

ผลกระทบของการเคลือบผิวด้วย TiN และการชุบแข็งด้วยน้ำมันต่ออายุความล้า ของเหล็ก SCM 420 ในเพลารอง

Effect of TiN Coating on Fatigue Life of SCM 420 Steels Counter Shaft

กฤษฎภูมิ เรือนใหม่, ธนากาญจน์ ธีจวง*, พรศักดิ์นรินทร์ พุนมา และ กัมปนาท ม่อมวิทย์

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

248 ซอย เพชรเกษม 110 แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160

Kritsanuphum Ruanmai, Thanakan Reejuang*, Pornsaknarin Phunma and Kampanat Momwit

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: thanakanreejung@gmail.com

(Received: May 28, 2025 / Revised: June 27, 2026 / Accepted: June 28, 2026)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอายุการล้าของเพลาคู่ที่ทำจากเหล็กกล้าผสมคาร์บอนต่ำ JIS-SCM420 โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่ผ่านวิธีการชุบแข็งด้วยน้ำมัน และการเคลือบผิวด้วยไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) มีการวัดค่าความหยาบผิว การวัดความหนาของชั้นเคลือบผิว และการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความล้าแบบ R.R. Moore ผลของการวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำหนักร่วมกับ 1.089 μm และชิ้นงานที่ผ่านเคลือบผิวด้วย TiN มีค่าความหยาบผิวเท่ากับ 0.296 μm ชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วย TiN มีค่าความแข็งเท่ากับ 246.2 HB และสูงกว่าชั้นเคลือบการชุบแข็งด้วยน้ำมันมีค่าความแข็งเท่ากับ 67 HB ความแข็งที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นผลมาจากการเติมธาตุไทเทเนียมไนไตรด์ จนส่งผลให้ขอบเกรนมีความละเอียดเพิ่มขึ้น จำนวนรอบที่ได้จากการทดสอบความล้าสูงสุดของคือชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วยสาร TiN อยู่ที่ 2,015,264 รอบ และ การชุบแข็งด้วยน้ำมันอยู่ที่ 1,521,942 รอบ มีค่าแตกต่างกัน 32.41% จึงสรุปได้ว่าชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วยสาร TiN มีอายุการใช้งานที่มากกว่าชิ้นงานที่ผ่านชุบแข็งด้วยน้ำมัน

คำสำคัญ: เหล็กกล้า JIS-SCM420, ค่าความหยาบผิว, ค่าความแข็ง, จำนวนรอบความล้า

Abstract

This research aims to evaluate the fatigue life of shafts made of low carbon alloy steel JIS-SCM420 by comparing between oil quenching specimens and titanium nitride (TiN) coated specimens. There are inspections on surface roughness, coating thickness, and R.R. Moore fatigue testing. The average surface roughness (Ra) of oil quenching specimens was 1.089 μm , and that TiN coated specimens was 0.296 μm . The hardness of TiN coated specimens was 246.2 HB, and higher than that of oil quenching which was 67 HB. The increased hardness was due to the addition of titanium nitride, which resulted in finer grain boundaries. The maximum fatigue test cycles of the TiN coated specimens were 2,015,264 cycles and those of the oil quenching specimens were 1,521,942 cycles, which a different of 32.41%. Therefore, it can be concluded that the TiN coated specimens had longer service life than the oil quenching specimens.

Keywords: JIS-SCM420 steel, Surface roughness, Hardness, Fatigue test cycles.

1. บทนำ

เพลารอง (Counter Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่อยู่ในเกียร์ธรรมดาของรถยนต์ ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมยานยนต์ ในโครงงานนี้เพลารองทำมาจากเหล็ก SCM 420 เพลาคู่จะต้องอยู่ภายใต้การรับโหลดแบบไดนามิก (Dynamic Loading) ที่มีลักษณะซับซ้อน โดยทั่วไปแล้วการรับโหลดของเพลาคู่จะอยู่ภายใต้แรงบิดและความเค้นดัดร่วมกับความเข้มข้นของความเครียดในระดับต่างๆ สำหรับเพลารองปัญหาที่พบบ่อยคือโหลดที่เกิดจากความล้า ความเสียหายของชิ้นส่วนเพลาคู่

ให้นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรมีความพยายามที่จะศึกษาหาสาเหตุหลักของการแตกหักของเพลารองและเสนอวิธีการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

การเพิ่มความแข็งที่ผิวของเพลาก็เป็นอีกวิธีการที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเพล่าให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น การชุบผิวแข็งสามารถทำได้ทั้งวิธีการชุบแข็งด้วยน้ำมัน (Oil Quenching) โดยการนำเอาชิ้นเหล็กเผาให้ได้อุณหภูมิวิกฤตของเหล็กประมาณ $780 - 950^{\circ}\text{C}$ แล้วทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วเกินอัตราเย็นตัววิกฤตของเหล็กในน้ำมัน ซึ่งจะช่วยให้ผิวของเหล็กมีความแข็งขึ้น สามารถทนต่อการสึกหรอและความล้าได้ดี ในปัจจุบันสารเคลือบ TiN (Titanium Nitride) เป็นประเภทของการเคลือบแข็งที่ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล การเคลือบนี้ผสมไทเทเนียมไนไตรด์ เพื่อสร้างวัสดุที่มีชั้นผิวที่ทนทานต่อการสึกหรอ ป้องกันการกัดกร่อนได้ดี มีความหนาของผิวเคลือบสม่ำเสมอ มีความแข็งสูง ทนต่อแรงกระแทก สารเคลือบชนิดนี้มักใช้ในกระบวนการสะสมไอทางกายภาพ (PVD) เทคโนโลยีการเคลือบผิวแบบ PVD (Physical Vapor Deposition) เป็นกระบวนการสร้างฟิล์มบางที่มีความแข็งสูง การเคลือบ TiN ทำให้ผิวชิ้นงานมีความแข็งสูง ซึ่งช่วยปรับปรุงความทนทานต่อการสึกหรอของเครื่องมือ นอกจากนี้ ยังช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของชิ้นส่วน ลดต้นทุนการบำรุงรักษา และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

งานวิจัยในอดีตมีนักวิจัยทำการศึกษาศักยภาพของสารเคลือบผิวและประเมินอายุความล้า ซึ่งมีดังรายละเอียดต่อไปนี้ (เจษฎา รุจิสมานา, 2013) ได้ศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของดอกกัดที่เคลือบผิวด้วยวิธีไอทาง ระเหยฟิสิกส์แบบคาโทดิกอาร์ค โดยใช้ชั้นเคลือบอะลูมิเนียม ไครเมียมไนไตรด์ (AlCrN), ไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN), อะลูมิเนียมไครเมียม ไทเทเนียมซิลิกอน ไนไตรด์ (AlCrTiSiN) และไทเทเนียมอะลูมิเนียมซิลิกอนไนไตรด์ (TiAlSiN) เปรียบเทียบกับ ดอกกัดที่ไม่ได้เคลือบ ทำการทดสอบการสึกหรอความแข็งระดับนาโน การทดสอบความต้านทานต่อการขีด ขีด และการทดสอบการใช้งานจริงโดยกัดผิวด้วยเครื่อง CNC ผลที่ได้จากการทดสอบความต้านทานต่อการขีดขีด และทดสอบ ค่าความแข็งระดับนาโนพบว่า ชั้นเคลือบ AlCrTiSiN มีความแข็งและความสามารถในการยึดเกาะสูงกว่าชั้นเคลือบ TiN, AlCrN และ TiAlSiN ตามลำดับ (Sajjad Seifoori et al, 2020) ได้กล่าวไว้ว่าสาเหตุหลักของความเสียหายคือความล้าที่เกิดจากการรับโหลดแบบซ้ำไปซ้ำมาซึ่งเป็นผลการรับแรงบิดแบบโหลดคงที่ที่เกิดกับขนาดของเส้นผ่าน ศูนย์กลางที่เปลี่ยนแปลงต่ออายุความล้าของเพลาลายใต้ความเค้นดัดแบบกลับไปกลับมา (Libin Zang et al, 2023) ได้ ทำการศึกษาลักษณะของการเคลือบผิวด้วยสารแมงกานีสฟอสเฟตที่มีขนาดผลึกแตกต่างกันต่ออายุการใช้งานของเฟืองเฉียง ที่ทำจากเหล็กกล้า 20MnCr5 ด้วยวิธีคาร์บูไรซิ่ง เริ่มจากการคำนวณความเค้นสัมผัสของพื้นผิวฟันภายใต้สัมผัสประสิทธิผลแรง เสียตทานที่แตกต่างกันโดยใช้วิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ และทำการทดสอบความล้าจากการสัมผัสโดยใช้แท่นทดสอบกับเฟือง 3 แบบคือ เฟืองที่ไม่เคลือบสาร เฟืองที่เคลือบผิวด้วยสาร Mn-Ph[U] และเฟืองที่เคลือบผิวด้วยสาร Mn-Ph[S] ผลสรุปของการ ทดลองพบว่า การเคลือบ Mn-Ph[S] ที่มีขนาดเม็ดใหญ่กว่าให้ผลดีที่สุดและอายุความล้าจากการสัมผัสของเฟืองเพิ่มขึ้น มากกว่า 100% เมื่อเทียบกับเฟือง 20MnCr5 คาร์บูไรซ์ที่ไม่ได้เคลือบผิว ขีดจำกัดความล้าจากการสัมผัสเพิ่มขึ้นประมาณ 150 MPa

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือเพื่อประเมินอายุความล้าของวัสดุเพล่า SCM 420 ทั้ง 2 แบบ ชิ้นงานแรกมีการชุบแข็งด้วยน้ำมัน ชิ้นงานที่สองมีการเคลือบผิวด้วย TiN โดยมีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี การวัดค่าความหยาบผิว และการประเมินอายุความล้าจากเครื่องทดสอบความล้า ความรู้ที่ได้รับจากการศึกษานี้จะช่วยให้เห็นถึงข้อแตกต่างของอายุการใช้งาน และประสิทธิภาพของวัสดุเพล่าทั้ง 2 แบบ แบบวิธีการชุบแข็งด้วยน้ำมัน (Oil Quenching) และการเคลือบผิวด้วย TiN

2. วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้มีการทดลองวัสดุเพล่าที่ทำจากเหล็ก SCM420 โดยมีการทดสอบชิ้นงาน 3 ชิ้น ชิ้นงานแรกมีการชุบแข็งด้วยน้ำมัน ชิ้นงานที่สองมีการเคลือบผิวด้วย TiN โดยมีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี การวัดค่าความหยาบผิว การวัดความหนาของสารเคลือบผิว และ การประเมินอายุความล้าจากเครื่องทดสอบความล้า โดยมีวิธีการดำเนินการศึกษาดังต่อไปนี้

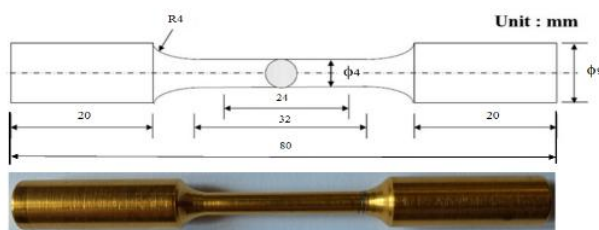
2.1 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี วิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของเพลารอง เทียบกับมาตรฐานของเหล็กด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี Optical Emission Spectrometer: ARL 3460 ทำการวิเคราะห์ส่วนผสมของวัสดุ เพื่อตรวจสอบว่าวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุชนิดใด เลือกใช้ตรงตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดที่ออกแบบไว้หรือไม่สำหรับตัวอย่างชิ้นงานนี้จะตรวจสอบที่ผิวและตรงแกนกลางของเพลารอง

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

2.3 การวัดความหนาของชั้นเคลือบผิว การวัดความหนาของชั้นเคลือบผิวจะมีวิธีการทดสอบดังนี้ ปรับตั้งค่าการวัดให้เป็นศูนย์ เปรียบเทียบค่าการวัดกับแผ่นมาตรฐาน และวัดความหนาของชั้นเคลือบผิว TiN ในชิ้นงานตัวอย่าง

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

2.4 การทดสอบความล้า (Fatigue Test) ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบตัวอย่างได้มาจากเพลลาของเกียร์ ทำการกลึงให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน ASTM E8M-22 ดังรูปที่ 1 โดยใช้ตัวอย่างทั้งหมด 6 ชิ้น เป็นการทดสอบความล้าแบบการดัด จะต้องทำการขัดเงาผิวชิ้นทดสอบจนถึงตรงแกนกลาง นำชิ้นงานมาจับยึดที่ปลายทั้งสองข้างของชิ้นงาน จากนั้นจะมีการให้แรงกระทำกับชิ้นทดสอบที่คงที่ โดยชิ้นทดสอบจะมีลักษณะโค้งขึ้น ทำให้ผิวด้านบนรับแรงดึงและผิวด้านล่างรับแรงกด จากนั้นให้หมุนมอเตอร์ไปจนกว่าชิ้นงานทดสอบจะแตกหักและบันทึกจำนวนรอบที่ชิ้นงานแตกหักกับความเค้นที่นำไปสร้างกราฟ S-N ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) กับจำนวนรอบ (Number of cycle) ชิ้นงานตัวอย่างที่เกิดการแตกหักจากการทดสอบความล้าด้วยเครื่องทดสอบความล้าได้รับการตรวจสอบด้วยสายตาเพื่อให้ได้ภาพรวมของการแตกหักลักษณะทั่วไปของรอยแตกและพื้นผิวของการแตกหัก การทดสอบความล้าเป็นไปตามมาตรฐาน ISO-1143 [3] ชิ้นงานตัวอย่างที่แตกหักจะถูกนำมาเพื่อสำรวจลักษณะทั่วไปของรอยแตก จากนั้นจึงนำพื้นผิวที่แตกหักไปตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีรายละเอียดมากขึ้นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ระบบดิจิทัล DSX-1000



รูปที่ 1 ขนาดตามมาตรฐานของชิ้นงานทดสอบการล้าแบบหมุนรอบ

3. ผลการทดลอง

3.1 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี

การตรวจสอบสมบัติทางเคมีของเพลลาโดยใช้เครื่อง Optical Emission Spectrometer: ARL 3460 โดยมีการวัดส่วนผสมทางเคมี 2 จุด ที่บริเวณผิวของเพลลา (Case) และที่บริเวณผิวตรงกลางเพลลา (Core) ผลที่ได้ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 เพลลาทำจากเหล็กกล้าผสมต่ำเกรด JIS-SCM420 เป็นโลหะผสมที่นิยมใช้ในงานวิศวกรรม เช่น เพื่องเพลลาในรถยนต์ และชิ้นส่วนที่ต้องการความแข็งแรงและคุณสมบัติการดัด [5]

ตารางที่ 1 ผลการตรวจสอบทางเคมีของเพลลาของ SCM420 steel (%wt)

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 [5]	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 รูปที่ 2 เป็นค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน (Ra) ทั้ง 3 ชิ้น หลังการชุบแข็งด้วยน้ำมัน และตารางที่ 3.2 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 TiN และตารางที่ 3 เป็นผลของค่าความหยาบผิวเฉลี่ยหลังการเคลือบผิวด้วย TiN โดยมีค่า Ra เฉลี่ยเท่ากับ 0.296 μm ค่า Ry เฉลี่ยเท่ากับ 2.700 μm และ ค่า Rz เฉลี่ยเท่ากับ 3.953 μm [1]

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 TiN

ชิ้นงาน	Ra (μm)	Ry (μm)	Rz (μm)
1	0.294	2.663	3.810
2	0.273	2.511	3.921
3	0.320	2.926	4.128
ค่าเฉลี่ย	0.296	2.700	3.953

เมื่อทำการเปรียบเทียบความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) จากตารางที่ 2 และ 3 พบว่าผิวของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมันมีความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ค่อนข้างมากซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.089 μm เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ผ่านเคลือบผิวด้วย TiN พบว่าค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.296 μm นั้นแสดงให้เห็นว่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของชิ้นงานที่ผ่านเคลือบผิวด้วย TiN ที่มีค่าค่อนข้างน้อย ซึ่งมีข้อดีหลายประการทั้งเรื่องการเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ เช่น การสึกหรอของชิ้นงานเมื่อนำไปใช้งาน ลดการกัดกร่อนต่างๆ ยืดอายุการใช้งาน และลดความเสี่ยงของการที่ชิ้นงานเกิดรอยร้าวและแตกหัก จึงสามารถสรุปได้ว่าชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสาร TiN จะมีประสิทธิภาพในการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมัน

3.3 การวัดความหนาชั้นเคลือบผิว (Coating Thickness)

การวัดความหนาชั้นเคลือบผิวในชิ้นงานตัวอย่างเคลือบผิวด้วย TiN ด้วยเครื่องวัดความหนาชั้นเคลือบยี่ห้อ FISCHER Dual Scope FMP40 ดังแสดงตารางที่ 3 แสดงผลของการวัดความหนาชั้นเคลือบผิวของชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วย TiN ค่าความหนาของชั้นเคลือบเฉลี่ยทั้ง 10 จุด เท่ากับ 10.1 μm ค่าความหนาของชั้นเคลือบสูงสุดเท่ากับ 11.7 μm และค่าความหนาของชั้นเคลือบต่ำสุดเท่ากับ 8.2 μm

ตารางที่ 3 ผลของวัดความหนาชั้นเคลือบผิวของชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วย TiN

ตำแหน่งที่วัด	ความหนาของชั้นเคลือบ TiN (μm)
1	11.7
2	9.0
3	10.0
4	10.7
5	9.4
6	8.2
7	9.2
8	9.7
9	11.2
10	12.0
Average	10.1
Max.	11.7
Min.	8.2

3.4 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test)

การวัดค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบโดยใช้เครื่องวัดความแข็งแบบพกพา ยี่ห้อ NOVOTEST ชนิด Shore D ผลของการวัดค่าความแข็งของชิ้นงานตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 4 ค่าความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงานที่ชุบแข็งด้วยน้ำมันเท่ากับ 67 HB และค่าความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วย TiN เท่ากับ 246.2 HB

ตารางที่ 4 ผลของการวัดค่าความแข็งของชิ้นงานตัวอย่าง

ตำแหน่งทดสอบ	วิธีการชุบแข็ง	
	การชุบแข็งด้วยน้ำมัน (HB)	การเคลือบสาร TiN (HB)
1	71	250
2	63	238
3	78	256
4	61	252
5	62	235
ค่าเฉลี่ย	67	246.2

ชั้นเคลือบ TiN มีความแข็งสูงกว่าชั้นเคลือบการชุบแข็งด้วยน้ำมัน และจากผลการทดสอบวิเคราะห์โครงสร้างของชั้นเคลือบ TiN ด้วย SEM (ไม่สามารถเปิดเผยรูปภาพได้ เนื่องจากเป็นความลับของบริษัท) จากภาพโครงสร้างสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อเติมธาตุไทเทเนียม ไนไตรด์ (Titanium Nitride) เข้าไปจะมีผลทำให้ค่าความแข็งสูงขึ้นเนื่องจากไทเทเนียม ไนไตรด์จะถูกทำให้อยู่ในรูปโครงสร้างพื้น amorphous โดยผลึกของ TiN ในระดับนาโนจะถูกฝังเข้าไปในโครงสร้างพื้น amorphous และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เกรนจึงละเอียดขึ้นส่งผลให้มีขอบเกรนเพิ่มขึ้น การเคลื่อนที่ของ ดิสโลเคชันจึงถูกยับยั้งซึ่งภาพโครงสร้างสอดคล้องกับงานวิจัยของเจษฎา รุจิสมญา [1] ดังนั้นค่าความแข็งของชั้นเคลือบ TiN จึงเพิ่มขึ้น

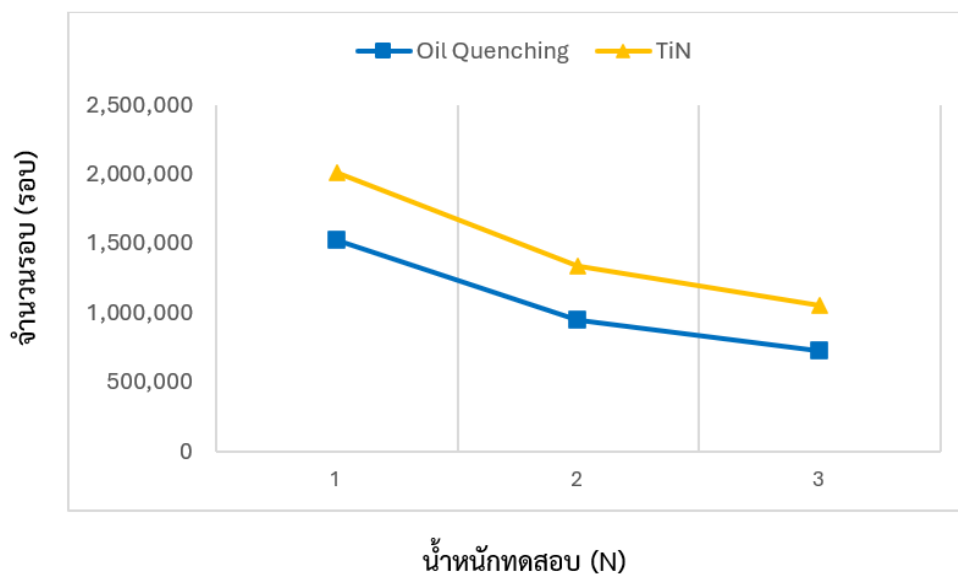
3.5 การทดสอบความล้า (Fatigue Test)

ตัวอย่างชิ้นงานที่นำมาทดสอบได้มาจากตัวอย่างของวัสดุพลาเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SCM420 ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยนำมาทดสอบแรงดึงซึ่งได้ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) เท่ากับ 998 MPa และค่าความเค้นแรงดึงคราก (Yield Strength) เท่ากับ 395 MPa การทดสอบความล้าทั้งหมดดำเนินการที่อุณหภูมิห้อง 25 °C ความถี่ในการรับโหลด 50 Hz ความเร็วของมอเตอร์ทดสอบเท่ากับ 1,725 รอบต่อนาที ภาระที่ใช้ในการทดสอบจะปรับเปลี่ยนค่าที่แตกต่างกันตั้งแต่ 20, 25 และ 30 N ตามลำดับ

ผลของการทดลองด้วยเครื่องทดสอบความล้าในตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมันจำนวน 3 ชิ้น และชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย TiN จำนวน 3 ชิ้น ได้ค่าอายุการล้าของชิ้นงานทดสอบออกมาดังแสดงในตารางที่ 5 และสามารถนำมาเขียนกราฟ S-N ดังรูปที่ 2

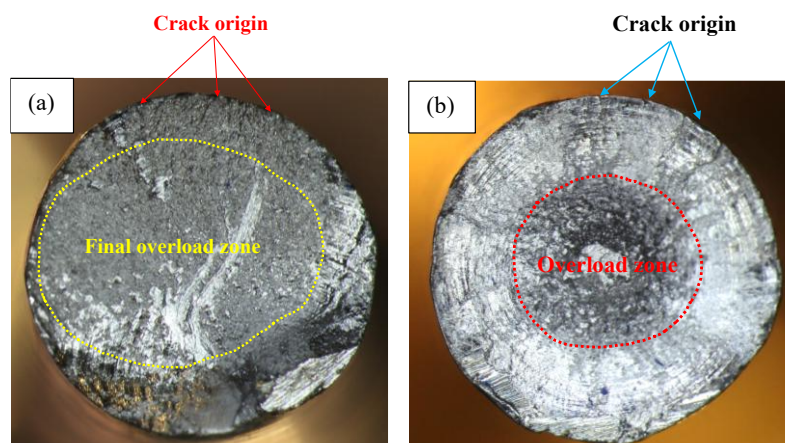
ตารางที่ 5 ผลจากการคำนวณและผลการทดสอบความล้าที่ความเร็วรอบ 1725 รอบ/นาที

ลำดับ	น้ำหนักทดสอบ (N)	จำนวนรอบชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมัน (รอบ)	จำนวนรอบชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย TiN (รอบ)
1	20	1,521,942	2,015,264
2	25	945,917	1,338,724
3	30	724,146	1,060,216



รูปที่ 2 ผลเปรียบเทียบรอบความล้าระหว่างการชุบแข็ง Oil quenching และการเคลือบ TiN

การตรวจสอบด้วยภาพถ่ายของลักษณะการแตกหักจากความล้าในการดัดแบบหมุน ผิวหน้ารอยแตกหักที่กำลังขยายตัวด้วยกล้อง Zoom Stereo Microscope ดังรูปที่ 3 แสดงให้เห็นจุดเริ่มต้นของรอยแตกร้าว Crack origin เกิดขึ้นหลายจุด จากนั้นรอยแตกจะขยายตัวอย่างช้าๆ ผ่านพื้นที่ Fatigue Zone หรือบริเวณที่ได้รับความเสียหายจากการรับแรงแบบคาบ ซ้ำไปซ้ำมา ในช่วงระหว่างการขยายตัวของรอยแตกอย่างช้าๆ จะมีความผันแปรของแรงที่กระทำและมีผลต่ออัตราการขยายตัวของรอยแตก เมื่อรอยแตกขยายตัวไปได้ระยะหนึ่งจะทำให้วัสดุเหลือพื้นที่ในการรับแรงน้อย และทำให้เกิดเป็นพื้นที่รับแรงเกินพิกัด (Final Overload Zone) ในพื้นที่ดังกล่าวพบว่ารอยแตกที่ขยายตัวส่วนใหญ่มีลักษณะทางมหภาคเป็นการแตกแบบเปราะ [7][8]



รูปที่ 3 ลักษณะรอยแตกของชิ้นงาน (a) การชุบแข็งด้วยน้ำมัน (b) การเคลือบผิวด้วยสาร TiN

4. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบวัสดุเพลลาที่ทำจากเหล็ก SCM 420 ซึ่งมีการชุบแข็งด้วยน้ำมัน และการเคลือบผิวด้วย TiN โดยมีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี การวัดค่าความหยาบผิว การวัดความหนาของชั้นเคลือบผิว และการประเมินอายุความล้าจากเครื่องทดสอบความล้า จากการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

4.1 ผลของการวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1.089\ \mu\text{m}$ และชิ้นงานที่ผ่านเคลือบผิวด้วย TiN มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเท่ากับ $0.296\ \mu\text{m}$ ซึ่งส่งผลให้ชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสาร TiN จะมีประสิทธิภาพในการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมัน

4.2 ผลของความหนาของชั้นเคลือบและการวัดค่าความแข็งมีความสัมพันธ์กัน โดยพบว่าชั้นเคลือบ TiN มีค่าความแข็งเท่ากับ 246.2 HB สูงกว่าชั้นเคลือบการชุบแข็งด้วยน้ำมัน ที่มีค่าความแข็งเท่ากับ 67 HB ความแข็งที่เพิ่มขึ้นสูงมากนี้เป็นผลมาจาก เมื่อเติมธาตุไทเทเนียมไนไตรด์ (Titanium Nitride) เข้าไปจะทำให้ค่าความแข็งสูงขึ้น เนื่องจากการเคลือบในระดับนาโนจะถูกฝังเข้าไปในโครงสร้างพื้น Amorphous และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และส่งผลให้ขอบเกรนมีความละเอียดเพิ่มขึ้น

4.3 ผลการความล้าจะเห็นได้ว่าแนวโน้มของกราฟมีลักษณะลดลงเป็นเส้นโค้ง เมื่อใช้น้ำหนักถ่วงเท่ากับ 20 N โดยจำนวนรอบที่นับได้สูงที่สุดของสาร TiN อยู่ที่ 2,015,264 รอบ และ Oil Quenching อยู่ที่ 1,521,942 รอบ มีค่าแตกต่างกัน 32.41% และเมื่อใช้น้ำหนักถ่วงเท่ากับ 30 N จำนวนรอบที่นับได้น้อยที่สุดของสาร TiN อยู่ที่ 1,060,216 รอบ และ Oil Quenching อยู่ที่ 724,146 รอบ มีค่าแตกต่างกัน 46.40% จึงสรุปได้ว่าชิ้นงานที่เคลือบสาร TiN มีอายุการใช้งานที่มากกว่า Oil Quenching

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 of AlCrTiSiN Coatings Developed by Cathodic Arc for Protection Applications.” Solid State Phenomena, vol. 185, 2012, pp. 81-83.
- [3] ISO 1143. (2024, October 20). Metallic materials — Rotating bar bending fatigue testing [Online]. Available: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/79575/71ce80272d3a4ce4920ea96f0a7894df/ISO-1143-2021.pdf>
- [4] 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/>
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.