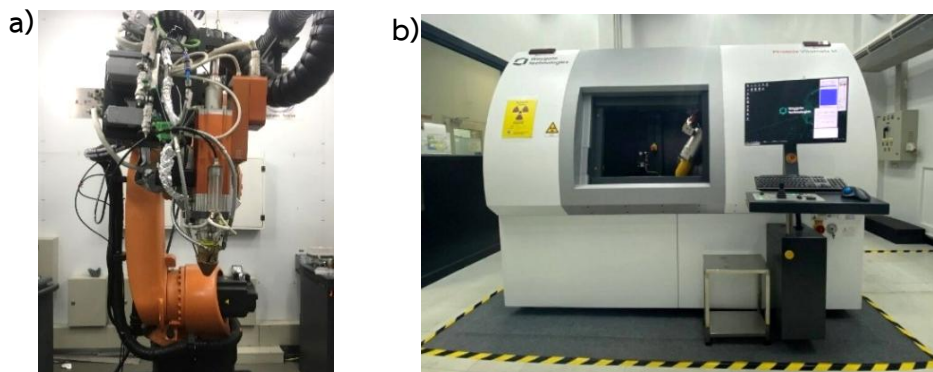


$$\text{Aspect ratio} = \frac{W_c}{h_c}$$

$$\text{Dilution} = \frac{h_{mix}}{(h_{mix} + h_c)} \times 100\%$$

W_c = Clad width
 h_c = Clad height
 h_{mix} = Melt pool depth (Mix height)
 h_{HAZ} = Heat affected zone height

ภาพที่ 4 การวัดทางเรขาคณิต Geometrical Measures of Single Track (Waree et al., 2024)



ภาพที่ 5 a) เครื่องเลเซอร์ IPG Laser รุ่น YLS-6000 Fiber Laser หัวเชื่อม laser cladding ยี่ห้อ KUKA
b) เครื่อง X-ray Computed Tomography; XCT รุ่น Phoenix V tome xM420
ยี่ห้อ Waygate Technologies

การเตรียมชิ้นงานโครงสร้างจุลภาคและความแข็ง

นำชิ้นงานที่ได้จากเชื่อมพอกผิวตัดและขัดด้วยด้วยกระดาษทรายเบอร์ 180, 360, 600 และ 2500 ตามลำดับ จากนั้นนำมาขัดละเอียดด้วยผงขัดเพชรขนาด 9, 6, 3 และ 1 ไมครอน และนำมากัดผิวโครงสร้างวัสดุฐานด้วยกรดในขั้นตอนสุดท้ายด้วยกรด Nital 2% ทำการวัดความแข็งได้ชิ้นผิวโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งหน่วยวิกเกอร์ส (Vickers) ด้วยน้ำหนักของหัวกดขนาด 200 กรัม (HV0.2) กำหนดให้แต่ละจุดห่างกัน 100 ไมครอน จากผิวด้านบนสุด โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ส (Shimadzu microhardness tester รุ่น HMV-G31-FA-D-HC) และศึกษาโครงสร้างด้วยกล้องสเตอริโอ ยี่ห้อ Olympus รุ่น SXZ7 และกล้องกำลังขยายสูง Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM7800F แสดงดังภาพที่ 6

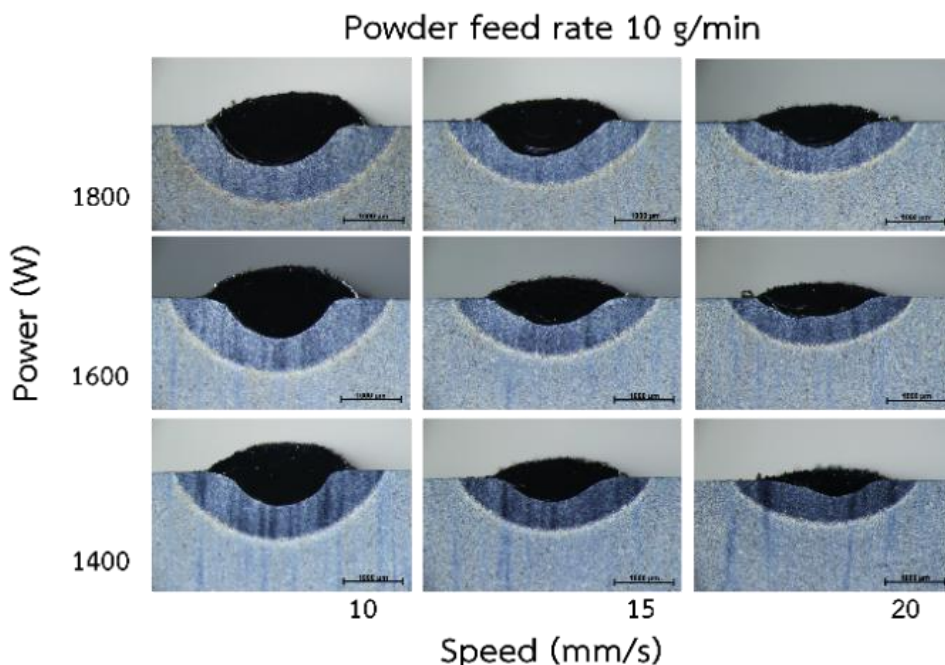


ภาพที่ 6 a) กล้อง Stereo, b) กล้อง Field Emission Scanning Electron Microscope และ
c) เครื่องทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ส

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาพารามิเตอร์กระบวนการเชื่อม

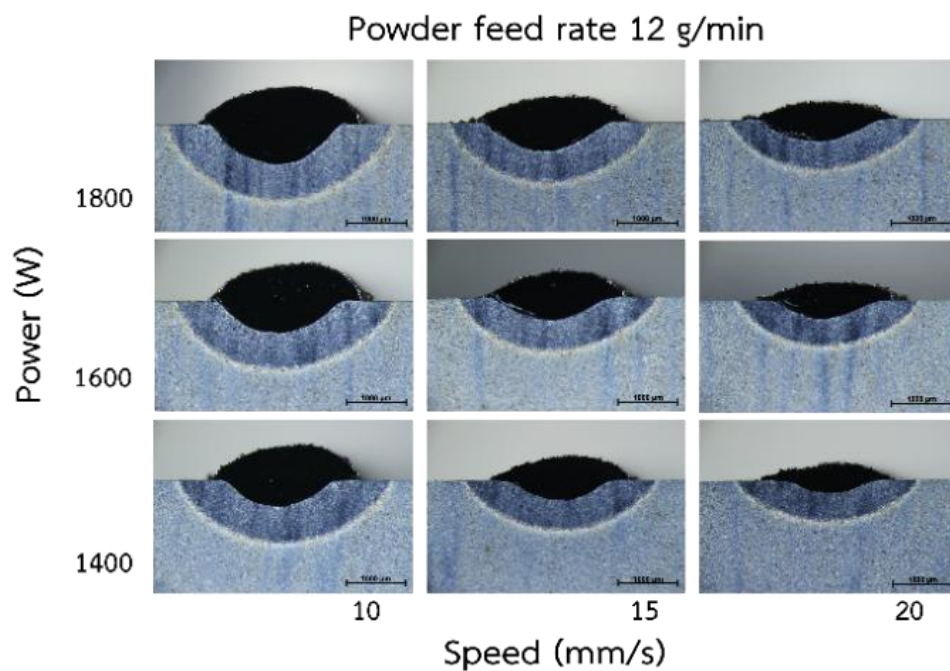
การคำนวณจากการวัดทางเลขาคณิต (Geometrical Measures) แสดงดังตารางที่ 5-7 และภาพภาคตัดขวางของ Single track แสดงดังภาพที่ 7-9 งานวิจัยนี้มีค่า Dilution อยู่ระหว่าง 28.9-64.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นช่วงกว้าง เมื่อพิจารณาจากความสูงชั้นเคลือบและความลึกของแนวกระทบร้อน (HAZ) ของพารามิเตอร์ที่แสดงทั้งหมดร่วมด้วยพบว่าค่า Aspect ratio 5-6 และค่าอัตราส่วนของวัสดุฐานที่ผสมอยู่ในผิวเคลือบ หลังจากการเชื่อม (Dilution) ประมาณ 40-45 เปอร์เซ็นต์ เป็นช่วงที่เหมาะสมและมีความสมมาตร เพราะเมื่อค่า Dilution ต่ำเกินไป การยึดเกาะระหว่างชั้นผิวเคลือบและวัสดุฐานอาจไม่ดีขาดการผสมของธาตุที่เพียงพอ นำไปสู่การหลุดลอกของชั้นเคลือบได้ แต่หากค่า Dilution สูงเกินไปวัสดุฐานผสมเข้ากับชั้นพอกผิวมากเกินไป อาจทำให้ความแข็งหรือความต้านทานการสึกหรอของผิวเคลือบลดลง (Fasihi et al., 2022; Soodi, 2011) ดังนั้นพารามิเตอร์ Powder Feed Rate 12 g/min, Laser Power 1600 W และ Cladding Speed 15 mm/s มีแนวเชื่อมกว้างเท่ากับ 2.313 มิลลิเมตร ความสูงเท่ากับ 0.450 มิลลิเมตร และมีแนวกระทบร้อน (HAZ) เท่ากับ 0.49 มิลลิเมตร มี Aspect ratio เท่ากับ 5 และค่า Dilution เท่ากับ 43.8 เปอร์เซ็นต์ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำพารามิเตอร์นี้มาเชื่อมพอกผิวเป็นพื้นที่ 7x7 เซนติเมตร



ภาพที่ 7 ภาพถ่ายด้วยกล้อง Stereo ที่กำลังขยาย 50 เท่า บริเวณภาคตัดขวาง Single Track ของ SS420 ที่ Powder feed rate 10 g/min

ตารางที่ 5 ค่าที่คำนวณได้จากการวัดทางเรขาคณิตของพารามิเตอร์ต่าง ๆ

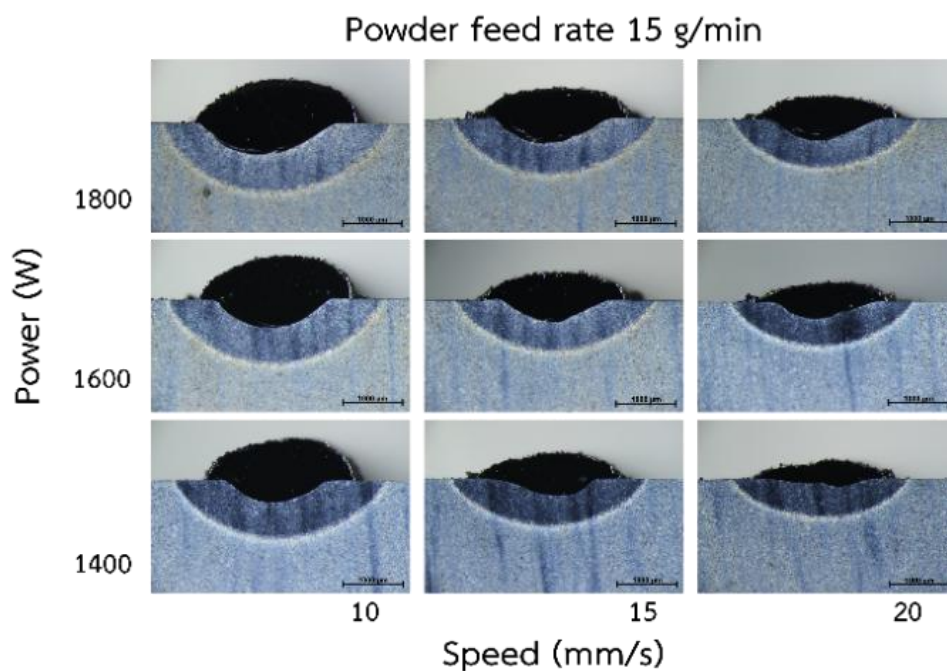
Powder feed rate 10 g/min						
Parameter	Width (mm)	Height (mm)	h_{mix} (mm)	HAZ (mm)	Aspect ratio	Dilution%
1800W/10mm/s	2.673	0.547	0.649	0.627	4.8	54.3
1800W/15mm/s	2.423	0.356	0.591	0.458	6.8	62.4
1800W/20mm/s	2.236	0.246	0.451	0.418	9.0	64.7
1600W/10mm/s	2.533	0.517	0.660	0.550	4.8	56.1
1600W/15mm/s	2.317	0.334	0.444	0.488	6.9	57.1
1600W/20mm/s	2.166	0.235	0.319	0.466	9.2	57.6
1400W/10mm/s	2.463	0.470	0.561	0.532	5.2	54.4
1400W/15mm/s	2.287	0.315	0.403	0.462	7.2	56.1
1400W/20mm/s	2.177	0.187	0.268	0.422	11.6	58.9



ภาพที่ 8 ภาพถ่ายด้วยกล้อง Stereo ที่กำลังขยาย 50 เท่า ภาคตัดขวาง Single Track ของ SS420 ที่
Powder feed rate 12 g/min

ตารางที่ 6 ค่าที่คำนวณได้จากการวัดทางเรขาคณิตของพารามิเตอร์ต่าง ๆ

Powder feed rate 12 g/min						
Parameter	Width (mm)	Height (mm)	h_{mix} (mm)	HAZ (mm)	Aspect ratio	Dilution%
1800W/10mm/s	2.669	0.620	0.657	0.594	4.3	51.4
1800W/15mm/s	2.445	0.425	0.462	0.514	5.7	52.0
1800W/20mm/s	2.335	0.282	0.356	0.458	8.3	55.8
1600W/10mm/s	2.507	0.616	0.495	0.569	4.0	44.6
1600W/15mm/s	2.313	0.451	0.352	0.492	5.1	43.8
1600W/20mm/s	2.313	0.297	0.308	0.436	7.8	51.0
1400W/10mm/s	2.379	0.572	0.429	0.591	4.2	42.9
1400W/15mm/s	2.269	0.392	0.323	0.488	5.8	45.1
1400W/20mm/s	2.129	0.286	0.216	0.440	7.5	43.1



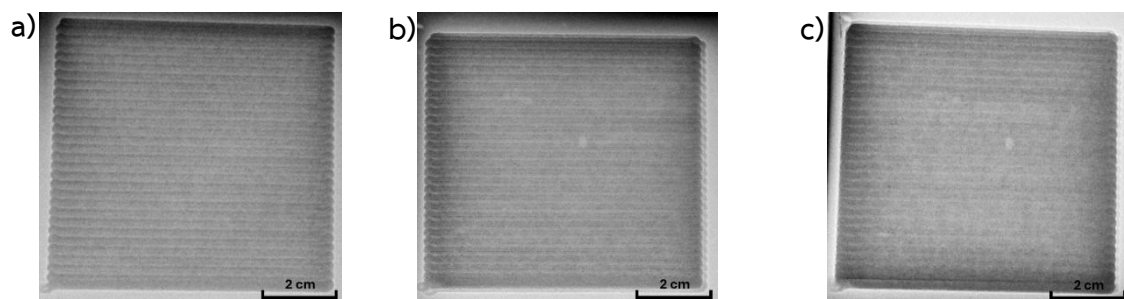
ภาพที่ 9 ภาพถ่ายด้วยกล้อง Stereo ที่กำลังขยาย 50 เท่า ภาคตัดขวาง Single Track ของ SS420 ที่

Powder feed rate 15 g/min

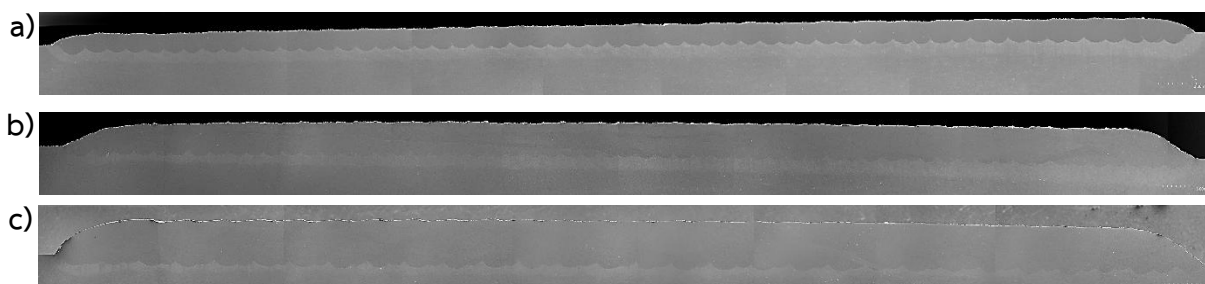
ตารางที่ 7 ค่าที่คำนวณได้จากการวัดทางเรขาคณิตของพารามิเตอร์ต่าง ๆ

Powder feed rate 15 g/min						
Parameter	Width (mm)	Height (mm)	h_{mix} (mm)	HAZ (mm)	Aspect ratio	Dilution%
1800W/10mm/s	2.665	0.705	0.517	0.587	3.8	42.3
1800W/15mm/s	2.552	0.488	0.425	0.488	5.2	46.6
1800W/20mm/s	2.504	0.367	0.341	0.440	6.8	48.2
1600W/10mm/s	2.581	0.701	0.470	0.572	3.6	40.12
1600W/15mm/s	2.460	0.444	0.356	0.466	5.5	44.5
1600W/20mm/s	2.309	0.304	0.286	0.451	7.6	48.4
1400W/10mm/s	2.463	0.690	0.363	0.583	3.6	34.5
1400W/15mm/s	2.482	0.403	0.282	0.477	6.2	41.2
1400W/20mm/s	2.313	0.308	0.124	0.473	7.5	28.9

จากการสแกนด้วยเครื่อง X-ray Computed Tomography; XCT เมื่อเชื่อมพอกผิวเต็มพื้นที่ 7x7 เซนติเมตร พารามิเตอร์ Powder Feed Rate 12 g/min, Laser Power 1600 W และ Cladding Speed 15 mm/s โดย Overlap 50% ของผิวเคลือบหนึ่งชั้น ผิวเคลือบสองชั้นและผิวเคลือบสามชั้น ไม่พบข้อบกพร่อง อาทิเช่น รูพรุนหรือรอยแตกร้าวภายในจากการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยเลเซอร์ แสดงดังภาพที่ 10 เมื่อทดสอบในภาคตัดขวางด้วยกล้อง SEM ของแนวเชื่อมพอกพบว่า ผิวเคลือบชั้นที่หนึ่งความสูงเดิมเท่ากับ 0.45 มิลลิเมตร เพิ่มขึ้นเป็น 0.70 มิลลิเมตร เมื่อเชื่อมพอกชั้นที่สอง ผิวเคลือบมีความสูงโดยรวมเท่ากับ 1.2 มิลลิเมตร และเชื่อมพอกชั้นที่สาม ผิวเคลือบมีความสูงโดยรวมเท่ากับ 2 มิลลิเมตร และไม่พบข้อบกพร่องทั้งรูพรุนหรือรอยแตกร้าวของผิวเคลือบและชั้น Interface ของผิวเคลือบกับวัสดุฐานมีการยึดเกาะกันได้ดี ดังภาพที่ 11



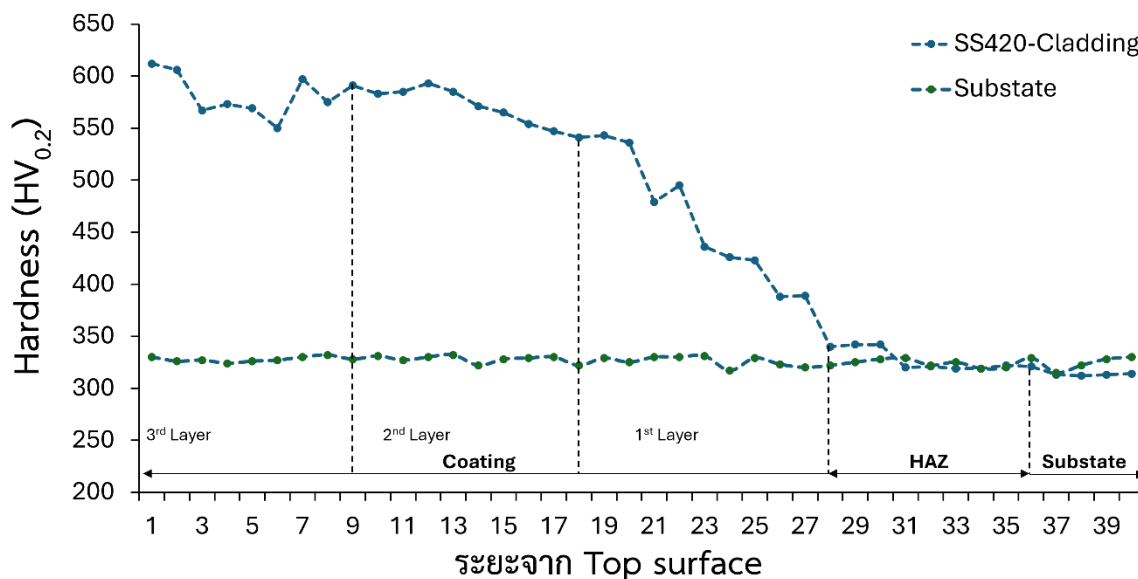
ภาพที่ 10 ภาพ 2D ด้วยกล้อง X-ray Computed Tomography; XCT ของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง
1) ผิวเคลือบชั้นที่หนึ่ง 2) ผิวเคลือบชั้นที่สอง และ 3) ผิวเคลือบชั้นที่สาม



ภาพที่ 11 ภาพ SEM ที่กำลังขยาย 15 เท่า บริเวณภาคตัดขวางทั้งพื้นที่แนวเชื่อมพอกผิวแข็ง a) ผิวเคลือบชั้นที่หนึ่ง b) ผิวเคลือบชั้นที่สอง และ c) ผิวเคลือบชั้นที่สาม

ความแข็งจุลภาค

ภาพที่ 12 แสดงกราฟโปรไฟล์ความแข็งไมโครวิกเกอร์ส (Vickers Microhardness) ของชิ้นงานเพลาคความเร็วสูง 17CrNiMo6 ที่ผ่านการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยเลเซอร์ด้วยผงโลหะ SS420 ของพารามิเตอร์ Powder Feed Rate 12 g/min, Laser Power 1600 W และ Cladding Speed 15 mm/s ที่ผิวเคลือบสามชั้น พบว่าความแข็งของชั้นเคลือบมีความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยผิวเคลือบชั้นที่หนึ่งมีความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 445 HV ผิวเคลือบชั้นที่สองมีความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 570 HV และผิวเคลือบชั้นที่สามมีความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 582 HV เมื่อเทียบกับความแข็งเดิมของวัสดุฐานก่อนเชื่อมพอกผิวแข็งมีความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 326 HV จากภาพความแข็งจะเห็นได้ว่าความแข็งนั้นเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นที่มากขึ้น เมื่อมีจำนวนชั้นที่เพิ่มค่าการสะสมความร้อน (Heat Accumulation) และค่า Dilution ก็จะสูงตามไปด้วย การเชื่อมพอกในแต่ละชั้นมีผลกระทบต่อค่า Dilution สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของความแข็งที่ได้ (Zhang et al., 2016)



ภาพที่ 12 ความแข็งไมโครวิเกอร์สแบบโปรไฟล์ก่อนและหลังเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยเลเซอร์

สรุปผลการวิจัย

การเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยเลเซอร์โดยใช้ผงโลหะ SS420 ในพารามิเตอร์ที่ตั้งไว้ เช่น Powder Feed Rate 12 g/min, Laser Power 1600 W, และ Cladding Speed 15 mm/s ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มความแข็งของชิ้นงาน โดยมีค่า Dilution อยู่ที่ประมาณ 43.8% และ Aspect Ratio ที่ 5 ซึ่งเป็นค่าเหมาะสมสำหรับการยึดเกาะที่ดีระหว่างผิวเคลือบและวัสดุฐาน ไม่มีข้อบกพร่องอย่างเช่น รูพรุนหรือรอยแตกร้าวภายในหลังจากการเชื่อมพอกผิวแข็งทั้งสามชั้น ความแข็งของผิวเคลือบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจากก่อนการเชื่อมพอกมีความแข็งเท่ากับ 326 HV เพิ่มขึ้นเป็น 445 HV, 570 HV, และ 582 HV ตามลำดับ ผลการทดสอบด้วย X-ray Computed Tomography (XCT) และกล้อง SEM ยืนยันว่าโครงสร้างของชั้นเคลือบมีความสมบูรณ์และไม่มีการหลุดล่อนของวัสดุ ทำให้การเชื่อมพอกผิวแข็งในพารามิเตอร์นี้มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความแข็ง

ข้อเสนอแนะ

พารามิเตอร์การเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยเลเซอร์สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุง ซ่อมแซม กระบวนการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องการความทนทานสูง เช่น ชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ต้องสัมผัสกับการสึกหรอหรือแรงเสียดทาน โดยการควบคุมค่า Aspect Ratio และ Dilution ในกระบวนการเชื่อมพอกจะทำให้ได้การยึดเกาะที่ดีระหว่างชั้นเคลือบและวัสดุฐาน เพิ่มความแข็งให้กับผิวเคลือบได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนทำให้ลดต้นทุนการซ่อมบำรุงในระยะยาว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ ระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2568 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ผู้เขียนขอขอบคุณ กลุ่มวิจัยเทคโนโลยีระบบรางและการขนส่งสมัยใหม่ (RMT) ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NSTDA)

เอกสารอ้างอิง

- Fasihi, P., Kendall, O., Abrahams, R., Mutton, P., Qiu, C., Schläfer, T., & Yan, W. (2022). Tribological properties of laser cladded alloys for repair of rail components. *Materials*, 15(21), 7466.
- Ge, P., & Liu, Z.-M. (2023). Numerical studies on the parameter effect and controlling method of the residual stress in the remanufactured 17CrNiMo6 heavy-duty gear by the laser cladding deposition. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 130(3), 887–901.
- Jeyapragash, N., & Yang, C.-H. (2020). Microstructure and wear behaviour of SS420 micron layers on Ti-6Al-4V substrate using laser cladding process. *Trans Indian Inst Met*, 73(2), 273–280.
- Pang, Z., Yu, S., & Xu, J. (2013). Study of effect of quenching deformation influenced by 17CrNiMo6 gear shaft of carburization. *Physics Procedia*, 50, 103–112.
- Soodi, M., Wang, J., & Singh, R. (2011). A study of laser cladding with 420 stainless steel powder on the integrity of the substrate metal. *Advanced Materials Research*, 230-232, 949–952.
- Waree, K., Wattanapornphan, P., Wongpisan, W., Tongsri, R., & Patakham, U. (2024). Clad-geometric characteristics and melt-pool behavior on microstructure evolution of laser clad Stellite-6 on R260 grade rail steel. *Progress in Additive Manufacturing*.
- Zhang, Y., Yang, L., Dai, J., Liu, J., Zhang, W., Chen, H., Wang, Z., & Shi, K. (2016). Microstructure and mechanical properties of pulsed laser cladded IN718 alloy coating. *Surface Engineering*, 32(6), 432–438.