

การศึกษาความหนาผิวเคลือบที่ส่งผลต่อขนาดที่ปรากฏของรอยบ่งชี้ จากการทดสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก

ภาวิณี อ่างบุญตา^{1*} ไพศาล ทองสงค์² ประจักษ์ อ่างบุญตา³

^{1*} คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, ประเทศไทย

^{2,3} คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, ประเทศไทย

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล : Duangkamol_a@rmutt.ac.th

รับต้นฉบับ : 28 มกราคม 2566; รับประทานฉบับแก้ไข : 20 มีนาคม 2566; ตอบรับบทความ : 28 เมษายน 2566

เผยแพร่ออนไลน์ : 29 มิถุนายน 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหนาของสารเคลือบผิวชิ้นงานที่ส่งผลต่อการตรวจสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก ตัวแปรหลักที่ทำการศึกษา คือ ความหนาของสารเคลือบ โดยการศึกษาทั้งสารเคลือบผิวชิ้นงาน 3 ประเภท คือ สารเคลือบสีขาว สารเคลือบสี และสารเคลือบแลคเกอร์ ทำการทดสอบกับชิ้นงานมาตรฐานที่จำลองรอยบกพร่องขนาดความกว้าง ความยาวและความลึกเป็น 0.0060, 0.0625, และ 0.0200 นิ้ว ตามลำดับ การทดลองดำเนินการทดสอบหารอยบ่งชี้ที่ขึ้นทดสอบที่ไม่ได้เคลือบผิว และขึ้นทดสอบที่ผ่านการเคลือบผิวที่มีระดับความหนาน้อยถึงระดับความหนาที่ไม่สามารถแสดงผลของรอยบ่งชี้ที่ชัดเจน ใช้โยกเหนียวนำทำให้ขึ้นทดสอบเป็นแม่เหล็ก ขณะเดียวกันฉีดพ่นผงแม่เหล็กแบบเรืองแสงลงตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบ จากนั้นทำการบันทึกภาพด้วยกล้องไมโครสโคปที่กำลังขยาย 30 เท่า ภายใต้แสง UV - A ในห้องมืด ทำการวัดผลจากความยาวของรอยบ่งชี้ที่ปรากฏของแต่ละประเภทของสารเคลือบ จากผลการทดลอง พบว่า ความหนาของสารเคลือบทั้ง 3 ประเภท มีผลต่อปริมาณความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่รอยบกพร่องของชิ้นทดสอบที่ระดับความหนาแตกต่างกัน ความหนาของสารเคลือบที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กมากที่สุดไปถึงน้อยสุด คือ สารเคลือบสีขาว แลคเกอร์และสารเคลือบสี โดยมีค่าของความหนาที่ส่งผลต่อความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเป็นค่า 61.19, 73.63 และ 83.56 ไมโครเมตร ตามลำดับ โดยพิจารณาจากขนาดความของรอยบ่งชี้ที่ลดลงมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของรอยบกพร่องที่ยอมได้ตามเกณฑ์ตามมาตรฐานของ ASME Section V

คำสำคัญ : ความหนาชั้นเคลือบผิว ชนิดของสารเคลือบผิว รอยบ่งชี้ การทดสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก

Study of the Coating Thicknesses Effect to the Length of the Indication via Magnetic Particle Testing

Parvinee Angboonta^{1*} Paisan Thongson² Prajak Angboonta³

^{1*}*Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, Thailand*

^{2,3}*Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, Thailand*

*Corresponding Author. E-mail address: Duangkamol_a@rmutt.ac.th

Received: 28 January 2023; Revised: 20 March 2023; Accepted: 28 April 2023

Published online: 29 June 2023

Abstract

This research aims to study the coating thicknesses on specimen effecting to the magnetic particle testing. The main studies variables are the coating thickness which study the three coating types, 1. White contrast coating, 2. Color coating, and 3. Lacquer coating. The research testes with the NA – 16 notch defect test bar of the wide size, the length size and the depth size 0.0060-inch, 0.0625-inch, and 0.0200-inch respectively. The experiment was conducted for indications on both uncoated test specimen and coated test specimen. The experiment tests the coated test specimen that has a low thickness until the thickness where a clear indication cannot be displayed. This research uses a ac – yoke for magnetizing the coated test specimen while spraying the fluorescent magnetic powder on the desired location to inspect. The images are recorded via a microscope at 30X magnification under UV – A light in a dark room.

The experimental results found that the thickness of the 3 types of coatings affected the amount of magnetic field intensity generated on the specimens of different coating thicknesses. The thickness of the coating that has the greatest and the least effect on the magnetic field strength are the white coating., the lacquer and the color coating respectively. The values of three coated types thickness affect the magnetic field strength are 61.19 μm , 73.63 μm , and 83.56 μm respectively. The coating thickness is acceptable when the length of the indication on the coated surface is at least 50% of the length of the corresponding indication prior to coating according to the Section V of ASME Code.

Keywords: Coating thickness, Coating types, Indication, Magnetic particle testing

1) บทนำ

อุตสาหกรรมในประเทศไทยได้พัฒนาและเติบโตอย่างรวดเร็ว เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมโครงสร้างขนาดใหญ่ อุตสาหกรรมการผลิต อุตสาหกรรมระบบราง และอุตสาหกรรมการบิน เป็นต้น เมื่อมีการใช้งานวัสดุไปเป็นระยะหนึ่งแล้ว วัสดุเหล่านั้นจะเกิดความเค้น ความเครียดที่ชิ้นงานมากขึ้นแล้วแต่ภาระแรงที่มากกระทำต่อชิ้นงาน และเมื่อชิ้นงานได้รับแรงกระทำซ้ำ ๆ จนชิ้นงานไม่สามารถต้านทานแรงที่มากกระทำจึงก่อให้เกิดความเสียหายแก่ชิ้นงาน อาจส่งผลต่อทรัพย์สินและชีวิตของบุคคลได้ เช่น กรณีเรือ โททานิก สะพานทาโคมาแนโรส และเดอฮาวิลแลนด์โคเมท เป็นต้น [1] ดังนั้น ถ้าไม่ต้องการให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงาน จำเป็นต้องมีการตรวจสอบชิ้นงานตามรอบเวลา เพื่อประเมินคุณภาพของชิ้นงานว่ายังสามารถใช้งานต่อได้หรือไม่ ถ้าประเมินแล้วไม่สามารถใช้งานได้ต้องทำการเปลี่ยนหรือทำการซ่อมแซมให้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เกิดความเสียหาย [2]

การตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานและรอยเชื่อมมีทั้งตรวจสอบเป็นแบบทำลายสภาพและไม่ทำลายสภาพ ซึ่งการตรวจสอบแบบไม่ทำลายสภาพบางวิธีอาศัยหลักการของสนามแม่เหล็กในการตรวจหารอยบกพร่อง (defect) ซึ่งการตรวจสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็กบ่อยครั้งพบปัญหาจากสารเคลือบ [3] เนื่องจากชิ้นงานในอุตสาหกรรมของประเทศไทยส่วนมากที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยกระบวนการเชื่อม ผิวของชิ้นงานจะถูกเคลือบด้วยสารเคลือบ เช่น สี แลคเกอร์ และการชุบกล้าไนซ์ เป็นต้น การเคลือบผิวชิ้นงานเป็นการป้องกันไม่ให้ผิวหน้าของชิ้นงานถูกทำลายจากสภาพแวดล้อมที่มีความเป็นกรด - ด่าง แต่การตรวจหารอยบกพร่องของชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวหน้า ความหนาของชั้นสารเคลือบมีผลต่อความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กที่ส่งผ่านไปยังชิ้นงานที่ตรวจสอบ [4]

ในการปฏิบัติ ก่อนการตรวจสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก จำเป็นต้องลอกผิวของสารเคลือบออกก่อน ส่งผลให้การตรวจสอบกระทำได้ล่าช้า และมีค่าใช้จ่ายของการลอกผิวเคลือบออกและค่าใช้จ่ายจากการทำผิวเคลือบใหม่ด้วย ดังนั้น เพื่อลดปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาความหนาของผิวเคลือบที่ระดับความหนาแตกต่างกัน ส่งผลต่อการตรวจสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็กอย่างไร โดยผลของการทดสอบจะวัดจากขนาดของรอยบ่งชี้ที่ปรากฏ [5] ชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวที่ไม่ใช่วัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (non - ferromagnetic) ที่ความหนาไม่เกิน 50

μm สามารถตรวจสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็กได้ แต่ความหนาที่มีค่ามากกว่า 50 μm ขึ้นไปความสามารถในการตรวจสอบลดลง [6]

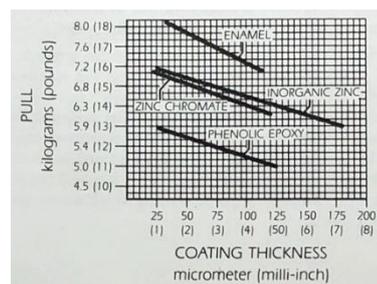
1.1) การทดสอบชิ้นงานเชื่อมที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก

การทดสอบเป็นการศึกษาผลกระทบของความหนาของผิวเคลือบและชนิดของสารเคลือบด้วยเทคนิคโยก ทำการวัดพลังงานของโยกจากการยกแท่งมาตรฐานที่ผ่านการเคลือบด้วยชั้นความหนาของสารเคลือบจากน้อยไปหามาก และวัดผลของแรงดึงดูของสนามแม่เหล็กด้วยเครื่องไดนามอมิเตอร์ (dynamometer) การทดสอบนี้เมื่อทดสอบซ้ำ ๆ ผลของการทดสอบแสดงให้เห็นว่าที่ความหนาของสารเคลือบลดลงส่งผลต่อความสามารถในการตรวจสอบแรงดึงแรงดึงดูของสนามแม่เหล็ก

1.2) ผลการทดสอบที่เกิดจากความหนาสารเคลือบ

การทดลองในขั้นต้นทำการบันทึกผลรอยบ่งชี้ที่ปรากฏก่อนทำการเคลือบผิวชิ้นทดสอบ จากนั้นทำการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบอีนาเมล (enamel) สารอินทรีย์ (inorganic zinc) ชุบสังกะสี (zinc chromate) และเรซินสังเคราะห์ (phenolic epoxy) เมื่อสารเคลือบแห้งทำการวัดค่าความหนาและทำการทดสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็กเทคนิคโยก บันทึกผลรอยบ่งชี้ที่ปรากฏ ผลการทดสอบทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ก่อนทำการเคลือบผิว ค่าความหนาของสารเคลือบแต่ละชนิดที่มีค่ามากกว่า 80 μm (3 milli-in.) แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมความสามารถในการตรวจสอบลดลง

ความหนาของสารเคลือบที่ถูกกันขวางบนผิวชิ้นงานส่งผลต่อสนามแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำด้วยเทคนิคโยกกระแสสลับ ดังนั้น ผลของความหนาสารเคลือบขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคลือบ และความหนา [3] ดังรูปที่ 1

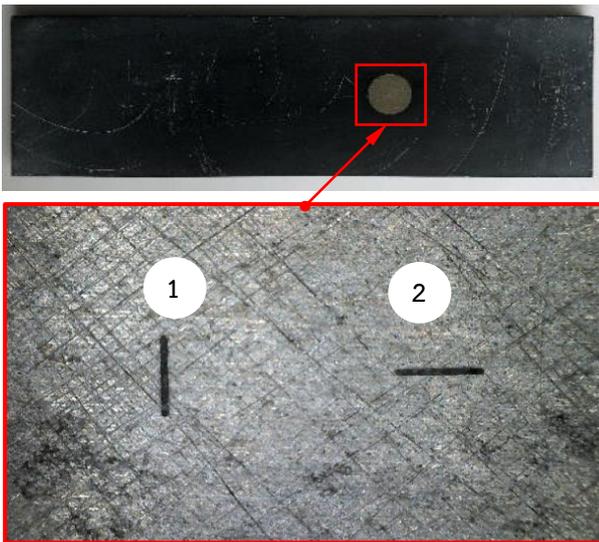


รูปที่ 1 : ความสัมพันธ์ของแรงดึงดูของสนามแม่เหล็กกับความหนาสารเคลือบ [3]

2) วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1) อุปกรณ์และการสอบเทียบอุปกรณ์ก่อนการทดสอบ

ก่อนการตรวจสอบต้องทำความสะอาดชิ้นงานด้วยน้ำยาทำความสะอาด (cleaner or remover) ยี่ห้อ Magnaflux Part Number 008A100 ชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบเป็นชิ้นงานมาตรฐาน NA-16 Notch Defect Test Bar ทำจากเหล็กกล้าผสมต่ำ (low alloy metal steel) มีขนาดความกว้าง ความยาว และความหนา 10, 3, และ 3/8 นิ้ว ที่จำลองรอยบากร่องมีขนาดความกว้าง ความยาว และความลึกเป็น 0.0060, 0.0625, และ 0.0200 นิ้ว ตามลำดับ รอยบากร่องตำแหน่งที่ 1 และ 2 วางทำมุม 90 และ 0 องศา กับความยาวชิ้นงาน [7] ดังรูปที่ 2 เบื้องต้นตรวจสอบชิ้นงานที่ยังไม่ผ่านการเคลือบผิวและวัดขนาดของรอยบ่งชี้เพื่อใช้เปรียบเทียบกับความยาวของรอยบ่งชี้ของชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิว



รูปที่ 2 : ชิ้นงานทดสอบ

ซึ่งในงานวิจัยได้ใช้เลือกใช้วัสดุสารเคลือบ 3 ชนิด คือ

1) สารเคลือบชนิด A เป็นสารเคลือบรองพื้น (white contrast) ที่ใช้จำแนกให้เห็นความแตกต่างของพื้นผิวชิ้นงานทดสอบได้ดี และช่วยในการมองเห็นรอยบ่งชี้ในพื้นที่มืด สารเคลือบชนิดนี้มีความไว (sensitivity) ในขณะทำการตรวจสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก และสามารถใช้ได้กับอนุภาคแม่เหล็กแบบย้อมสีได้ทุกชนิด ใช้ได้ทั้งอนุภาคแม่เหล็กแบบเปียกและแบบแห้ง คุณสมบัติทั่วไปของสารเคลือบชนิด A เป็นสารเคลือบสีขาว สว่าง ทึบแสงดี ค่าความเปรียบต่างดี แห้งเร็ว การยึดเกาะที่ผิวของสารเคลือบดี และไม่เป็นอันตราย มีซัลเฟอร์ (Sulphur) และฮาโลเจน (Halogens)

ต่ำ และไม่มีส่วนผสมของคลอรีน ไฮโดรคาร์บอน (Chlorinated Hydrocarbons) [8]

2) สารเคลือบชนิด B เป็นสีฟันอุตสาหกรรม สามารถใช้เคลือบผิวชิ้นงานได้ทั้งภายในและภายนอก สารเคลือบชนิดนี้ผ่านกระบวนการผลิตจากวัสดุไนโตรเซลลูโลสเรซิน (Nitrocellulose Resin) และผงสีชนิดพิเศษทำให้ฟิล์มสีคงทน สีสดใสเคลือบพื้นผิวได้ดีและไม่ซีดจางง่าย เมื่อฉีดยาเคลือบบนผิวงานทำให้เกิดฟิล์มสีได้รวดเร็วและประหยัดเวลาทำงาน ซึ่งสามารถใช้ได้กับเหล็ก พลาสติก คอนกรีต และไม้ คุณสมบัติทั่วไปของสารเคลือบชนิด B เป็นสารเคลือบที่ยึดเกาะผิวได้ดี ทนทานต่อการลอกและรอยขีดข่วน แห้งเร็ว เช็ดล้างทำความสะอาดง่าย สูตรความเข้มข้นสูง มีเนื้อสีเข้มข้น ปราศจากสารปรอทและตะกั่ว ปลอดภัยต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม [9]

3) สารเคลือบชนิด C เป็นแลคเกอร์ สามารถใช้เคลือบผิวงานตกแต่งนอกประสงค์ สารเคลือบชนิดนี้ผ่านกระบวนการผลิตจากวัสดุไนโตรเซลลูโลส และอะคริลิก แลคเกอร์ เรซิน คุณสมบัติทั่วไป เป็นสารเคลือบที่สามารถป้องกันการขีดขูด ความชื้น คราบดำคราบสนิม เป็นต้น สารเคลือบชนิด C สามารถใช้พ่นเคลือบ พลาสติก โลหะและไม้ เป็นต้น นอกจากนี้ สารเคลือบแห้งเร็ว ประหยัดเวลาการทำงาน มีความเงางามเป็นประกายให้กับชิ้นงาน ปลอดภัยยิ่งขึ้น ปราศจากสารปรอทและสารตะกั่ว และสามารถใช้งานได้หลากหลายพื้นผิว [10]

การตรวจสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็กจำเป็นต้องใช้สารเคลือบ White Contrast เป็นพื้นหลังสีขาวเพื่อเพิ่มการมองเห็นได้บนพื้นผิวชิ้นทดสอบ ส่วนสีเคลือบหรือแลคเกอร์จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมท่อขนส่งน้ำมัน หรือท่อขนส่งก๊าซ เพื่อป้องกันไม่ให้ผิวของชิ้นงานทำปฏิกิริยากับสภาพแวดล้อมที่มีความเป็นกรด-ด่าง ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนสร้างความเสียหายกับชิ้นงาน งานวิจัยจึงได้นำสารเคลือบกลุ่มนี้มาทดสอบหาความหนาที่ส่งผลต่อการตรวจสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก

โดยทำการเคลือบผิวชิ้นงานที่ความหนาแตกต่างกัน และวัดความหนาผิวเคลือบด้วยเครื่องวัดความหนาสีเคลือบยี่ห้อ Fischer Instruments Dual Scope MPOR ดังรูปที่ 3 ซึ่งสามารถวัดความหนาชิ้นงานได้ตั้งแต่ความหนา 0 – 2,000 μm ก่อนการวัดความหนาจะต้องทำการสอบเทียบเครื่องมือโดยใช้แผ่นวัดความหนาสำหรับวัสดุที่เป็นเหล็ก ดังรูปที่ 4

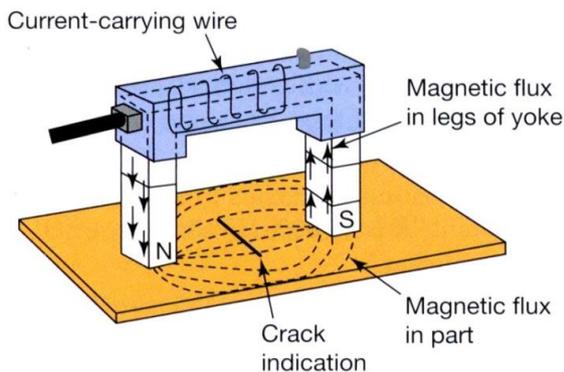


รูปที่ 3 : อุปกรณ์วัดความหนาวัสดุเคลือบ



รูปที่ 4 : แผ่นสอบเทียบเครื่องวัดความหนาสำหรับวัสดุที่เป็นเหล็ก

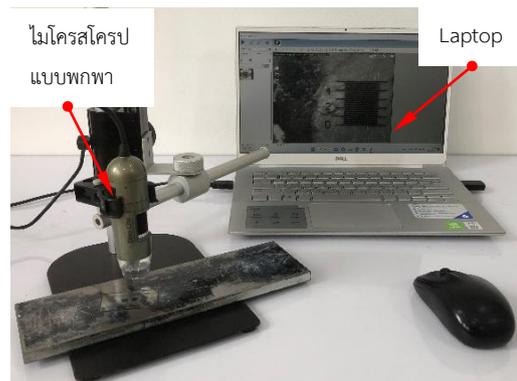
ในการทดสอบหารอยบกพร่องใช้อุปกรณ์ตรวจสอบอนุภาคแม่เหล็กแบบพกพาประเภทโย๊กยี่ห้อ Parker model B100S Serial 11109 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กตามยาว โย๊กปกติประกอบด้วยขดลวดพันรอบ ๆ แกนเหล็ก มีขาสองข้างที่สามารถปรับได้ เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามยาวก็จะถูกสร้างขึ้นที่แกนเหล็กและส่งผ่านไปที่ยกทั้งสอง เมื่อขอยกสัมผัสกับชิ้นงานก็จะสร้างสนามแม่เหล็กส่งผ่านไปยังชิ้นงานที่ตรวจสอบ [11] ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 : การสร้างสนามแม่เหล็กตามยาวของโย๊ก [12].

ผงแม่เหล็กที่ใช้เป็นผงแม่เหล็กแบบเปียกยี่ห้อ Magnaflox Part Number 008A105 ชนิดเรืองแสง อยู่ในลักษณะสารแขวน-

ลอยบรรจุในกระป๋อง ขณะใช้งานจะต้องเขย่ากระป๋องและฉีดพ่นตรงบริเวณที่ต้องการตรวจสอบ ก่อนตรวจสอบรอยบกพร่องจะใช้เครื่องกำเนิดแสง UV - A ยี่ห้อ Spectroline Model SB - 100 P/F ซึ่งกำเนิดแสง UV - A ในช่วง 365 nm เพื่อให้สามารถมองเห็นรอยบ่งชี้ จากการเรืองแสงของสารเรืองแสงที่ผสมในผงแม่เหล็ก การวัดผลของรอยบ่งชี้จะใช้กล้องไมโครสโคปแบบพกพามีกำลังขยายสูงสุด 50 เท่า ยี่ห้อ Dino - Lite AM - Series บันทึกภาพและวัดขนาดของรอยบ่งชี้ที่ปรากฏซึ่งแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 : ไมโครสโคปแบบพกพา ยี่ห้อ Dino

2.2) การเตรียมการทดลอง

ก่อนทำการทดสอบจริงต้องทดสอบประสิทธิภาพของโย๊กโดยการยกแท่งมาตรฐานหนัก 10 ปอนด์ (4.5 ก.ก.) ที่ความห่างของขายกสูงสุด 8 นิ้ว สำหรับโย๊กกระแสสลับ ให้ลอยสูงขึ้นจากพื้นเล็กน้อยซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASME Section V 2021 [13] ดังรูป 7



รูปที่ 7 : แสดงการทดสอบประสิทธิภาพของโย๊ก

เตรียมผิวชิ้นทดสอบ โดยทำความสะอาดผิวหน้าของชิ้นทดสอบให้ปราศจากฝุ่น คราบจาระบี น้ำมันและอื่น ๆ ที่มีโอกาสสกปรกปิด

รอยความไม่ต่อเนื่อง งานวิจัยนี้ได้เลือกวัสดุเคลือบผิวไว้ 3 ชนิด คือ 1) สารเคลือบชนิด A 2) สารเคลือบชนิด B และ 3) สารเคลือบชนิด C จากนั้นฉีดพ่นสารเคลือบแต่ละชนิดลงบนผิวชิ้นทดสอบและปล่อยให้ผิวหน้าชิ้นทดสอบแห้งสนิท การฉีดพ่นสารเคลือบเริ่มจากความหนาแน่นน้อยไปหาความหนาที่มากขึ้น แสดงดังรูปที่ 8

ต่อมาดำเนินการวัดความเพียงพอของสนามแม่เหล็ก การทดสอบจะใช้อุปกรณ์ชี้วัดรูปพาย (pie shape field indicator) วางบนผิวหน้าชิ้นทดสอบโดยวางให้อยู่ระหว่างขาโยก จากนั้นสร้างสนามแม่เหล็กแบบต่อเนื่อง และฉีดพ่นอนุภาคแม่เหล็กบนผิวหน้าอุปกรณ์ชี้วัดรูปพาย ขณะเดียวกันให้สังเกตการแสดงผลบนผิวอุปกรณ์ชี้วัดรูปพาย จะปรากฏรอยบ่งชี้ที่ผิวอุปกรณ์ชี้วัดรูปพาย รอยบ่งชี้ที่ปรากฏจะมีลักษณะเป็นเส้นวงตัวในแนวตั้งฉาก 90 องศา และวางตัว 45 องศา กับทิศทางของสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 9 แสดงว่าสนามแม่เหล็กมีความเพียงพอต่อการทดสอบ [11]



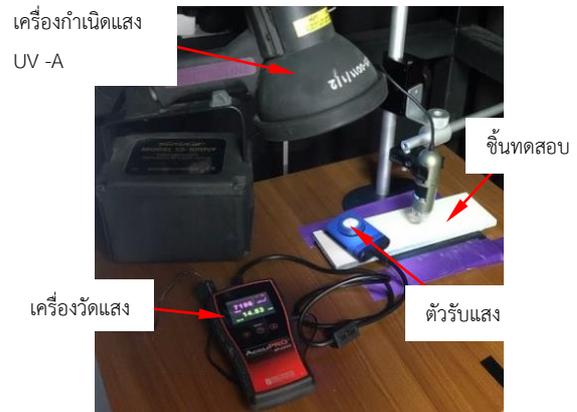
รูปที่ 8 : แสดงชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิว



รูปที่ 9 : แสดงการวัดความเพียงพอสนามแม่เหล็ก

การวัดความสว่างของแสงในห้องมืด กระทำภายใต้แสงแบล็คไลท์ (Blacklight: UV - A) การทดสอบใช้เครื่องมือวัดแสงยี่ห้อ Spectroline รุ่น Accu Pro xp - 2000 วางตัวตรวจวัดแสงไว้บนผิวหน้าชิ้นทดสอบ ซึ่งการทดสอบภายใต้แสงแบล็คไลท์ตามมาตรฐานกำหนดไว้ว่าต้องไม่ต่ำกว่า $1,000 \mu\text{w}/\text{cm}^2$ และต้องมี

แสงสีขาวโดยรอบไม่เกิน 21.5 ลักซ์ ซึ่งค่าที่วัดได้เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด [11] ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 : แสดงการวัดแสงในห้องมืด

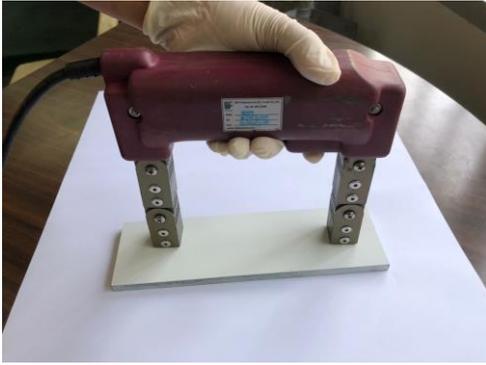
2.3) การทดลอง

ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการเคลือบผิวแต่ละชนิด แต่ละความหนาของสารเคลือบผิวจะกำหนดพื้นที่สำหรับวัดความหนา โดยมีขนาดความกว้างและความยาว 50×50 มิลลิเมตร การวัดความหนาหัวโพรบจะต้องวางเหลื่อมกัน 6 มิลลิเมตร โดยวัดอย่างน้อย 3 ค่า และหาค่าเฉลี่ยของความหนา [13] ดังรูป 11



รูปที่ 11 : ลักษณะการวัดความหนาผิวเคลือบ

การตรวจสอบต้องทำให้ผิวของชิ้นงานทดสอบมีความเป็นแม่เหล็กโดยใช้โยกเหนี่ยวนำ การเหนี่ยวนำจะให้สนามแม่เหล็กแบบต่อเนื่อง (Continuous Test Method) ขณะเดียวกันการตรวจสอบจะต้องวางขาโยกให้ครอบคลุมรอยบากร่องของชิ้นทดสอบและให้อยู่ตรงกึ่งกลางระหว่างขาโยก และขาโยกต้องสัมผัสแนบสนิทกับผิวหน้าของชิ้นทดสอบ ดังรูปที่ 12



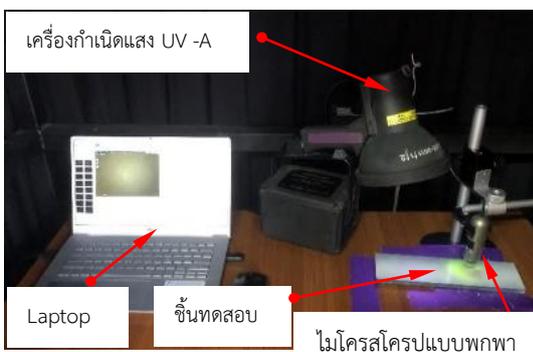
รูปที่ 12 : การทำให้ผิวชิ้นงานเป็นแม่เหล็ก

ในขณะที่ทำการเหนี่ยวนำชิ้นทดสอบให้เป็นแม่เหล็ก จะฉีด ฟันผงแม่เหล็กลงบนผิวหน้าชิ้นทดสอบ ให้ครอบคลุมพื้นที่รอย บากร่อง จากนั้นหยุดการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 13

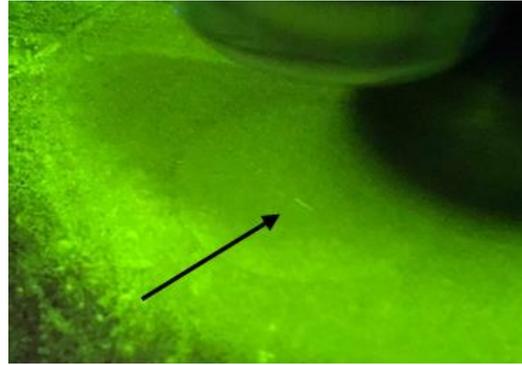


รูปที่ 13 : ลักษณะการฉีดฟันอนุภาคแม่เหล็ก

การบันทึกผลการทดสอบ เมื่อทำการฉีดฟันอนุภาคแม่เหล็ก แล้ว นำชิ้นทดสอบวางในตำแหน่งสำหรับถ่ายภาพภายใต้แสง แบล็คไลต์ในห้องมืด ดังรูปที่ 14 และการบันทึกภาพรอยบ่งชี้ ด้วยกล้อง Dino Capture 2.0 ด้วยกำลังขยาย 30 เท่า ดังรูปที่ 15

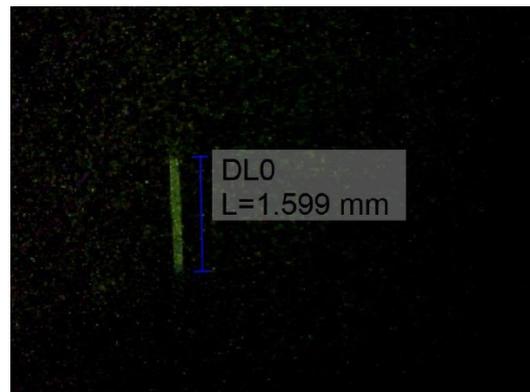


รูปที่ 14 : ระบบการบันทึกผลภาพถ่ายของรอยบ่งชี้



รูปที่ 15 : แสดงรอยบ่งชี้ภายใต้แสงแบล็คไลต์

การวัดขนาดของรอยบ่งชี้ที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบ แต่ละชนิด เมื่อพิจารณาจากภาพถ่าย พบว่า ความกว้างของรอย บ่งชี้ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบแต่ละชนิดให้ขนาดของ ความกว้างมีค่าไม่ต่างกันมาก ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำเฉพาะขนาด ความยาวของรอยบ่งชี้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป ซึ่งลักษณะ การวัดขนาดรอยบ่งชี้ ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 แสดงการวัดความยาวรอยบ่งชี้

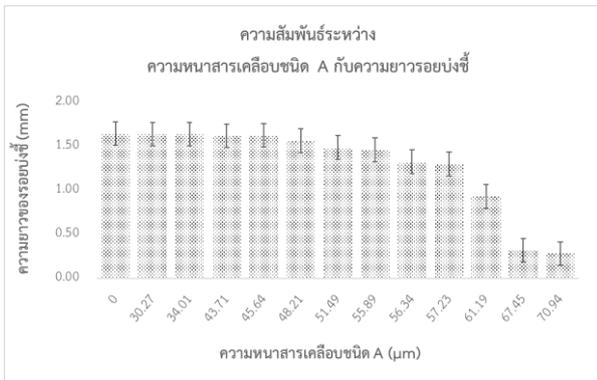
หลังจากบันทึกผลการทดสอบแล้ว ทำการคลายอำนาจแม่เหล็ก ออกจากชิ้นงานทดสอบทุก ๆ ครั้ง โดยใช้โย้กกระแสดลับ วาง ขาโย้กให้ลอยอยู่เหนือชิ้นงานประมาณ 1 นิ้ว ปลั๊กกระแสไฟ เข้าโย้ก แล้วค่อย ๆ ถอยขาโย้กในลักษณะกากบาทออกจาก ชิ้นทดสอบทำลักษณะนี้ซ้ำ ๆ จนกระทั่งสนามแม่เหล็กคงค้าง เป็นศูนย์

3) ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

การตรวจสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็กส่วนมากนิยมใช้สาร เคลือบผิวชนิด A เป็นพื้นหลังสีขาวเพื่อเพิ่มการมองเห็นได้บน พื้นผิวชิ้นทดสอบ และสารเคลือบผิวชนิด B และ C เป็นสาร

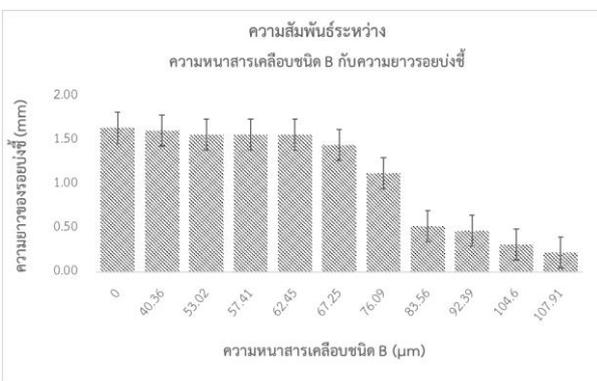
เคลือบที่ใช้ป้องกันการกัดกร่อนของผิวชิ้นทดสอบ นำมาทดสอบหาความหนาที่ส่งผลต่อการตรวจสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก ซึ่งผลของการทดสอบ ดังรูปที่ 17 18 และ 19

เกณฑ์การพิจารณาผลการทดลอง สำหรับชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่ไม่เป็นตัวนำ ด้วยการตรวจสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก ผลของรอยบ่งชี้ที่ปรากฏหากมีขนาดความยาวลดลงครึ่งหนึ่งของขนาดรอยบ่งชี้ก่อนเคลือบผิว ขนาดของรอยบ่งชี้ดังกล่าวจะไม่ยอมรับ โดยอ้างอิงตามมาตรฐานของ ASME Section V 2021 [13].



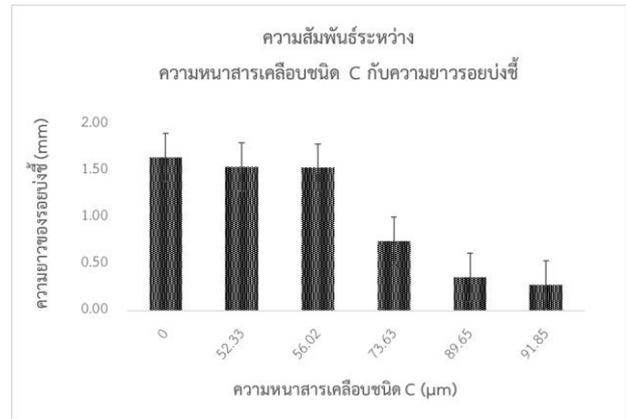
รูปที่ 17 : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาสารเคลือบชนิด A กับความยาวรอยบ่งชี้

จากรูปที่ 17 แสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างความหนาสารเคลือบชนิด A กับความยาวรอยบ่งชี้ ซึ่งผลการทดสอบ พบว่า ที่ความหนาที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบชนิด A ตั้งแต่ค่า 61.19 µm มีผลต่อขนาดความยาวของรอยบ่งชี้ ซึ่งความยาวของรอยบ่งชี้ที่วัดได้ มีขนาดความยาวรอยบ่งชี้ยาวน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวรอยบ่งชี้ที่สร้างขึ้นในชิ้นทดสอบ



รูปที่ 18 : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาสารเคลือบชนิด B กับความยาวรอยบ่งชี้

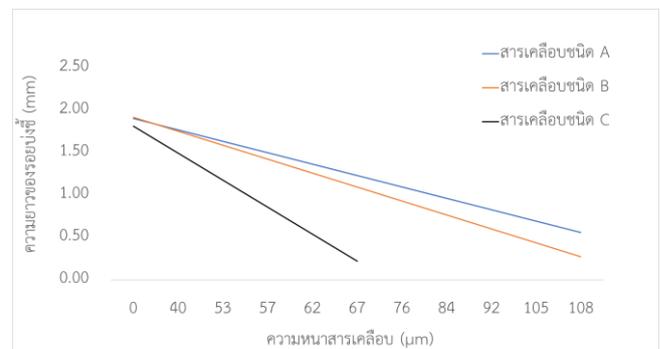
จากรูปที่ 18 สารเคลือบชนิด B กับความยาวรอยบ่งชี้ ซึ่งผลการทดสอบ พบว่า ความหนาที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบชนิด B ที่ความหนาผิวเคลือบ ตั้งแต่ค่า 83.56 µm มีผลต่อขนาดความยาวของรอยบ่งชี้ ซึ่งความยาวของรอยบ่งชี้ที่วัดได้ มีขนาดความยาวรอยบ่งชี้ยาวน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวรอยบ่งชี้ที่สร้างขึ้นในชิ้นทดสอบ



รูปที่ 19 : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาสารเคลือบชนิด C กับความยาวรอยบ่งชี้

จากรูปที่ 19 แสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างความหนาสารเคลือบชนิด C กับความยาวรอยบ่งชี้ ซึ่งผลการทดสอบ พบว่า ที่ความหนาที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบชนิด C ตั้งแต่ค่า 73.63 µm มีผลต่อขนาดความยาวของรอยบ่งชี้ ซึ่งความยาวของรอยบ่งชี้ที่วัดได้ มีขนาดความยาวรอยบ่งชี้ยาวน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวรอยบ่งชี้ที่สร้างขึ้นในชิ้นทดสอบ

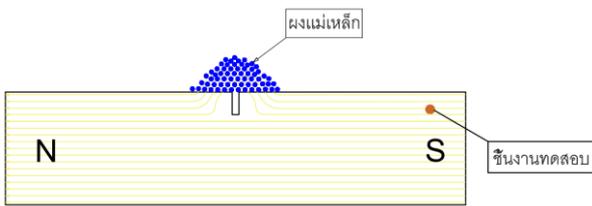
จากผลการทดสอบของสารเคลือบผิวทั้ง 3 ชนิด เมื่อนำมาสร้างกราฟ เพื่อที่จะดูแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของสารเคลือบแต่ละชนิดกับความยาวของรอยบ่งชี้



รูปที่ 20 : แสดงแนวโน้มความหนาสารเคลือบแต่ละชนิดกับความยาวรอยบ่งชี้

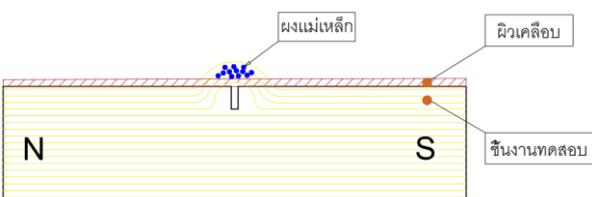
ผลการทดสอบความสัมพันธ์ความหนาสารเคลือบทั้ง 3 ชนิด กับขนาดความยาวรอยบ่งชี้ที่ปรากฏ พบว่าแนวโน้มของกราฟทั้ง 3 มีค่าเข้าใกล้แกน x นั้นหมายความว่า เมื่อความหนาของสารเคลือบแต่ละชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น ขนาดความยาวของรอยบ่งชี้ที่ปรากฏจะมีค่าลดลง เป็นผลมาจากความหนาของสารเคลือบที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้การรั่วไหลของฟลักซ์แม่เหล็กมีปริมาณลดน้อยลง ดังนั้น เมื่อรอยผงแม่เหล็กบนผิวหน้าของชิ้นทดสอบจึงปรากฏรอยบ่งชี้ที่สั้นลงและไม่ชัดเจน

การตรวจชิ้นทดสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก หากชิ้นทดสอบมีรอยบกพร่องเกิดขึ้นในเนื้อวัสดุ เช่น รอยแตก ร้าว จะเกิดขั้วเหนือและขั้วใต้ขึ้นที่ด้านข้างของรอยแตก ร้าว ทำให้เกิดเป็นฟลักซ์แม่เหล็กรอบ ๆ อากาศ เกิดเป็นสนามแม่เหล็กรั่วไหล (flux leakage field) เมื่อรอยผงแม่เหล็กลงไปจะเกิดการดูดของผงแม่เหล็กและปรากฏเป็นรอยบ่งชี้ที่ชัดเจน ดังรูปที่ 21 ดังนั้น ความเข้มและการโค้ง (curvature) ของสนามแม่เหล็กเป็นตัวกำหนดจำนวนอนุภาคแม่เหล็กที่เกาะอยู่บนผิวหน้าชิ้นทดสอบ [14]



รูปที่ 21 : แสดงการรวมตัวของผงแม่เหล็ก

ความเข้มของสนามแม่เหล็กขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัย คือ จำนวนเส้นของฟลักซ์แม่เหล็ก ความลึกของรอยความไม่ต่อเนื่อง และความกว้างของรอยความไม่ต่อเนื่อง รอยความไม่ต่อเนื่องที่อยู่ใต้ผิวเคลือบ ถ้าความหนาของผิวเคลือบบางการรั่วไหลของฟลักซ์แม่เหล็กจะมีปริมาณที่มากเมื่อเทียบกับความหนาของผิวเคลือบที่หนากว่า ถ้ารอยผงแม่เหล็กบนชิ้นทดสอบที่มีผิวเคลือบหนาส่งผลให้การรวมตัวของผงแม่เหล็กมีความไม่ชัดเจน ดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 : แสดงอิทธิพลของความหนาสีเคลือบกับฟลักซ์แม่เหล็ก

จากงานวิจัยเมื่อตรวจสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็กและรอยผงแม่เหล็กบนผิวหน้าชิ้นทดสอบ ถ่ายภาพและวัดขนาดความยาวของรอยบ่งชี้ พบว่า มีขนาดยาวของรอยบ่งชี้ลดลงเมื่อเทียบกับความหนาของสารเคลือบที่เพิ่มขึ้น

4) สรุปผลการทดลอง

จากผลงานวิจัย การศึกษาความหนาผิวเคลือบที่ส่งผลต่อขนาดที่ปรากฏของรอยบ่งชี้ด้วยการทดสอบอนุภาคแม่เหล็กของสารเคลือบ 3 ชนิด คือ 1. สารเคลือบชนิด A 2. สารเคลือบชนิด B และ 3. สารเคลือบชนิด C การเปรียบเทียบผลความยาวของรอยบ่งชี้ที่ยาวที่สุดจะต้องไม่ยาวเกินกว่าความยาวของเกณฑ์การยอมรับ กรณีที่ตรวจสอบชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิว ความยาวของรอยบ่งชี้ที่ปรากฏบนผิวเคลือบที่ยอมรับได้จะต้องยาวไม่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวรอยบ่งชี้ที่วัดได้ก่อนการเคลือบผิว ตามมาตรฐาน ASME Section V 2021 [13]. และความหนาของสารเคลือบที่มีความหนามากกว่า 50 μm มีผลต่อความสามารถในการตรวจสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก [6]

สามารถสรุปผลได้ดังนี้ ความหนาของสารเคลือบที่เพิ่มขึ้นแต่ละชนิดมีผลต่อรอยบ่งชี้ที่ปรากฏซึ่งมีขนาดลดลง สารเคลือบแต่ละชนิดส่งผลต่อขนาดของรอยบ่งชี้ที่มีขนาดความหนาไม่เท่ากัน โดยความหนาของสารเคลือบที่ให้ผลของรอยบ่งชี้ที่ดีที่สุด คือ สารเคลือบชนิด B ซึ่งมีค่าความหนาสารเคลือบอยู่ในช่วง 83.56 – 107.91 μm สารเคลือบชนิด C ซึ่งมีค่าความหนาสารเคลือบอยู่ในช่วง 73.63 – 91.85 μm และสารเคลือบชนิด A มีค่าความหนาของสารเคลือบอยู่ในช่วง 61.19 – 70.94 μm ตามลำดับ

ดังนั้น กรณีของช่วงความหนาสารเคลือบแต่ละชนิดมีค่ามากกว่า 50 μm ส่งผลต่อความสามารถในการตรวจสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก จำเป็นต้องกำจัดสารเคลือบผิวออกก่อนที่จะทำการทดสอบด้วยวิธีอนุภาคแม่เหล็ก [6], [13]

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่คอยสนับสนุนทั้งเครื่องมือและอุปกรณ์การตรวจสอบ ตลอดจนคณาจารย์หลายท่านที่ไม่ได้เอ่ยนาม ที่ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาด้านเทคนิคการใช้เครื่องมือ ความรู้ และเทคนิคการตรวจสอบชิ้นงานสำหรับผลงานครั้งนี้

REFERENCES

- [1] *The Welding Engineer's Current Knowledge*, GSI SLV, Duisburg, Germany, 2015, pp. 23–25.
- [2] B. Modiri, P. M. Mohammad, Y. Mojtaba, S. Hossein, S. O. Farzin, and A. Alireza, "Stochastic lifetime estimation of pressurized gas pipeline; Case study of the urban gas pipeline," *Int. J. COMADEM*, vol. 20, no. 2, pp. 31–37, Apr. 2017.
- [3] J. T. Schmidt and K. Skeie, "Dry power magnetic particle tests of painted welds," in *Nondestructive Testing Handbook*, 2nd ed. Columbus, OH, USA: American Society for Nondestructive Testing, 1989, pp. 386–387.
- [4] Y. Wang, X. Gao, M. Finckbohner, and U. Netzelmann, "The effect of paint coatings on detection of vertical surface cracks in metals by induction thermography," *NDT & E Int.*, vol. 104, pp. 58–68, Jun. 2019.
- [5] A. Keresten, S. Ostanin, and V. Zuev, "Advanced liquid epoxy and polyurethane materials: internal and external coatings for pipeline and tubing protection," *E3S Web of Conf.*, vol. 225, Jan. 2021, Art. no. 05004.
- [6] *Non-destructive testing of welds — Magnetic particle testing*, ISO 17638:2016, the International Organization for Standardization, Switzerland, Oct. 2016.
- [7] Parker Research Corporation. *NA-16 Notch Defect Test Bar*. (2023). Accessed: Dec. 28, 2022. [Online]. Available: <https://www.parkerndt.com/product/na-16-notch-defect-test-bar/>
- [8] Magnaflux. *WCP-2 White Contrast Paint*. (2023). Accessed: Mar 13, 2023. [Online]. Available: <https://magnaflux.eu/EU/EN/Products/Magnetic-Particle-Inspection/Consumables/WCP-2.htm>
- [9] TOA Groups. *Technical Data Sheet*. (2017). Accessed: Mar 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.toagroup.com/storage/downloads/technical%20data/hardware/spray/toa/tds-toa-flat-white-primer-spray-65.pdf>
- [10] TOA Groups. *Technical Data Sheet*. (2017). Accessed: Mar 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.toagroup.com/storage/downloads/technical%20data/hardware/spray/toa/tds-toa-automotive-spray.pdf>
- [11] A. Prateepasen, *Magnetic Particle Testing: Non – Destructive Testing in weld and research*, 7th ed. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Press (in Thai), 2014.
- [12] C. W. Eick, "Electrically Inducing Magnetism," in *ASNT Level II Study Guide: Magnetic Particle Testing Method*, C. M. Leeman, Ed. Columbus, OH, USA: ASNT, 2017, pp. 15–19.
- [13] L. Stein, "Random patterns," in *Computers and You*, J. S. Brake, Ed. New York, NY, USA: Wiley, 1994, pp. 55–70.
- [14] The American Society of Mechanical Engineers, "Article 7: Mandatory Appendix I," in *ASME Boiler and Pressure Vessel Code*, New York, NY, USA: ASME Press, 2021, sec. V.
- [15] J. D. Fenton, "Magnetic Particle Testing: Magnetic Particle Testing Fundamentals," in *ASNT Level III Study Guide: Magnetic Particle Testing Method*, 2nd ed. Columbus, OH, USA: ASNT, 2013, p. 1.