

การเปรียบเทียบอายุความล้าของเหล็ก SCM 420 ที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมัน และการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบ AlCrTiSiN Fatigue Life Comparison of SCM 420 Steel with Oil Quenching and AlCrTiSiN Coating

เจริญ หมื่นจร, ธนวัฒน์ ม่วงไหมทอง*, ศิริชัย ไตรสูงเนิน และ ธนิต แต่งศรี

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

248 ซอย เพชรเกษม 110 แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160

Charoen Muenjohn, Thanawat Muangmaithong*, Sirichai Traisoongnoen and Tanit Tangsri

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thonburi University,
248 Soi Phetkasem 110, Nong Khang Phlu Subdistrict, Nong Khaem District, Bangkok 10160, Thailand

*Corresponding author Email: Artmuangmaithong@gmail.com

(Received: May 28, 2025 / Revised: December 24, 2025 / Accepted: December 26, 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอายุการล้าของเพลาคาร์บอนต่ำ JIS-SCM 420 โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่ผ่านวิธีการชุบแข็งด้วยน้ำมัน และการเคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN มีการวัดค่าความหยาบผิว การวัดความหนาของชั้นเคลือบผิว และการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความล้าแบบ R.R. Moore ผลของการวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมันเท่ากับ 1.089 μm และชิ้นงานที่ผ่านเคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN มีค่าความหยาบผิวเท่ากับ 0.322 μm ชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN มีค่าความแข็งเท่ากับ 190.8 HB และสูงกว่าชั้นเคลือบผิวชุบแข็งด้วยน้ำมันมีค่าความแข็งเท่ากับ 67 HB ความแข็งที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นผลมาจากการเติมธาตุซิลิกอน จนส่งผลให้ขอบเกรนมีความละเอียดเพิ่มขึ้น จำนวนรอบที่ได้จากการทดสอบความล้าสูงสุดของคือชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วยสาร AlCrTiSiN อยู่ที่ 1,841,537 รอบ และการชุบแข็งด้วยน้ำมันอยู่ที่ 1,521,942 รอบ มีค่าแตกต่างกัน 21% จึงสรุปได้ว่าชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วยสาร AlCrTiSiN มีอายุการใช้งานที่มากกว่าชิ้นงานที่ผ่านชุบแข็งด้วยน้ำมัน

คำสำคัญ: เหล็กกล้า JIS-SCM 420 การชุบแข็งด้วยน้ำมัน การเคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN

Abstract

This research aimed to evaluate the fatigue life of shafts made from low - carbon alloy steel JIS - SCM 420 by comparing specimens treated with oil quenching and those coated with AlCrTiSiN. The surface roughness and coating thickness were measured, and fatigue tests were conducted using an R.R. Moore fatigue testing machine. The testing results showed that the average surface roughness (Ra) of the oil - quenched specimens was 1.089 μm , whereas the AlCrTiSiN - coated specimens exhibited a lower surface roughness of 0.322 μm . The hardness of the AlCrTiSiN - coated specimens was 190.8 HB, which was higher than that of the oil - quenched layer at 67 HB. The increased hardness resulted from the addition of silicon, which refined the grain boundaries. The maximum fatigue cycles obtained were 1,841,537 cycles for the AlCrTiSiN - coated specimens and 1,521,942 cycles for the oil - quenched specimens, representing a 21% difference. It was concluded that the AlCrTiSiN - coated specimens showed a longer fatigue life compared to the oil-quenched specimens.

Keywords: JIS-SCM 420 steel, Oil Quenching, AlCrTiSiN Coating

1. ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันสารเคลือบ AlCrTiSiN เป็นวัสดุเคลือบชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับเพิ่มความแข็งและเพิ่มความทนทานต่อการสึกหรอเป็นหลัก โดยเป็นสารเคลือบที่ซับซ้อนทำจากอลูมิเนียม (Al) โครเมียม (Cr) ไททาเนียม (Ti) ซิลิกอน (Si) และไนโตรเจน (N) สารเคลือบชนิดนี้มักใช้ในกระบวนการสะสมไอทางกายภาพ (PVD) เทคโนโลยีการเคลือบผิวแบบ PVD (Physical Vapor Deposition) เป็นกระบวนการสร้างฟิล์มบางที่มีความแข็งสูง [1] ซึ่งฟิล์มนี้มีแรงเสียดทานบนพื้นผิวต่ำ มีความต้านทานการขัดสีที่ดีเยี่ยม สามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชัน ต้านทานการกัดกร่อน และช่วยยืดอายุผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทำงานได้ยาวนานขึ้น [2] จึงเริ่มเป็นที่นิยมนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น ดอกกัด มีดกลึง เพลา และเฟือง เป็นต้น

งานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา มีนักวิจัยที่ทำการศึกษสมบัติทางกลของสารเคลือบผิว และประเมินอายุความล้าของเพลา ซึ่งมีดังรายละเอียดต่อไปนี้ (เจษฎา รุจิสมานา, 2013) ได้ศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของดอกกัดที่เคลือบผิวด้วยวิธีไอทางระเหยฟิสิกส์แบบคาโทดิกอาร์ค โดยใช้ชั้นเคลือบอะลูมิเนียม โครเมียมไนไตรด์ (AlCrN), ไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN), อะลูมิเนียมโครเมียมไทเทเนียมซิลิกอน ไนไตรด์ (AlCrTiSiN) และไทเทเนียมอะลูมิเนียมซิลิกอนไนไตรด์ (TiAlSiN) เปรียบเทียบกับ ดอกกัดที่ไม่ได้เคลือบ ทำการทดสอบการสึกหรอความแข็งระดับนาโน การทดสอบความต้านทานต่อการขีดขีด และการทดสอบการใช้งานจริงโดยกัดผิวด้วยเครื่อง CNC ผลที่ได้จากการทดสอบความต้านทานต่อการขีดขีด และทดสอบค่าความแข็งระดับนาโน พบว่า ชั้นเคลือบ AlCrTiSiN มีความแข็งและความสามารถในการยึดเกาะสูงกว่าชั้นเคลือบ TiN, AlCrN และ TiAlSiN ตามลำดับ (Mohammad Jamalkhani Khameneh et al, 2018) ได้ทำการทดสอบความล้าจากชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากเพลาข้อเหวี่ยงที่เสียหาย ผลลัพธ์ที่ได้ระบุว่าอายุการใช้งานของความล้ารอบสูง-ต่ำกว่าเส้นโค้ง S-N เนื่องจากตัวอย่างชิ้นงานที่ได้จากเพลาข้อเหวี่ยงเพื่อพิจารณาผลกระทบที่มีต่อการผลิต สังเกตเห็นความแตกต่างของร็วรอยขนาบ (เกิดจาก cyclic load) การหลุดร่อนของกรรไกรไฟต์จากเมทริกซ์เฟอร์ริติก - เฟอร์ลิติก (เป็นหลักฐานของการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก) และบ่งชี้ว่าเป็นการแตกหักแบบเปราะ (Sajjad Seifoori et al, 2020) ได้กล่าวไว้ว่าสาเหตุหลักของความเสียหายคือความล้าที่เกิดจากการรับโหลดแบบซ้ำไปซ้ำมาซึ่งเป็นผลจากรับแรงบิดแบบโหลดคงที่ที่เกิดกับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่เปลี่ยนแปลงต่ออายุความล้าของเพลาภายใต้ความเค้นดัดแบบกลับไปกลับมา (Libin Zang et al, 2023) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการเคลือบผิวด้วยสารแมงกานีสฟอสเฟตที่มีขนาดผลึกแตกต่างกันต่ออายุการใช้งานของเฟืองเฉียงที่ทำจากเหล็กกล้า 20MnCr5 ด้วยวิธีคาร์บูไรซิ่ง เริ่มจากการคำนวณความเค้นสัมผัสของพื้นผิวฟันภายใต้สัมผัสประสิทธิผลแรงเสียดทานที่แตกต่างกันโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และทำการทดสอบความล้าจากการสัมผัสโดยใช้แท่นทดสอบกับเฟือง 3 แบบคือ เฟืองที่ไม่เคลือบสาร เฟืองที่เคลือบผิวด้วยสาร Mn-Ph[U] และเฟืองที่เคลือบผิวด้วยสาร Mn-Ph[S] ผลสรุปของการทดลองพบว่า การเคลือบ Mn-Ph[S] ที่มีขนาดเม็ดใหญ่กว่าให้ผลดีที่สุดและอายุความล้าจากการสัมผัสของเฟืองเพิ่มขึ้นมากกว่า 100% เมื่อเทียบกับเฟือง 20MnCr5 คาร์บูไรซ์ที่ไม่ได้เคลือบผิว ชัดจำกัดความล้าจากการสัมผัสเพิ่มขึ้นประมาณ 150 MPa (Suresh Mylsamy et al, 2023) ได้ทำวิเคราะห์สาเหตุของความเสียหายโดยการทดสอบเพลาข้อเหวี่ยงที่เสียหายของเครื่องยนต์ดีเซลสองสูบที่ใช้ในรถยนต์เพื่อการพาณิชย์ขนาดเล็กซึ่งวิ่งประมาณ 80,000 กม. การตรวจสอบเพลาข้อเหวี่ยงที่เสียหายนี้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับองค์ประกอบของวัสดุ โครงสร้างจุลภาค และคุณสมบัติทางกล นอกจากนี้ การวิเคราะห์แบบหมุน การวิเคราะห์แบบจำลองเชิงทดลอง และการทดสอบทางกลของวัสดุมีประโยชน์ในการกำหนดลักษณะของวัสดุที่เหมาะสมที่จะเลือกและวิเคราะห์สาเหตุหลักของความเสียหาย ชุดอุปกรณ์ทดลองนี้ช่วยในการทดสอบเพลาข้อเหวี่ยงและชิ้นส่วนตัวอย่างตามขั้นตอนการทดสอบ ASTM และผลลัพธ์จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือเพื่อให้ข้อมูลเชิงลึกผ่านการวิเคราะห์ความเสียหายแก่ผู้ออกแบบและผู้ผลิต เพื่อปรับปรุงความน่าเชื่อถือและความปลอดภัยของเพลาข้อเหวี่ยงยานยนต์ และท้ายที่สุดยังช่วยลดการสูญเสียทางการเงิน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอายุความล้าของวัสดุเพลา SCM 420 ทั้ง 2 ชนิด คือ ชิ้นงานมีการชุบแข็งด้วยน้ำมัน และชิ้นงานมีการเคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN โดยมีกระบวนการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี การวัดค่าความหนาผิว การวัดความหนาของชั้นเคลือบผิว การประเมินอายุความล้าจากเครื่องทดสอบความล้า และลักษณะรอยแตกของชิ้นงานตัวอย่าง จากการศึกษานี้จะช่วยให้เห็นถึงข้อแตกต่างของอายุการใช้งานของวัสดุเพลาแบบวิธีการชุบแข็งด้วยน้ำมัน (Oil Quenching) และการเคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานที่เกี่ยวข้องได้ต่อไป

2. วิธีการทดลอง

การทดลองนี้ใช้วัสดุเพลลาที่ทำจากเหล็ก SCM420 โดยทำการทดสอบด้วยการชุบแข็งด้วยน้ำมัน และการเคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN (ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบอย่างละ 3 ชิ้น) จากนั้นวิเคราะห์สมบัติทางเคมี การวัดค่าความหยาบผิว การวัดความหนาของสารเคลือบผิว และการประเมินอายุความล้าจากเครื่องทดสอบความล้า โดยมีวิธีการดำเนินการศึกษาดังนี้

2.1 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี วิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของเพลารอง เทียบกับมาตรฐานของเหล็กด้วยเครื่องวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี (Spark Emission Spectrometer) การวิเคราะห์ส่วนผสมของวัสดุ เพื่อตรวจสอบว่าวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุชนิดใด เลือกใช้ตรงตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดที่ออกแบบไว้หรือไม่สำหรับตัวอย่างชิ้นงานนี้จะตรวจสอบที่ผิวและตรงแกนกลางของเพลารอง

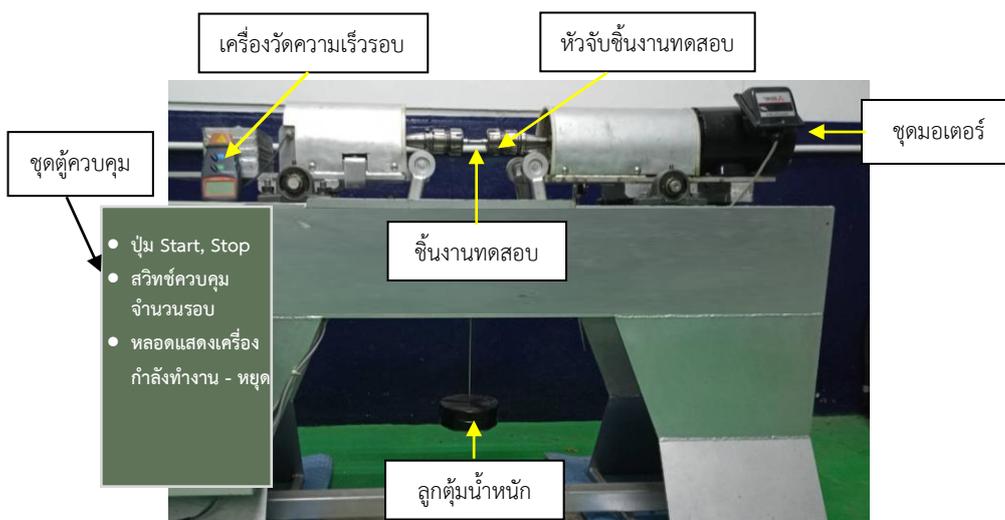
2.2 การทดสอบหาค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน นำชิ้นงานมาทำการตรวจสอบพื้นผิว (Surface) กล้องจุลทรรศน์ชนิดคอนฟોકอล ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น OLS4100 ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ISO4287 และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม LEXT

2.3 การวัดความหนาของชั้นเคลือบผิว การวัดความหนาของชั้นเคลือบผิวจะมีวิธีการทดสอบดังนี้ ปรับตั้งค่าการวัดให้เป็นศูนย์ เปรียบเทียบค่าการวัดกับแผ่นมาตรฐาน และวัดความหนาของชั้นเคลือบผิว AlCrTiSiN ในชิ้นงานตัวอย่าง

2.4 การวัดค่าความแข็ง (Hardness Test) โดยใช้เครื่องวัดความแข็งแบบพกพา ยี่ห้อ NOVOTEST ชนิด Shore D เป็นเครื่องทดสอบความแข็งแบบอัลตราโซนิค (UCI) ที่ใช้แท่งสั่นสะเทือนที่มีปลายเพชรในการวัดความแข็งของโลหะ และได้รับการออกแบบมาเพื่อจัดการกับงานที่ไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยวิธี Leeb

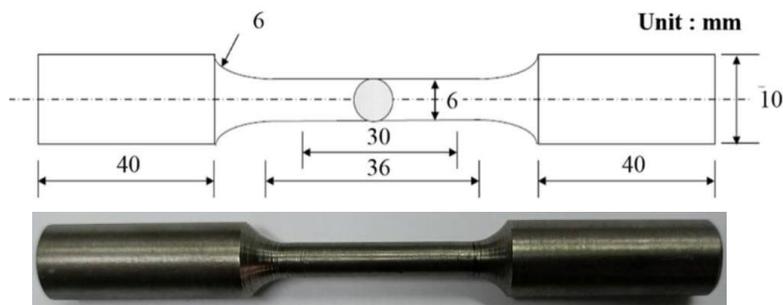
2.4 การทดสอบความล้า (Fatigue Test) การทดลองนี้จะใช้เครื่องทดสอบความล้าแบบ RR. Moore ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญดังนี้

- 1) เครื่องวัดความเร็วรอบ
- 2) มอเตอร์ทดสอบ
- 3) หัวจับชิ้นงานทดสอบ
- 4) ลูกตุ้มน้ำหนัก
- 5) ลิมิทสวิตช์ (Limit switch)
- 6) ชุดตู้ควบคุมเครื่องทดสอบ
 - ปุ่มเริ่ม (Start), หยุด (Stop)
 - หลอดแสดงเครื่องกำลังทำงาน
 - หลอดแสดงเครื่องหยุดทำงาน
 - มาตรวัดจำนวนรอบ
 - สวิตช์ควบคุมความเร็วรอบ



รูปที่ 1 เครื่องทดสอบความล้าแบบ RR. Moore

ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบตัวอย่างได้มาจากเพลลาของเกียร์ ทำการกลึงให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน ASTM E8M-22 [3] ดังรูปที่ 2 โดยใช้ตัวอย่างทั้งหมด 3 ชิ้น เป็นการทดสอบความล้าแบบการตัด จะต้องทำการขัดเงาผิวชิ้นทดสอบจนถึงตรงแกนกลาง นำชิ้นงานมาจับยึดที่ปลายทั้งสองข้างของชิ้นงาน จากนั้นจะมีการให้แรงกระทำกับชิ้นทดสอบที่คงที่ โดยชิ้นทดสอบจะมีลักษณะโก่งขึ้น ทำให้ผิวด้านบนรับแรงดึงและผิวด้านล่างรับแรงกด จากนั้นให้หมุนมอเตอร์ไปจนกว่าชิ้นงานทดสอบจะแตกหักและบันทึกจำนวนรอบที่ชิ้นงานแตกหัก การทดสอบความล้าเป็นไปตามมาตรฐาน ISO-1143 [4] ผลลัพธ์ที่ได้มาลงในกราฟ S-N เพื่อประเมินอายุความล้าของชิ้นงานตัวอย่าง เมื่อได้ชิ้นงานตัวอย่างที่เกิดการแตกหักจากการทดสอบความล้าจะถูกนำมาเพื่อสำรวจลักษณะทั่วไปของรอยแตก จากนั้นจึงนำพื้นผิวที่แตกหักไปตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีรายละเอียดมากขึ้นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ระบบดิจิทัล DSX-1000



รูปที่ 2 ขนาดของชิ้นงานทดสอบการล้าตามมาตรฐาน ASTM E8M-22 [3]

3. ผลการทดลอง

การศึกษานี้เป็นวัสดุเพลลาที่ทำจากเหล็ก SCM 420 ซึ่งมีการทดสอบชิ้นงาน 6 ชิ้น ด้วยชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมันจำนวน 3 ชิ้น และการเคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN จำนวน 3 ชิ้น โดยมีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี การวัดค่าความหยาบผิว การวัดความหนาของชั้นเคลือบผิว และการประเมินอายุความล้าจากเครื่องทดสอบความล้า ซึ่งมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

การตรวจสอบสมบัติทางเคมีของเพลลาโดยใช้เครื่อง Optical Emission Spectrometer: ARL 3460 ผลที่ได้ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 เพลลาทำจากเหล็กกล้าผสมต่ำเกรด JIS-SCM420 เป็นโลหะผสมที่นิยมใช้ในงานวิศวกรรม เช่น เฟือง เพลานรถยนต์ และชิ้นส่วนที่ต้องการความแข็งแรงและคุณสมบัติการตัด

ตารางที่ 1 ผลการตรวจสอบทางเคมีของเพลารอง SCM 420 steel [5]

Materials	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
Failed gear (Case)	0.46	0.32	0.86	0.009	0.012	0.104	0.90	0.15
(Core)	0.21	0.23	0.78	0.016	0.015	0.019	1.035	0.025
JIS-SCM420	0.18-0.23	0.15-0.35	0.60-0.90	≤ 0.030	≤ 0.030	≤ 0.25	0.90-1.20	0.15-0.25

3.2 การวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานทดสอบ (Surface Roughness)

ผลของลักษณะภาพพื้นผิวที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ชนิดคอนฟોકอล ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น OLS4100 ค่าความหยาบของชิ้นงาน (Ra) ทั้ง 3 ชิ้น หลังการชุบแข็งด้วยน้ำมัน และตารางที่ 2 เป็นผลของค่าความหยาบผิวเฉลี่ยหลังการชุบแข็งด้วยน้ำมัน โดยมีค่า Ra เฉลี่ยเท่ากับ 1.089 μm ค่า Ry เฉลี่ยเท่ากับ 6.247 μm และ ค่า Rz เฉลี่ยเท่ากับ 8.089 μm ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานตัวอย่าง (Ra) ทั้ง 3 ชิ้น หลังการเคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN และตารางที่ 3 เป็นผลของค่าความหยาบผิวเฉลี่ยหลังการเคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN โดยมีค่า Ra เฉลี่ยเท่ากับ 0.322 μm ค่า Ry เฉลี่ยเท่ากับ 3.007 μm และค่า Rz เฉลี่ยเท่ากับ 4.534 μm

ตารางที่ 2 ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานตัวอย่างหลังการชุบแข็งด้วยน้ำมัน

ชิ้นงาน	Ra(μm)	Ry(μm)	Rz(μm)
1	0.952	5.373	7.332
2	1.024	6.113	7.376
3	1.29	7.254	9.559
ค่าเฉลี่ย	1.089	6.247	8.089

ตารางที่ 3 ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานตัวอย่างหลังการเคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN

ชิ้นงาน	Ra(μm)	Ry(μm)	Rz(μm)
1	0.426	3.666	5.391
2	0.222	2.312	3.268
3	0.317	3.044	4.942
ค่าเฉลี่ย	0.322	3.007	4.534

เมื่อทำการเปรียบเทียบความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) จากจากตารางที่ 2 และ 3 พบว่าผิวของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมันมีความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ค่อนข้างมากซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.089 μm เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ผ่านเคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN พบว่าค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.322 μm นั้นแสดงให้เห็นว่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของชิ้นงานที่ผ่านเคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN ที่มีค่าค่อนข้างน้อย ซึ่งมีข้อดีหลายประการทั้งเรื่องการเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ เช่น การสึกหรอของชิ้นงานเมื่อนำไปใช้งาน ลดการกัดกร่อนต่างๆ ยืดอายุการใช้งาน และลดความเสี่ยงของการที่ชิ้นงานเกิดรอยร้าว และแตกหัก จึงสามารถสรุปได้ว่าชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสาร AlCrTiSiN จะมีประสิทธิภาพในการใช้งานที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมัน

3.3 การวัดความหนาชั้นเคลือบผิว (Coating Thickness)

การวัดความหนาชั้นเคลือบผิวในชิ้นงานตัวอย่างเคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN ด้วยเครื่องวัดความหนาชั้นเคลือบยี่ห้อ FISCHER Dual Scope FMP40 ดังแสดงตารางที่ 4 แสดงผลของการวัดความหนาชั้นเคลือบผิวของชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN ค่าความหนาของชั้นเคลือบเฉลี่ยทั้ง 10 จุด เท่ากับ 28.8 μm ค่าความหนาของชั้นเคลือบสูงสุดเท่ากับ 33.9 μm และค่าความหนาของชั้นเคลือบต่ำสุดเท่ากับ 23.1 μm

ตารางที่ 4 ผลของวัดความหนาชั้นเคลือบผิวของชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN

ตำแหน่งที่วัด	ความหนาของชั้นเคลือบ AlCrSiTiN (μm)
1	30.1
2	33.9
3	27.4
4	32.2
5	32.1
6	28.1
7	25.4
8	25.5
9	30.0
10	23.1
Average	28.8
Max.	33.9
Min.	23.1

3.4 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test)

การวัดค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบโดยใช้เครื่องวัดความแข็งแบบพกพา ยี่ห้อ NOVOTEST ชนิด Shore D ผลของการวัดค่าความแข็งของชิ้นงานตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 5 แสดงผลของการวัดค่าความแข็งของชิ้นงานตัวอย่าง ค่าความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงานที่ชุบแข็งด้วยน้ำมันเท่ากับ 67 HB และค่าความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN เท่ากับ 190.8 HB

ตารางที่ 5 ผลของการวัดค่าความแข็งของชิ้นงานตัวอย่างที่ชุบแข็งด้วยน้ำมันและชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN

ตำแหน่งทดสอบ	วิธีการชุบแข็ง	
	การชุบแข็งด้วยน้ำมัน (HB)	การเคลือบสาร AlCrTiSiN (HB)
1	71	183
2	63	192
3	78	199
4	61	193
5	62	187
ค่าเฉลี่ย	67	190.8

ชิ้นเคลือบ AlCrTiSiN มีค่าความแข็งสูงกว่าชิ้นเคลือบการชุบแข็งด้วยน้ำมัน และจากผลการทดสอบวิเคราะห์โครงสร้างของชิ้นเคลือบ AlCrTiSiN ด้วย SEM (ไม่สามารถเปิดเผยรูปภาพได้ เนื่องจากเป็นความลับของบริษัท) จากภาพโครงสร้างสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อเติมธาตุซิลิกอนเข้าไปจะมีผลทำให้ค่าความแข็งสูงขึ้นเนื่องจากซิลิกอนจะถูกทำให้อยู่ในรูปโครงสร้างพื้น Amorphous โดยผลึกของ AlCrTiSiN ในระดับนาโนจะถูกฝังเข้าไปในโครงสร้างพื้น Amorphous และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เกรนจึงละเอียดขึ้นส่งผลให้มีขอบเกรนเพิ่มขึ้น การเคลื่อนที่ของดิสโลเคชันจึงถูกยับยั้ง ซึ่งภาพโครงสร้างสอดคล้องกับงานวิจัยของ [1] ดังนั้นค่าความแข็งของชิ้นเคลือบ AlCrTiSiN จึงเพิ่มขึ้น

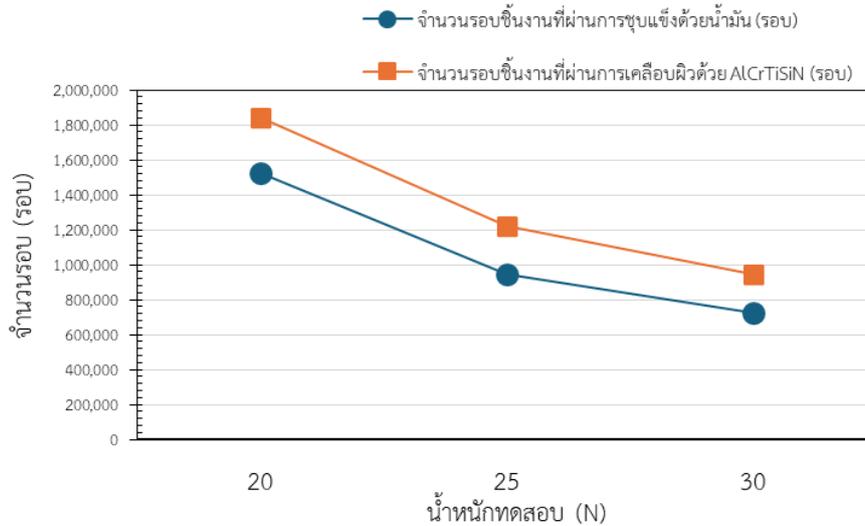
3.5 การทดสอบความล้า (Fatigue Test)

ตัวอย่างชิ้นงานที่นำมาทดสอบได้มาจากตัวอย่างของวัสดุเพลลาเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SCM420 ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยนำมาทดสอบแรงดึงซึ่งได้ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) เท่ากับ 517 MPa และค่าความเค้นแรงดึงคราก (Yield Strength) เท่ากับ 365 MPa [4] การทดสอบความล้าทั้งหมดดำเนินการที่อุณหภูมิแวดล้อม 25 °C ความถี่ในการรับโหลด 50 Hz ความเร็วของมอเตอร์ทดสอบเท่ากับ 1,500 รอบต่อนาที ภาระที่ใช้ในการทดสอบจะปรับเปลี่ยนค่าที่แตกต่างกันตั้งแต่ 20, 25 และ 30 N ตามลำดับ

ผลของการทดลองด้วยเครื่องทดสอบความล้าในตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมันจำนวน 3 ชิ้น และชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN จำนวน 3 ชิ้น ได้ค่าอายุการล้าของชิ้นงานทดสอบออกมาดังแสดงในตารางที่ 6 และสามารถนำมาเขียนกราฟ S-N ดังรูปที่ 3

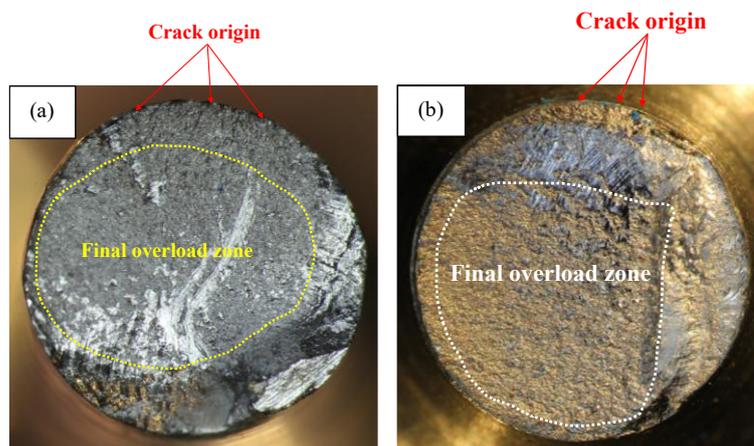
ตารางที่ 6 ผลจากการคำนวณและผลการทดสอบความล้าที่ความเร็วรอบ 1500 รอบ/นาที

ลำดับ	น้ำหนักทดสอบ (N)	จำนวนรอบชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมัน (รอบ)	จำนวนรอบชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN (รอบ)
1	20	1,521,942	1,841,537
2	25	945,917	1,219,814
3	30	724,146	942,193



รูปที่ 3 ผลเปรียบเทียบรอบความล้าระหว่างการชุบแข็งด้วยน้ำมันและการเคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN

จากรูปที่ 3 ผลการทดลองเพื่อประเมินอายุของความล้าของวัสดุภายใต้ความเค้นสลับ (Cyclic Load) ของเหล็ก JIS – SCM 420 จะทำการทดลองชิ้นงานทั้งหมด 3 ชิ้น จะสังเกตเห็นว่าแนวโน้มของกราฟมีลักษณะลดลงเป็นเส้นโค้ง การทดลองแต่ละครั้งจะลดน้ำหนักถ่วงลงทีละ 5 N พบว่าเมื่อใช้น้ำหนักถ่วงเท่ากับ 20 N โดยจำนวนรอบที่นับได้สูงสุดของสาร AlCrTiSiN อยู่ที่ 1,841,537 รอบ และการชุบแข็งด้วยน้ำมัน (Oil Quenching) อยู่ที่ 1,521,942 รอบ มีค่าแตกต่างกัน 319,595 รอบ เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์คือแตกต่างกัน 20.99 % และเมื่อใช้น้ำหนักถ่วงเท่ากับ 30 N จำนวนรอบที่นับได้น้อยที่สุดของสาร AlCrTiSiN อยู่ที่ 942,193 รอบ และการชุบแข็งด้วยน้ำมัน (Oil Quenching) อยู่ที่ 724,146 รอบ มีค่าแตกต่างกัน 218,047 รอบ เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์คือแตกต่างกัน 30.11 % จากการทดลองจะสังเกตเห็นได้ชัดเจนว่าจำนวนรอบความล้าของเหล็กเพลลาที่เคลือบด้วยสาร AlCrTiSiN จะมีจำนวนรอบที่มากกว่าการชุบแข็งแบบชุบแข็งด้วยน้ำมัน สรุปได้ว่าเมื่อลดระดับความเค้นที่กระทำต่อชิ้นทดสอบให้น้อยลงอายุการล้าจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นโดยเป็นไปตามลักษณะเส้น S - N Curve [6][9]



รูปที่ 4 ลักษณะรอยแตกของชิ้นงาน (a) การชุบแข็งด้วยน้ำมัน และ (b) การเคลือบผิวด้วยสาร AlCrTiSiN

การตรวจสอบด้วยภาพถ่ายของลักษณะการแตกหักจากความล้าในการดัดแบบหมุน ผิวหน้ารอยแตกหักที่กำลังขยายตัวด้วยกล้อง Zoom Stereo Microscope ดังรูปที่ 4 แสดงให้เห็นจุดเริ่มต้นของรอยแตกหรือ Crack origin เกิดขึ้นหลายจุด จากนั้นรอยแตกจะขยายตัวอย่างช้าๆ ผ่านพื้นที่ Fatigue Zone หรือบริเวณที่ได้รับความเสียหายจากการรับแรงแบบคาบ เข้าไปเข้ามา ในช่วงระหว่างการขยายตัวของรอยแตกอย่างช้าๆ จะมีความผันแปรของแรงที่กระทำและมีผลต่ออัตราการขยายตัวของรอยแตก เมื่อรอยแตกขยายตัวไปได้ระยะหนึ่งจะทำให้วัสดุเหลือพื้นที่ในการรับแรงน้อย และทำให้เกิดเป็นพื้นที่รับแรงเกินพิกัด (Final Overload Zone) [7][8]

4. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบวัสดุเพลลาที่ทำจากเหล็ก SCM 420 ซึ่งมีการชุบแข็งด้วยน้ำมัน และการเคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN โดยมีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี การวัดค่าความหยาบผิว การวัดความหนาของชั้นเคลือบผิว และการประเมินอายุความล้าจากเครื่องทดสอบความล้า จากการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

4.1 ผลของการวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมันความหยาบผิวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.089 μm และชิ้นงานที่ผ่านเคลือบผิวด้วย AlCrTiSiN มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเท่ากับ 0.322 μm ซึ่งส่งผลให้ชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสาร AlCrTiSiN จะมีประสิทธิภาพการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมัน

4.2 ผลของความหนาของชั้นเคลือบและการวัดค่าความแข็งมีความสัมพันธ์กัน โดยพบว่าชั้นเคลือบ AlCrTiSiN มีค่าความแข็งเท่ากับ 190.8 HB สูงกว่าชั้นเคลือบการชุบแข็งด้วยน้ำมันมีค่าความแข็งเท่ากับ 67 HB ความแข็งที่เพิ่มขึ้นสูงมากนี้เป็นผลมาจากเมื่อเติมธาตุซิลิกอนเข้าไปจะทำให้ค่าความแข็งสูงขึ้นเนื่องจากการเคลือบในระดับนาโนจะถูกฝังเข้าไปในโครงสร้างพื้น amorphous และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และส่งผลให้ขอบเกรนมีความละเอียดเพิ่มขึ้น

4.3 ผลการความล้าจะเห็นได้ว่าแนวโน้มของกราฟมีลักษณะลดลงเป็นเส้นโค้ง เมื่อใช้น้ำหนักถ่วงเท่ากับ 20 N โดยจำนวนรอบที่นับได้สูงที่สุดของสาร AlCrTiSiN อยู่ที่ 1,841,537 รอบ และการชุบแข็งด้วยน้ำมัน อยู่ที่ 1,521,942 รอบ มีค่าแตกต่างกัน 21 % และเมื่อใช้น้ำหนักถ่วงเท่ากับ 30 N จำนวนรอบที่นับได้น้อยที่สุดของสาร AlCrTiSiN อยู่ที่ 942,193 รอบ และการชุบแข็งด้วยน้ำมันอยู่ที่ 724,146 รอบ มีค่าแตกต่างกัน 30 % จึงสรุปได้ว่าชิ้นงานที่เคลือบสาร AlCrTiSiN มีอายุการใช้งานที่มากกว่าการชุบแข็งด้วยน้ำมัน

4.4 การตรวจสอบด้วยภาพถ่ายของลักษณะการแตกหักจากความล้าของชิ้นงานตัวอย่างที่ทั้ง 2 แบบพบว่าจุดเริ่มต้นของรอยแตกกร้าว Crack Origin เกิดขึ้นหลายจุด จากนั้นรอยแตกจะขยายตัวอย่างช้าๆ ผ่านพื้นที่ Fatigue Zone หรือบริเวณที่ได้รับความเสียหายจากการรับแรงแบบคาบ เข้าไปเข้ามา ในช่วงระหว่างการขยายตัวของรอยแตกอย่างช้าๆ เมื่อรอยแตกขยายตัวไปได้ระยะหนึ่งจะทำให้วัสดุเหลือพื้นที่ในการรับแรงน้อย และทำให้เกิดเป็นพื้นที่รับแรงเกินพิกัด (Final Overload Zone)

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] เจษฎา รุจิสมณฑา, “พฤติกรรมการสึกหรอของดอกกัดที่เคลือบผิวด้วยชั้นเคลือบโดยวิธีไอระเหยทางฟิสิกส์,” วิทยานิพนธ์ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2556.
- [2] Nurot Panich, Surasak Surinphong, D.A. Karpov, Yong Kwang Tan, Chin Foo Goh, Jan Ma, “Mechanical Properties “Mechanical Properties of AlCrTiSiN Coatings Developed by Cathodic Arc for Protection Applications.” Solid State Phenomena, vol. 185, 2012, pp. 81-83.
- [3] American Society for Testing and Materials E8/E8M-22. (2025, October 20). Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Online]. Available: https://store.astm.org/e0008_e0008m-22.html
- [4] INTERNATIONAL STANDARD ISO 1143. (2025, October 20). Metallic materials - Rotating bar bending fatigue testing [Online]. Available: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/79575/71ce80272d3a4ce4920ea96f0a7894df/ISO-1143-2021.pdf>
- [5] Otai Special Steel. (2024, October 20). ASTM 4118 Steel | SCM420 | 18CrMo4 | 1.7243 [Online]. Available: <https://www.astmsteel.com/product/astm-4118-steel-scm420-18crmo4-1-7243/>
- [6] Mohammad Jamalkhani Khameneh, Mohammad Azadi, “Evaluation of high-cycle bending fatigue and fracture behaviors in EN-GJS700-2 ductile cast iron of crankshafts.” Engineering Failure Analysis, vol. 85, 2018, pp. 189-200.
- [7] Sajjad Seifoori, Ahmad Mahdian Parrany, Mojtaba Khodayari, “A high-cycle fatigue failure analysis for the turbocharger shaft of BELAZ 75131 mining dump truck,” Engineering Failure Analysis, vol. 116, 2020, pp. 104752.

- [8] Libin Zang, Yong Chen, Weijie Hou, Tao Sun, Yimin Wu, Baoshan Zhao, “Effect of manganese phosphate conversion coating with different crystal sizes on fatigue life of 20MnCrS5 steel helical gears,” *Tribology International*, vol. 186, 2023, pp. 108622.
- [9] Suresh Mysamy, Neelakrishnan Subramanyan, “Fatigue failure prediction through factor of safety and stress concentration in a malfunctioned AISI 4140 automotive crankshaft,” *Materials Research Express*, vol. 10, 2023, pp. 126516.