

Wear Resistance of Vanadium Carbide Coating Layer Coated by TD Process

Fusak BOONYAGULSRIROONG¹, and Prasonk SRICHAROENCHAI²

¹ Metallurgy and Materials Science Research Institute, Chulalongkorn University

² Department of Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Abstract

The wear resistance of D2 cold work tool steel, which was uncoated and coated with vanadium carbide, was studied with a block on ring tester by sliding with AISI 1020 carbon steel. The normal load was in the range of 4 to 12 kilograms. The disk speed was in the range of 1.3 to 6.8 meters per second and the testing distance was in the range of 0 to 8,250 meters. The test was done at ambient temperature and under atmospheric condition. The wear trace after testing was investigated by optical and scanning electron microscope. The result of experiment showed that, at the testing distance of 3,180 meters and the disk speed of 1.3 meters per second, the wear of D2 steel at the normal load of 12 kilograms was severe wear and plastic deformation founded in wear trace. While at the normal load of 4 and 8 kilograms mild wear was happened and plastic deformation was not founded in wear trace. The continuous sliding had more weight loss than discontinuous sliding and clearly groove that was abrasive wear occurred while the discontinuous sliding did not exhibited abrasive wear. The wear of vanadium carbide coating layer at normal load 4 to 12 kilograms was not severe wear and weight loss by the continuous sliding wear was lower than that by the discontinuous sliding wear. The continuous sliding, which had characteristic of sliding between vanadium carbide layer and carbide debris, resulted in lower friction coefficient and wear than discontinuous sliding which had characteristic of sliding between vanadium carbide layer and carbon steel disk. The coating layer can reduce wear at every normal load. At the normal load of 12 kilograms, the coating layer can reduce wear more than that at normal load of 4 and 8 kilograms. The coating layer can reduce wear rate when normal load increased due to high hardness, low friction coefficient and strong adhesion with substrate of the coating layer. Even though the coating was crack, wear was reduce significantly.

ความต้านทานการสึกหรอของชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์ที่เคลือบ ด้วยกระบวนการ TD

ฟูศักดิ์ บุญยกุลศรีรุ่ง¹, และประสงค์ ศรีเจริญชัย²

¹สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

²ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ความต้านทานการสึกหรอของเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น D2 ที่ไม่เคลือบผิวและเคลือบผิวเป็นวานเนเดียมคาร์ไบด์ ได้รับการศึกษาโดยใช้เครื่องมือทดสอบแบบ block on ring ด้วยการเสียดสีกับเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1020 ที่น้ำหนักกดในช่วง 4 ถึง 12 กิโลกรัม ความเร็วการทดสอบในช่วง 1.3 ถึง 6.8 เมตรต่อวินาทีและระยะทางทดสอบอยู่ในช่วง 0 ถึง 8250 เมตร ที่อุณหภูมิห้องภายใต้ภาวะบรรยากาศ ภายหลังจากการทดสอบตรวจสอบรอยเสียดสีด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด ผลการทดสอบพบว่าที่ระยะทางการทดสอบ 3180 เมตร ความเร็วงาน 1.3 เมตรต่อวินาที การสึกหรอของเหล็กกล้า D2 ที่น้ำหนักกด 12 กิโลกรัม เกิดการสึกหรอแบบรุนแรงและพบการแปรรูปแบบพลาสติกที่รอยเสียดสี ขณะที่น้ำหนักกด 4 และ 8 กิโลกรัม เกิดการสึกหรอแบบไม่รุนแรงและไม่พบการแปรรูปแบบพลาสติกที่รอยเสียดสี การเสียดสี แบบต่อเนื่องมีน้ำหนักที่หายไปจากการสึกหรอสูงกว่าแบบเป็นช่วง และพบรอยเสียดสีเป็นร่องชัดเจนซึ่งเป็นการสึกหรอแบบ abrasive wear ขณะที่การเสียดสีแบบเป็นช่วงไม่พบการสึกหรอแบบ abrasive wear การสึกหรอของชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์ที่น้ำหนักกด 4 ถึง 12 กิโลกรัม ไม่เป็นการสึกหรอแบบรุนแรง และน้ำหนักที่หายไปโดยการสึกหรอแบบเสียดสีต่อเนื่อง ต่ำกว่าแบบเป็นช่วงการเสียดสีแบบต่อเนื่อง มีลักษณะการเสียดสีเป็นแบบชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์เสียดสีกับเศษคาร์ไบด์ ซึ่งมีผลทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต่ำกว่า จึงมีการสึกหรอที่น้อยกว่าการเสียดสีแบบเป็นช่วง ซึ่งมีลักษณะการเสียดสีแบบชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์เสียดสีกับงานเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1020 ชั้นเคลือบสามารถลดการสึกหรอของเหล็กกล้า D2 ได้ทุกค่าน้ำหนักกดที่ใช้ทดสอบที่น้ำหนักกด 12 กิโลกรัม ชั้นเคลือบลดการสึกหรอได้มากกว่าที่น้ำหนักกด 4 และ 8 กิโลกรัม โดยชั้นเคลือบลดความเร็วการสึกหรอเมื่อน้ำหนักกดเพิ่มขึ้นเนื่องจากความแข็งที่สูงมากของชั้นเคลือบ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำและการติดแน่นกับโลหะพื้นแม่ชั้นเคลือบแตกออกก็ยังคงติดแน่นทำให้ชั้นเคลือบลดการสึกหรอได้มาก

คำนำ

ในอุตสาหกรรมการเคลือบผิวแม่พิมพ์ เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานนั้นมีเทคนิคในการเคลือบผิวอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น การทำไนไตรดิง (Nitriding), การทำบอริดิง (Boriding), การเคลือบผิวโดยใช้ไอทางเคมี (CVD) การเคลือบผิวโดยใช้ไอทางกายภาพ (PVD) และการเคลือบและแพร่ซึมด้วยปฏิกิริยาทางความร้อน (TRD) เป็นต้นทุกวิธีดังที่เคลือบ เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของแม่พิมพ์

เพื่อให้มีคุณสมบัติทนทานต่อแรงกระแทก และการสึกหรอได้ดีขึ้น

โดยทั่วไปลักษณะการทำงานของแม่พิมพ์ถูกกระทำด้วยแรงกระแทกในขณะที่ทำการแปรรูปวัสดุและเกิดการเสียดสีไถล (sliding) ระหว่างผิวสัมผัสของแม่พิมพ์ และชิ้นงานที่ป้อนขึ้นรูป เป็นสาเหตุให้เกิดการสึกหรอและการสูญเสียเนื้อวัสดุขึ้นระหว่างผิวหน้าสัมผัสที่ถูกกระทำจากแรงทางกลและการไถลเสียดสี

Wear Resistance of Vanadium Carbide Coating Layer.

กระบวนการ TD (Toyota Diffusion Coating Process) เป็นวิธีเคลือบผิววิธีหนึ่งของ TRD ชั้นเคลือบที่สามารถทำได้ด้วยกระบวนการ TD (Arai, *et al.* 1991) มีชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์, ไนโอเบียมคาร์ไบด์, ไทเทเนียมคาร์ไบด์, โครเมียมคาร์ไบด์ เป็นต้น กระบวนการ TD เป็นการเคลือบที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาของธาตุ ที่มีการรวมตัว (affinity) สูงกับธาตุคาร์บอน สร้างชั้นคาร์ไบด์ที่ผิวชั้นงานกับคาร์บอนที่แพร่ซึมมาที่ผิวจนได้ชั้นเคลือบที่มีความหนาสม่ำเสมอ ชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์นี้ให้ผิวเคลือบที่มีความแข็งแรงมากกว่า 2000 วิกเกอร์ (ประสงค์ ศรีเจริญชัย และคณะ, 2540) ซึ่งชั้นเคลือบนี้มีความแข็งแรงมากกว่าเหล็กกล้าที่ชุบแข็งและอบคืนตัวมาอย่างน้อยสองเท่าขึ้นไป เพื่อให้ทนทานการเสียดสีได้ดี ซึ่งความต้านทานการสึกหรอของชั้นเคลือบขึ้นกับน้ำหนักกดและความเร็วที่กระทำระหว่างผิวชั้นเคลือบและวัสดุคู่เสียดสี

การสึกหรอที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ ส่วนหนึ่งเป็นการสึกหรอแบบไถลเสียดสี (sliding wear) ซึ่งเกิดจากการไถลเสียดสีระหว่างแม่พิมพ์กับชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปโดยมากเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน งานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาผลของความต้านทานการสึกหรอของเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น ที่ผ่านการเคลือบผิวเป็นวานาเดียมคาร์ไบด์เสียดสีกับเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI 1020 เพื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าที่ชุบแข็งและอบคืนตัวมาแต่ไม่เคลือบผิวด้วยเครื่องมือทดสอบการสึกหรอแบบ block-on-ring โดยศึกษาอิทธิพลของ น้ำหนักกดต่อการเสียดสีของผิววัสดุทั้งสอง และพฤติกรรม การเสียดสีที่เกิดขึ้นด้วยกลองจุลทรรศน์แบบแสง และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด เนื่องจากพฤติกรรมและลักษณะการสึกหรอของเหล็กกล้า ที่ผ่านการเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ด้วยกระบวนการ TD ยังมีข้อมูลน้อย การศึกษานี้จึงมีส่วนช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมและลักษณะการสึกหรอ เพื่อใช้เป็นประโยชน์ในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

วิธีการทดลอง

ชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็นเกรด D2 ซึ่งมี ส่วนผสมทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 ถูกตัดให้มีรูปร่างสี่เหลี่ยมขนาด 25 x 25 x 10 มิลลิเมตร ผ่านการเตรียมผิวให้สะอาด โดยการขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายจนถึงเบอร์ 600 จากนั้นถูกนำมาเคลือบผิวให้เป็นวานาเดียมคาร์ไบด์ด้วยกระบวนการ TD จนได้ความหนาชั้นเคลือบประมาณ 7 ไมครอน ส่วนการเตรียมชิ้นงานที่ชุบแข็งแต่ไม่ได้เคลือบผิวได้ทำการชุบแข็งชิ้นงานในเตาอบชุบ โดยทำการอุ่นชิ้นงานที่อุณหภูมิ 650 °C และอุณหภูมิ 850 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วอบให้ร้อนขึ้นไปถึงอุณหภูมิ 1000 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จึงปล่อยให้เย็นตัวในอากาศแล้วอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 520 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 2 ครั้ง ชิ้นงานผ่านการขัดด้วยกระดาษทรายจนถึงเบอร์ 600 เพื่อให้มีความหยาบผิวชิ้นงานมีค่าใกล้เคียงกันก่อนนำไปใช้ในการทดสอบการเสียดสีต่อไป

เหล็กกล้าที่ใช้เป็นคู่ทดสอบการเสียดสีเป็นเหล็กกล้าเกรด AISI 1020 ที่มีส่วนผสมทางเคมีตามตารางที่ 1 รูปร่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร หนา 20 มิลลิเมตร เรียกว่าจาน ใช้ทดสอบการเสียดสีกับเหล็กกล้าที่ผ่านการเคลือบผิวเป็นวานาเดียมคาร์ไบด์ และเหล็กกล้าที่ผ่านการชุบแข็งแต่ไม่เคลือบผิว ความแข็งที่น้ำหนักกด 500 กรัมของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งมาแต่ไม่เคลือบผิวมีค่าเป็น 560 วิกเกอร์ ส่วนงานที่ใช้ทดสอบมีความแข็งเป็น 260 วิกเกอร์ และความแข็งที่น้ำหนักกด 25 กรัมของชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวเป็นวานาเดียมคาร์ไบด์มีค่าเป็น 2630 วิกเกอร์

เครื่องมือทดสอบการเสียดสีมาจากการปรับปรุงเครื่องกลึงขนาดเล็กดังแสดงในรูปที่ 1 เป็นการทดสอบการเสียดสีแบบ block-on-ring โดยใช้จานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร หนา 20 มิลลิเมตร ซึ่งทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI 1020 ที่มีแกนกลางลักษณะการสัมผัสระหว่างจานกับชิ้นงานทดสอบเป็นแบบผิวโค้งจานสัมผัสกับผิวราบของชิ้นงานทดสอบ ซึ่งรูปแบบการสัมผัสเป็นแบบ Counterformal Contact กล่าวคือลักษณะของชิ้นงานทดสอบสัมผัสกับจานแบบไม่เต็มผิวหน้าสัมผัสก่อนการทดสอบการเสียดสี

สภาวะที่ใช้ทดสอบการเสียดสีคือการทดสอบ ภายใต้สภาวะบรรยากาศที่อุณหภูมิห้องโดยใช้น้ำหนักกด 4 กิโลกรัม, 8 กิโลกรัม และ 12 กิโลกรัม ในกรณีการทดสอบการเสียดสีแบบเป็นช่วง มีระยะทางการทดสอบการเสียดสีอยู่ในช่วง 79.5 เมตร ถึง 3180 เมตร กล่าวคือมีการหยุดการทดสอบเพื่อวัดค่าการสึกหรอเป็นระยะๆ ระหว่างระยะทางการทดสอบจาก 79.5 เมตร ถึง 3180 เมตร ส่วนในกรณีการทดสอบเสียดสีแบบต่อเนื่อง กล่าวคือทดสอบการเสียดสีจนสิ้นสุดระยะทางการทดสอบจึงหยุดการทดสอบเพื่อวัดค่าการสึกหรอและระยะทางที่ใช้ทดสอบคือ 795 เมตร, 1590 เมตร, 3180 เมตร และ 8250 เมตร ความเร็วเชิงเส้นงานที่ใช้ทดสอบคือ 1.3 เมตรต่อวินาที

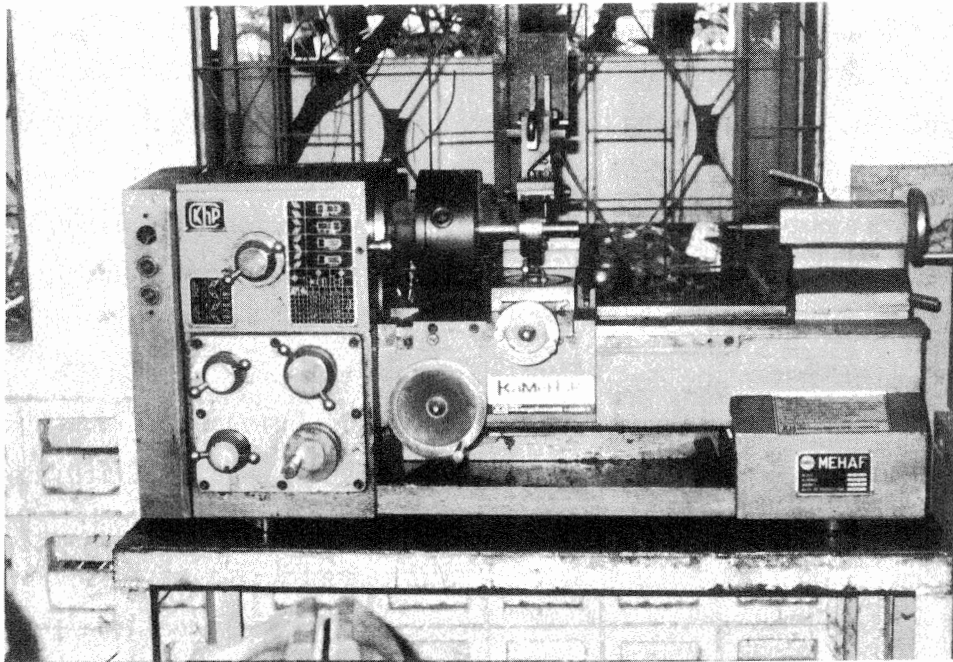
ขั้นตอนการทดสอบการเสียดสีเริ่มจากทำความสะอาดชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิค จากนั้นชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนการทดสอบด้วย เครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.0001 กรัม ผิวงานผ่านการเตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 240 แล้วทำความสะอาดด้วยการเช็ดด้วยอะซิโตน และวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางงานด้วย

เวอร์เนียคาลิปเปอร์ สำหรับคำนวณระยะทางการเสียดสี จากนั้นนำไปทดสอบการเสียดสีตามเงื่อนไขที่กำหนดหลังการทดสอบการเสียดสีแล้วมาทำความสะอาดแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้งการสึกหรอเสียดสีใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

การทดลองและการอภิปราย

ลักษณะการสึกหรอ

รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักที่หายไปกับระยะทางการทดสอบการเสียดสีของชิ้นงานเหล็กกล้า D2 ที่ไม่ได้เคลือบผิว ที่ความเร็วเชิงเส้นของงานเป็น 1.3 เมตรต่อวินาที กรณีการทดสอบแบบเป็นช่วงที่น้ำหนักกดชิ้นงาน 4 - 12 กิโลกรัม จะเห็นว่าที่น้ำหนักกด 4 และ 8 กิโลกรัม ช่วงระยะทางทดสอบจาก 0 ถึง 1272 เมตร ความเร็วของน้ำหนักที่หายไปมีค่าเป็น 1.31×10^{-5} กรัมต่อเมตร และ 1.72×10^{-5} กรัมต่อเมตร ตามลำดับ จากนั้นความเร็วของน้ำหนักที่หายไปมีค่าลดลง



รูปที่ 1 เครื่องทดสอบการเสียดสี

Wear Resistance of Vanadium Carbide Coating Layer.

เหลือค่าเป็น 5.81×10^{-6} กรัมต่อเมตร และ 9.34×10^{-6} กรัมต่อเมตร ตามลำดับ แต่ที่น้ำหนักกด 12 กิโลกรัม การสึกหรอที่เกิดขึ้นมีค่าสูงกว่าน้ำหนักกด 4 และ 8 กิโลกรัม ตั้งแต่ระยะทางเริ่มต้นการทดสอบจาก 0 ถึง 3180 เมตร โดยความเร็วของ น้ำหนักที่หายไปมีค่าเป็น 2.72×10^{-5} กรัมต่อเมตร จะเห็นว่าที่น้ำหนักกด 4 และ 8 กิโลกรัม มีความชันของน้ำหนักที่หายไปแบ่งออกเป็นสองช่วง ซึ่งความชันช่วงแรกเป็นช่วงที่ผิวหน้าของชิ้นงานทดสอบเสียดสีกับพื้นผิวรอบงานเพื่อปรับผิวหน้าให้เข้าหากัน (Eyre and Maynard, 1971) เป็นพฤติกรรมการสึกหรอที่สังเกตได้ในช่วงแรกของการไถลเสียดสีเรียกว่าช่วง running-in อัตราการสึกหรอมีค่ามาก อัตราการสึกหรอในช่วงหลังช้าลง เนื่องจาก เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับรอยเสียดสีของเหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิวระหว่างการทดสอบเกิดเป็นชั้นออกไซด์ขึ้นซึ่งช่วยลดการสึกหรอและแรงเสียดทาน ที่น้ำหนักกด 12 กิโลกรัม มีความเร็วการสึกหรอมากตั้งแต่ระยะทางเริ่มต้นการทดสอบจาก 0 ถึง 3180 เมตร นั้นอาจเป็นเพราะว่าน้ำหนักกดสูงสามารถทำลายชั้นออกไซด์ให้แตกและหลุดออกมาพร้อมกับเศษโลหะที่ถูกเสียดสีเกิดการสึกหรอขึ้น เมื่อดูจากภาคตัดขวางรอยเสียดสีของเหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิวที่น้ำหนักกด 4 กิโลกรัม พบว่าผิวเนื้อโลหะบริเวณรอยเสียดสีไม่เกิดการแปรรูปแบบพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 3ก) ซึ่งลักษณะการสึกหรอที่เกิดขึ้นนั้นเป็นการสึกหรอแบบไม่รุนแรง ขณะที่การทดสอบที่น้ำหนักกดขนาด 12 กิโลกรัม นั้น ผิวเนื้อโลหะบริเวณรอยเสียดสีเกิดการแปรรูปแบบพลาสติก สังเกตได้จากที่ผิวด้านบนของเนื้อเหล็ก D2 ถูกเบียดลู่ไปตามทิศทางการไถล โดยมีทิศทางการไถลจากซ้ายไปขวา ดังแสดงในรูปที่ 3 ข) ซึ่งลักษณะการสึกหรอที่เกิดขึ้นนั้นเป็นการสึกหรอแบบรุนแรง (Hedengquist and Olsson, 1991) กล่าวได้ว่าสภาวะการทดสอบที่น้ำหนักกด 4 และ 8 กิโลกรัม เกิดการสึกหรอแบบไม่รุนแรง และที่น้ำหนักกด 12 กิโลกรัม เกิดการสึกหรอแบบรุนแรงจากการศึกษาของ Eyre (Eyre and Maynard, 1971) พบว่าเมื่อทดสอบที่น้ำหนักกดต่ำการสึกหรอไม่รุนแรงมีอัตราการสึกหรอต่ำ แต่ที่น้ำหนักกดค่าหนึ่งขึ้นไปการสึกหรอเปลี่ยนไปเป็นแบบรุนแรงมีอัตราการสึกหรอเพิ่มขึ้นสูง โดยอัตราการ

สึกหรอแบบรุนแรงมีค่าไม่ต่ำกว่า 10 เท่าของอัตราการสึกหรอแบบไม่รุนแรงโดยอัตราการสึกหรอที่หาได้เป็นการวัดการสึกหรอของชิ้นงานทดสอบที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าเสียดสีกับงานที่มีความแข็งแรงมากกว่า อย่างไรก็ตามการทดลองนี้วัดการสึกหรอของชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้า D2 ที่มีความแข็งแรงมากกว่าความแข็งแรงของงานที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1020 และ น้ำหนักกดที่ใช้ทดลองมีค่าเพียง 3 ค่าเท่านั้นแต่ก็พบลักษณะของการสึกหรอแบบรุนแรงที่น้ำหนักกด 12 กิโลกรัม และการสึกหรอแบบไม่รุนแรงที่ น้ำหนักกด 4 และ 8 กิโลกรัมแสดงว่า ช่วงระยะจากน้ำหนักกด 8 ถึง 12 กิโลกรัม มีค่าน้ำหนักกดที่เปลี่ยนการสึกหรอแบบไม่รุนแรงเป็นแบบรุนแรง

เมื่อน้ำหนักกดที่ใช้ในการทดสอบเพิ่มขึ้นน้ำหนักที่หายไปจากการสึกหรอก็เพิ่มขึ้น โดยการสึกหรอที่เพิ่มขึ้นจากน้ำหนักกด 4 กิโลกรัมเป็น 8 กิโลกรัม ไม่มากเท่ากับเมื่อเพิ่มน้ำหนักกดจาก 8 กิโลกรัม เป็น 12 กิโลกรัม เช่นที่ระยะทางการทดสอบการเสียดสี 3180 เมตร น้ำหนักกด 4, 8 และ 12 กิโลกรัม ทำให้เกิดการสึกหรอไป 0.0313 กรัม 0.0498 กรัม และ 0.0892 กรัม ตามลำดับ การสึกหรอที่เพิ่มขึ้นจากน้ำหนักกด 4 กิโลกรัมเป็น 8 กิโลกรัม คือ 0.0185 กรัม และการสึกหรอที่เพิ่มขึ้นจากน้ำหนักกด 8 กิโลกรัม เป็น 12 กิโลกรัม คือ 0.0394 กรัม กล่าวได้ว่า น้ำหนักกดมีอิทธิพลต่อการสึกหรอเมื่อน้ำหนักกดเพิ่มขึ้นการสึกหรอเพิ่มขึ้น โดยที่น้ำหนักกดต่ำขนาด 4 และ 8 กิโลกรัม น้ำหนักที่หายไปจากการ สึกหรอต่ำเพียง 0.0313 กรัม และ 0.0498 กรัม ตามลำดับ เมื่อทดสอบที่น้ำหนักกดสูงขนาด 12 กิโลกรัม น้ำหนักที่หายไปจากการสึกหรอสูงถึง 0.0892 กรัม ทั้งนี้การทดสอบที่น้ำหนักกดสูง 12 กิโลกรัมเกิดการสึกหรอแบบรุนแรงขณะที่การทดสอบที่น้ำหนักกด 4 และ 8 กิโลกรัม เกิดการสึกหรอแบบไม่รุนแรงมีน้ำหนักที่หายไปน้อยกว่ากันมาก

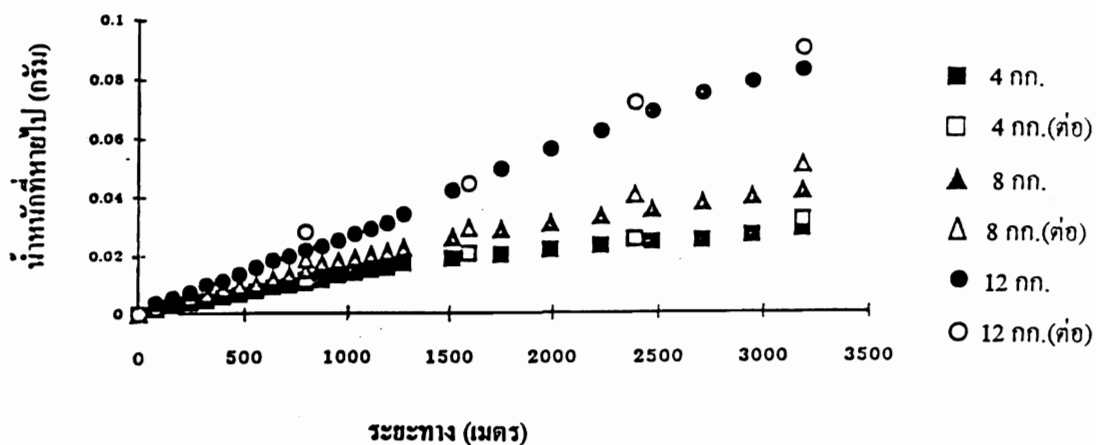
สำหรับกรณีการทดสอบแบบต่อเนื่องของ เหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิว ที่ระยะทางการทดสอบ 795, 1590, 2385 และ 3180 เมตร พบว่าที่น้ำหนักกดทั้ง 3 ค่า น้ำหนักที่หายไปจากการสึกหรอกรณีการทดสอบแบบต่อเนื่องมีค่าสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกรณีการทดสอบแบบเป็นช่วง เมื่อทำการ

ศึกษาลักษณะรอยเสียดสีกรณีการทดสอบแบบต่อเนื่องที่ น้ำหนักกด 4 กิโลกรัม ระยะทางการทดสอบ 3180 เมตร พบว่า ลักษณะรอยเสียดสีเกิดร่องขึ้นมาก ดังแสดงในรูปที่ 4ก) ขณะที่ ลักษณะรอยเสียดสีกรณีการทดสอบแบบเป็นช่วง พบว่ารอยเสียดสีมีความขรุขระ มีลักษณะการเกาะติดของเนื้อโลหะบริเวณรอยเสียดสี ซึ่งผิวที่ขรุขระหรือการเกาะติดนี้คงเป็นเป็นเนื้อโลหะจากงาน ดังแสดงในรูปที่ 4ข) การเสียดสีแบบต่อเนื่องนั้นเศษโลหะเศษคาร์ไบด์อาจสะสมอยู่ระหว่างผิว

เหล็กกล้า D2 และงาน ความแข็งของเศษคาร์ไบด์นี้มีความแข็งมากกว่าเนื้อเหล็ก D2 ทำให้เกิดการเสียดสีจนผิวชิ้นงานเหล็กกล้า D2 สึกหรือเป็นร่องแบบ abrasive wear ในขณะที่การเสียดสีแบบเป็นช่วงนั้น ไม่เกิดการสะสมของเศษโลหะเศษคาร์ไบด์ระหว่างผิวเหล็กกล้า D2 กับงานทำให้การสึกหรือบริเวณรอยเสียดสีมีลักษณะขรุขระ และการเกาะติดของเนื้อโลหะไม่เป็นร่องเหมือนกรณีเสียดสีแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้า D2 กับ AISI 1020 (% โดยน้ำหนัก)

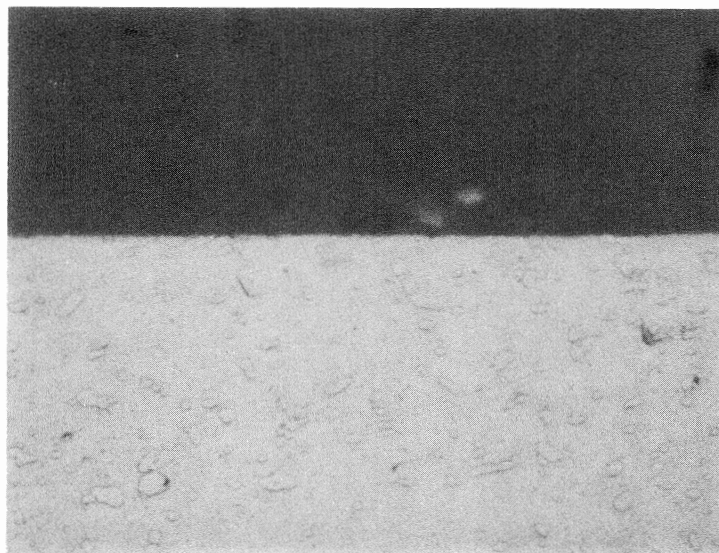
เหล็กกล้า	ส่วนผสมทางเคมี							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
D2	1.13	0.323	0.0317	0.031	0.04	11.8	0.759	1.07
AISI 1020	0.181	0.086	0.444	0.024	0.029	0.013	0.007	<0.001



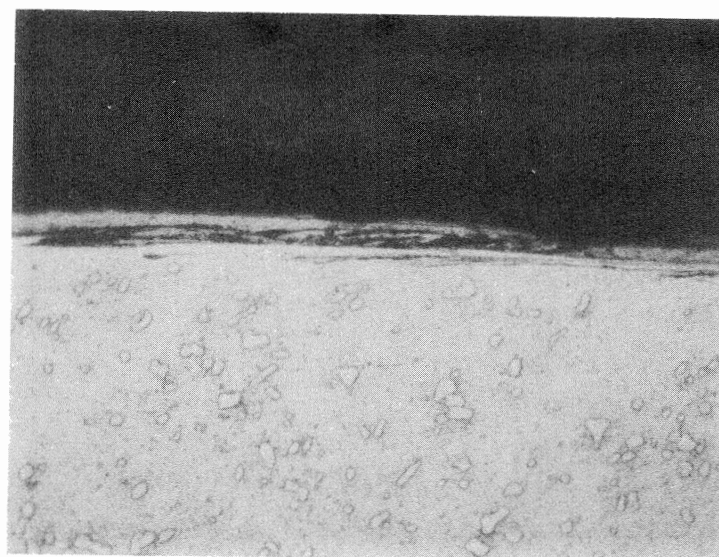
รูปที่ 2 การสึกหรอของเหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิวที่สภาวะการทดสอบน้ำหนักกด 4 กิโลกรัม, 8 กิโลกรัม และ 12 กิโลกรัม ความเร็วเชิงเส้นงาน 1.3 เมตรต่อวินาที

Wear Resistance of Vanadium Carbide Coating Layer.

ก)

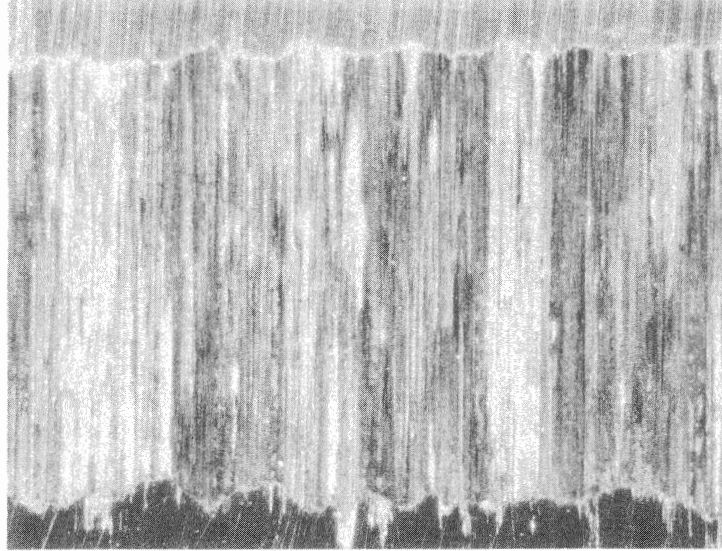


ข)

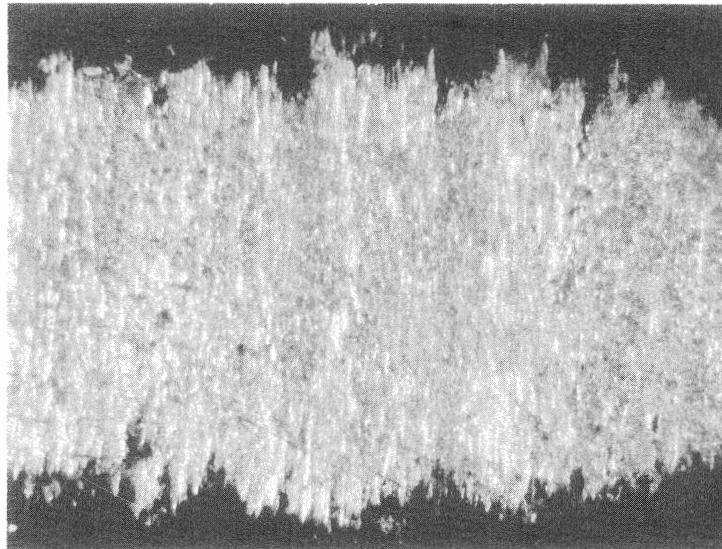


รูปที่ 3 ลักษณะการสึกหรอของเหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิว ที่ระยะทางการทดสอบ 3180 เมตร ความเร็วงาน 1.3 เมตรต่อวินาที
ก) การสึกหรอแบบไม่รุนแรง (น้ำหนักกด 4 กก.) ข) การสึกหรอแบบรุนแรง (น้ำหนักกด 12 กก. ขนาดถังขยาย 500 เท่า)

ก)



ข)



รูปที่ 4 ลักษณะการสีกหรือของเหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิว สภาวะการทดสอบที่น้ำหนักกด 4 กก.ระยะทางการทดสอบ 3180 เมตร ความเร็วงาน 1.3 เมตรต่อวินาที ก) การเสียดสีแบบต่อเนื่อง ข) การเสียดสีแบบเป็นช่วง ขนาดกำลังขยาย 0.67 เท่า

Wear Resistance of Vanadium Carbide Coating Layer.

ความต้านทานการสึกหรอของชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักที่หายไปกับระยะทางการทดสอบการเสียดสีของชิ้นงานที่เคลือบผิวเป็นวานาเดียมคาร์ไบด์ ที่ความเร็วเชิงเส้นของจานเป็น 1.3 เมตรต่อวินาที กรณีการทดสอบแบบเป็นช่วงที่น้ำหนักกดชิ้นงาน 4, 8 และ 12 กิโลกรัม พบว่าน้ำหนักกดทั้ง 3 ค่า ในช่วงแรกของระยะทางทดสอบจาก 0 ถึง 1272 เมตร มีความเร็วของน้ำหนักที่หายไปเป็น 4.87×10^{-6} กรัมต่อเมตร, 7.63×10^{-6} กรัมต่อเมตร และ 9.28×10^{-6} กรัมต่อเมตรตามลำดับ ส่วนในช่วงของระยะทางทดสอบจาก 1272 เมตร ถึง 3180 เมตร มีความเร็วของน้ำหนักที่หายไปเป็น 1.62×10^{-6} กรัมต่อเมตร, 2.41×10^{-6} กรัมต่อเมตร และ 4.41×10^{-6} กรัมต่อเมตรตามลำดับ จะเห็นว่าค่าการสึกหรอเร็วในช่วงแรกคือช่วงระยะทางทดสอบจาก 0 ถึง 1272 เมตร และช้าลงในช่วงหลังตั้งแต่ระยะทางทดสอบประมาณ 1272 เมตรขึ้นไป เนื่องจากรูปแบบการเสียดสีที่สัมพันธ์กันเป็นแบบชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์-โลหะ ในขณะที่รูปแบบการเสียดสีงานของ Czichos (1992) เป็นแบบโลหะ-โลหะ ดังนั้นพฤติกรรมการสึกหรอต่างกันเหตุผลหนึ่งเป็นเพราะว่า ความแข็งของผิวเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ มีความแข็งมากกว่าเหล็กกล้า D2 มาก และอีกเหตุผลหนึ่งเป็นเพราะผิวเคลือบพวกคาร์ไบด์มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต่ำกว่าผิวเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์นี้ น้ำหนักที่หายไปเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักกดเพิ่มขึ้นจาก 4 กิโลกรัมเป็น 8 กิโลกรัม ใกล้เคียงกับเมื่อน้ำหนักกดเพิ่มขึ้นจาก 8 กิโลกรัมเป็น 12 กิโลกรัม เมื่อสิ้นสุดที่ระยะทดสอบ 3180 เมตร โดยที่น้ำหนักกด 4, 8 และ 12 กิโลกรัม ทำให้เกิดการสึกหรอไป 0.0093 กรัม, 0.0143 กรัม, 0.0197 กรัมตามลำดับ การสึกหรอที่เพิ่มขึ้นจาก 4 กิโลกรัมเป็น 8 กิโลกรัม คือ 0.0050 กรัม การสึกหรอที่เพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 12 กิโลกรัม คือ 0.0054 กรัม จะพบว่าน้ำหนักกด 12 กิโลกรัมของชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ไม่เกิดการสึกหรอแบบรุนแรง เมื่อเทียบกับกรณีเหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิว จากการศึกษาของ Braza (1992) พบว่าชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่าเหล็กกล้าที่ไม่เคลือบผิว ดังนั้นชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์

ไบด์จึงลดแรงเสียดทาน ในการเสียดสีกับงานได้ดีกว่าเหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิวการสึกหรอของชั้นเคลือบจึงเกิดขึ้นน้อยกว่าเหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิว

ในกรณีการทดสอบแบบต่อเนื่องของชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ที่ระยะทางทดสอบ 795, 1590, 2385 และ 3180 เมตร พบว่าน้ำหนักกดทั้ง 3 ค่าน้ำหนักที่หายไปจากการสึกหรอน้อยกว่ากรณีการทดสอบแบบเป็นช่วงตลอดช่วงระยะทางการทดสอบทั้งหมด เมื่อสิ้นสุดระยะทางทดสอบ 3180 เมตร การทดสอบที่น้ำหนักกด 4, 8, และ 12 กิโลกรัม ทำให้เกิดการสึกหรอไป 0.0060 กรัม 0.0120 กรัม และ 0.0195 กรัม ตามลำดับ การสึกหรอที่เพิ่มขึ้นจากน้ำหนักกด 4 กิโลกรัมเป็น 8 กิโลกรัม คือ 0.0060 กรัม และการสึกหรอที่เพิ่มขึ้น จากน้ำหนักกด 8 กิโลกรัม เป็น 12 กิโลกรัม คือ 0.0075 กรัม การสึกหรอของชั้นเคลือบกรณีทดสอบแบบต่อเนื่องน้อยกว่ากรณีการทดสอบแบบเป็นช่วง ซึ่งในกรณีการทดสอบแบบต่อเนื่องนั้นเศษคาร์ไบด์ เกิดการสะสมระหว่างชิ้นงานกับงานทำให้การเสียดสีมีลักษณะคล้ายชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์เสียดสีกับเศษคาร์ไบด์ในขณะที่กรณีการทดสอบแบบเป็นช่วงนั้นไม่เกิดการสะสมของเศษคาร์ไบด์ ลักษณะการเสียดสีจึงเป็นแบบชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์เสียดสีกับงานเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1020 เนื่องจากว่าเศษคาร์ไบด์มีความแข็งมากกว่างานเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1020 มาก ดังนั้นลักษณะการสึกหรอจึงต่างกันซึ่งคู่เสียดสี ระหว่างคาร์ไบด์กับคาร์ไบด์นั้นมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่าคู่เสียดสีระหว่างคาร์ไบด์กับเหล็กกล้า (Jamal, 1997) จึงกล่าวได้ว่า การเสียดสีแบบต่อเนื่องมีลักษณะการเสียดสีเป็นแบบเศษคาร์ไบด์เสียดสีกับชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์นั้น มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่าการเสียดสีแบบเป็นช่วงที่มีลักษณะการเสียดสีเป็นแบบชั้นวานาเดียมคาร์ไบด์เสียดสีกับงานเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1020 ดังนั้นน้ำหนักที่หายไปจากการสึกหรอของชั้นเคลือบ กรณีการทดสอบแบบต่อเนื่องจึงน้อยกว่ากรณีการทดสอบแบบเป็นช่วง

เมื่อทำการศึกษาลักษณะรอยเสียดสีของเหล็กกล้าที่ผ่านการเคลือบผิวเป็นวานาเดียมคาร์ไบด์ และเหล็กกล้า D2

ที่ไม่เคลือบผิวด้วยกล่องจุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์แบบกวาด
กรณีการทดสอบแบบเป็นช่วงที่น้ำหนักกด 4 กิโลกรัม
ความเร็วเชิงเส้นงาน 1.3 เมตรต่อวินาที โดยศึกษาบริเวณกลาง
รอยเสียดสีพบว่าเหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิวมีลักษณะพื้นผิว
ขรุขระและเกิดการแยกชั้นเห็นได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูป
ที่ 6 ก) ในขณะที่เหล็กกล้าที่เคลือบผิวเป็นวานาเดียมคาร์ไบด์
ไม่เกิดการแยกชั้นขึ้น และพื้นผิวบริเวณรอยเสียดสีมีลักษณะที่
เรียบกว่า เหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิวดังแสดงในรูปที่ 6 ข)

เนื่องจากชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์มีความแข็ง
มากกว่าเหล็กกล้าที่ไม่เคลือบผิวมาก รวมทั้งมีค่าสัมประสิทธิ์
ความเสียดทานที่ต่ำ ทำให้ชั้นเคลือบมีความต้านทานแรงเฉือน
ได้มากกว่าเหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิว การสึกหรอที่เกิดขึ้น
จึงน้อยกว่าเหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิว

จากรูปที่ 2 เมื่อคำนวณอัตราการสึกหรอของเหล็ก
กล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิวความเร็วเชิงเส้นของงานคือ 1.3 เมตร
ต่อวินาที จากบริเวณที่ความลาดเป็นเส้นตรง ในช่วงระยะทาง
การทดสอบจาก 1272 เมตร ถึง 3180 เมตรได้ว่าที่น้ำหนักกด
ชิ้นงาน 4, 8 และ 12 กิโลกรัม ได้ค่าอัตราการสึกหรอเป็น
 5.81×10^{-6} , 9.34×10^{-5} และ 2.72×10^{-5} กรัมต่อเมตร ตามลำดับ
ดังแสดงในรูปที่ 7 เมื่อคำนวณอัตราการสึกหรอจากรูปที่ 5 ซึ่ง
เป็นกรณีเหล็กกล้าที่ผ่านการเคลือบผิวเป็นวานาเดียมคาร์ไบด์
ที่น้ำหนัก กดชิ้นงานเป็น 4, 8 และ 12 กิโลกรัม ได้ค่าอัตราการ
สึกหรอเป็น 1.62×10^{-6} , 2.41×10^{-6} และ 4.41×10^{-6} กรัมต่อเมตร
ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7 การสึกหรอของเหล็กกล้า D2
ที่ไม่เคลือบผิวเมื่อน้ำหนักกดชิ้นงานเพิ่มขึ้นจาก 4 กิโลกรัม
เป็น 12 กิโลกรัม ความเร็วการสึกหรอเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 4.7
เท่า การสึกหรอของเหล็กกล้าที่เคลือบผิว เมื่อน้ำหนักกดชิ้น
งานเพิ่มขึ้นจาก 4 กิโลกรัมเป็น 12 กิโลกรัม ความเร็วการ
สึกหรอเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 2.6 เท่า แสดงว่าน้ำหนักกดขนาด
12 กิโลกรัม มีอิทธิพลต่อเหล็กกล้า D2 ที่ไม่ได้เคลือบผิวมาก
กว่าชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ชั้นเคลือบลดอัตราการสึกหรอ
เมื่อน้ำหนักกดชิ้นงานเพิ่มขึ้นสูงขึ้นจากน้ำหนักกด 4 กิโลกรัม
เป็น 8 กิโลกรัม ซึ่งต่างจากเหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบที่อัตรา
การสึกหรอเพิ่มขึ้นเร็วในช่วงน้ำหนักกดชิ้นงาน 8 กิโลกรัม ถึง

12 กิโลกรัม ซึ่งจากคุณสมบัติของชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์
ที่มีความแข็งแรง และมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต่ำ ทำ
ให้ความเร็วการสึกหรอจึงเพิ่มขึ้นไม่มากเท่ากับเหล็กกล้า D2 ที่
ไม่เคลือบผิว

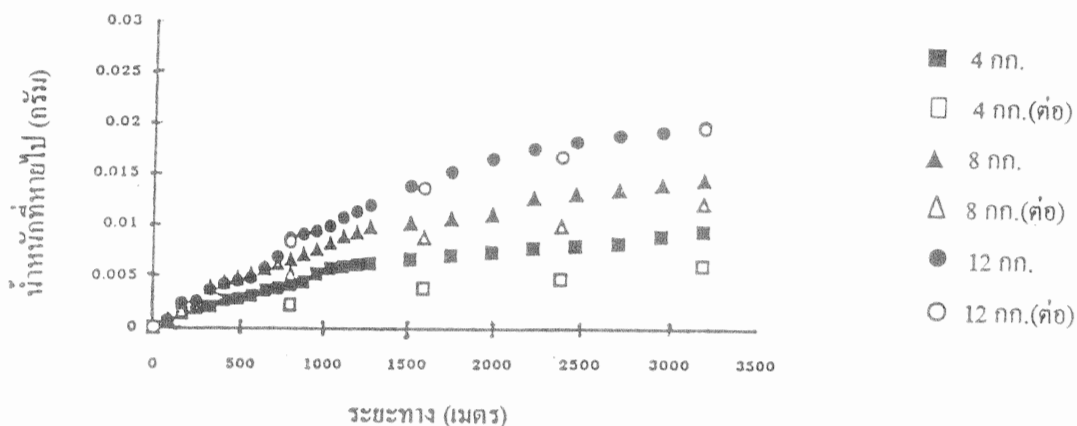
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักที่หายไปกับ
ระยะทางการทดสอบการเสียดสี โดยเปรียบเทียบการสึกหรอ
ของชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์กับเหล็กกล้า D2 ที่ไม่ได้
เคลือบผิว ด้วยความเร็วเชิงเส้นของงาน 1.3 เมตรต่อวินาที ที่
น้ำหนักกดชิ้นงาน 4, 8 และ 12 กิโลกรัม

จะเห็นว่าเมื่อระยะทางทดสอบการเสียดสีเท่ากัน
น้ำหนักที่หายไปของชั้นเคลือบมีค่าน้อยกว่าเหล็กกล้าที่ไม่ได้
เคลือบผิวในทุกกรณีของน้ำหนักกดชิ้นงานที่ระยะทางทดสอบ
3180 เมตร ที่น้ำหนักกด 4 กิโลกรัม น้ำหนักที่หายไปของเหล็ก
ที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิวเป็น 0.0093 กรัม และ 0.0281 กรัม
ตามลำดับ

การสึกหรอของเหล็กไม่เคลือบผิวคิดเป็น 3.0 เท่า
ของเหล็กเคลือบผิวเป็นวานาเดียมคาร์ไบด์ ที่น้ำหนักกด 8
กิโลกรัม น้ำหนักที่หายไปของเหล็กกล้าที่เคลือบผิวเป็น
วานาเดียมคาร์ไบด์และไม่เคลือบผิวเป็น 0.0143 กรัม และ
0.0410 กรัม ตามลำดับ การสึกหรอของเหล็กไม่เคลือบผิวคิด
เป็น 2.9 เท่าของเหล็กเคลือบผิวเป็นวานาเดียมคาร์ไบด์ และที่
น้ำหนักกด 12 กิโลกรัม น้ำหนักที่หายไปของเหล็กที่เคลือบผิว
และไม่เคลือบผิวเป็น 0.0197 กรัมและ 0.0819 กรัมตามลำดับ
การสึกหรอของเหล็กไม่เคลือบผิวคิดเป็น 4.2 เท่าของเหล็ก
เคลือบผิวจะเห็นว่าน้ำหนักกดสูง 12 กิโลกรัม เกิดการสึกหรอ
แบบรุนแรง ขณะที่ชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ไม่เกิดการสึก
หรอแบบรุนแรง

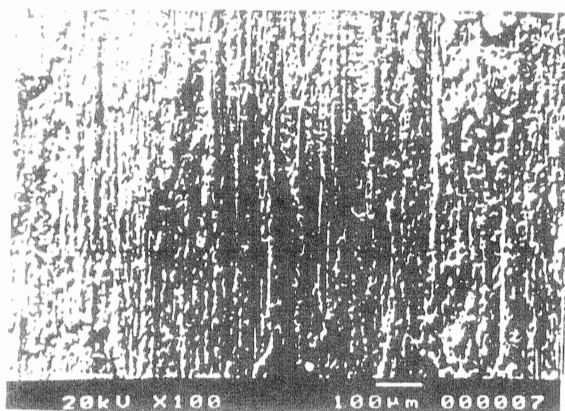
ดังนั้นการสึกหรอของเหล็กกล้าที่ไม่เคลือบผิวมีค่า
มากกว่าเหล็กกล้าที่เคลือบผิวเป็นวานาเดียมคาร์ไบด์มาก เมื่อ
เทียบกับที่น้ำหนักกดต่ำ 4 กิโลกรัม ทั้งนี้แสดงว่าชั้นเคลือบที่
เป็นชั้นวานาเดียมคาร์ไบด์ สามารถต้านทานการสึกหรอที่น้ำ
หนักกดขนาด 12 กิโลกรัม ได้ดีโดยชั้นเคลือบป้องกันการ
สึกหรอด้วยการช่วยลดแรงเสียดทาน มีความต้านทานแรง
เฉือนที่ กระทำกับผิวสัมผัส

Wear Resistance of Vanadium Carbide Coating Layer.

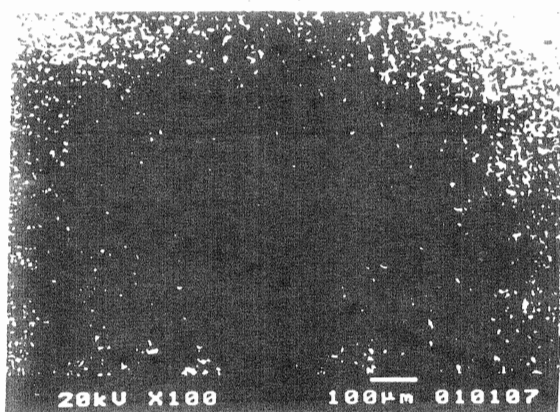


รูปที่ 5 การสึกหรอของเหล็กกล้าที่ผ่านการเคลือบผิวเป็นวานาเดียมคาร์ไบด์ สภาวะการทดสอบที่น้ำหนักกด 4, 8 และ 12 กก. ความเร็วเชิงเส้นงาน 1.3 เมตรต่อวินาที

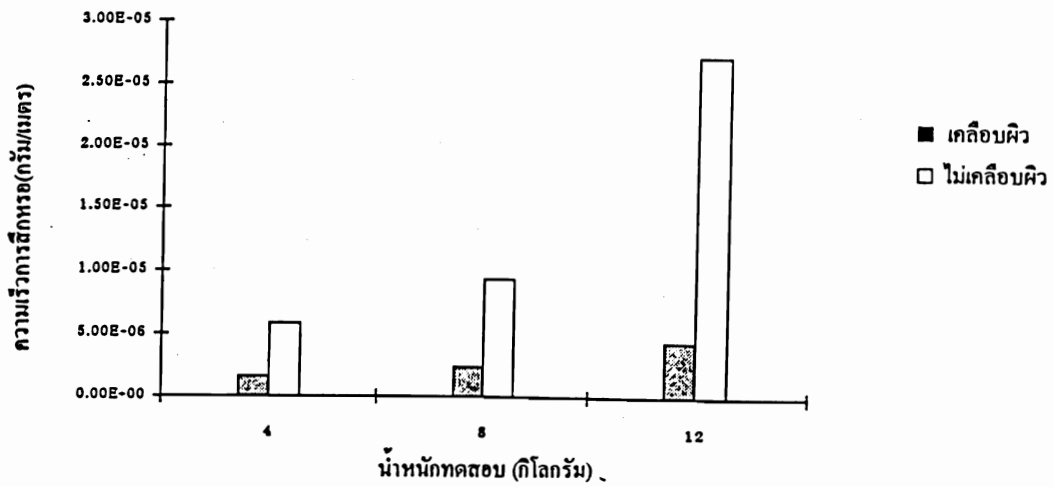
ก)



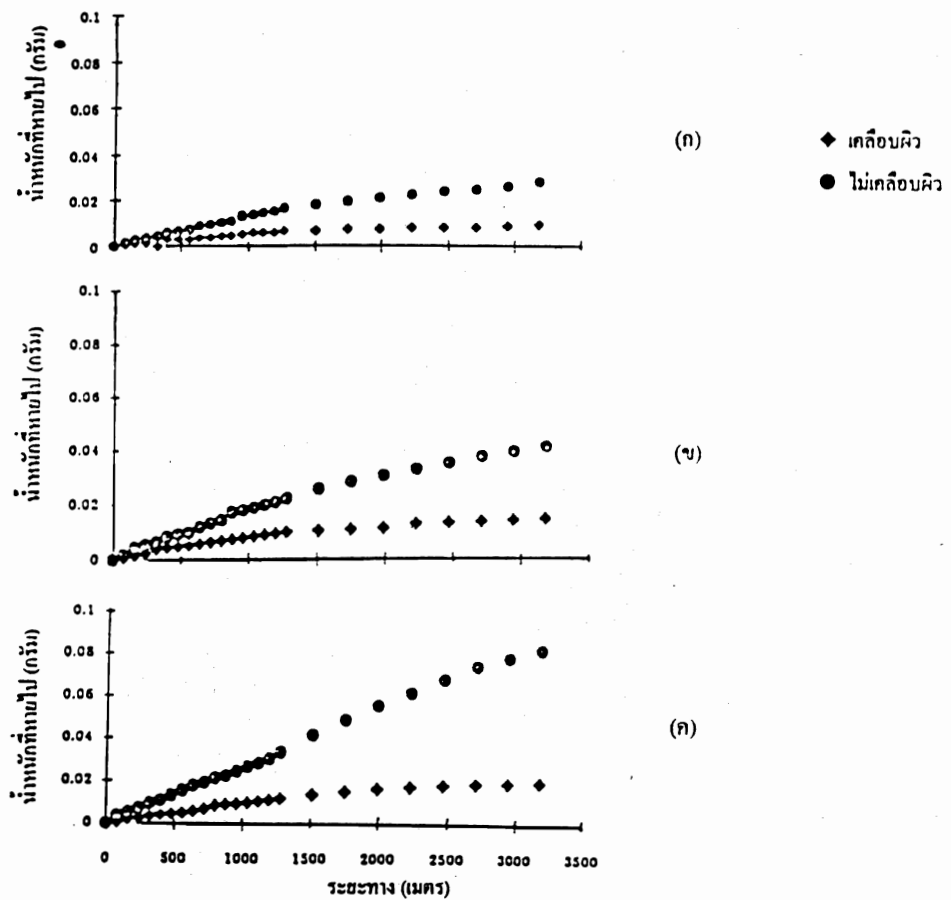
ข)



รูปที่ 6 ภาพ SEM ลักษณะการสึกหรอของเหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิวและเหล็กกล้าที่เคลือบผิวเป็นวานาเดียมคาร์ไบด์ กรณีการทดสอบแบบเป็นช่วง ความเร็วงาน 1.3 เมตรต่อวินาที ที่น้ำหนักกด 4 กก. ระยะทางการทดสอบ 3180 เมตร ก) ไม่เคลือบผิว ข) เคลือบผิว



รูปที่ 7 ความเร็วการสึกรอของเหล็กกล้าที่ผ่านการเคลือบผิวเป็นวานาเดียมคาร์ไบด์และไม่เคลือบผิว สภาวะการทดสอบที่น้ำหนักกด 4 กก., 8 กก. และ 12 กก. ความเร็วงาน 1.3 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 8 การสึกรอของเหล็กกล้าที่ผ่านการเคลือบผิวเป็นวานาเดียมคาร์ไบด์ และไม่เคลือบผิว สภาวะการทดสอบที่น้ำหนักกด (ก) 4 กก., (ข) 8 กก. และ (ค) 12 กก. ความเร็วเชิงเส้นงาน 1.3 เมตรต่อวินาที กรณีการทดสอบแบบเป็นช่วง

Wear Resistance of Vanadium Carbide Coating Layer.

ผลการทดลอง

ในการทดลองการสึกหรอของเหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิวและที่ผ่านการเคลือบผิวเป็นวานาเดียมคาร์ไบด์ โดยวิธีการทดสอบแบบ block-on-ring ที่น้ำหนักกดชิ้นงาน 4, 8 และ 12 กิโลกรัม ด้วยความเร็วเชิงเส้นงาน 1.3 เมตรต่อวินาทีได้ผลการทดสอบดังนี้

1. การสึกหรอของเหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิวด้วยความเร็วเชิงเส้นงาน 1.3 เมตรต่อวินาทีและระยะทางทดสอบ 3180 เมตร มีน้ำหนักที่หายไปเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักกดเพิ่มขึ้น โดยที่น้ำหนักกด 4 และ 8 กิโลกรัม มีช่วงการเกิด rumpling-in ในช่วงระยะทาง 0 ถึง 1272 เมตร จากนั้นพบการสึกหรอแบบไม่รุนแรงโดยรอยเสียดสีไม่พบการแปรรูปแบบพลาสติกขณะที่น้ำหนักกด 12 กิโลกรัม เกิดการสึกหรอแบบรุนแรงเสียดสีพบการแปรรูปแบบพลาสติก

2. น้ำหนักที่หายไปจากการสึกหรอของเหล็กกล้า D2 ในการทดสอบการเสียดสีแบบต่อเนื่องมากกว่าการเสียดสีแบบเป็นช่วงโดยการเสียดสีแบบต่อเนื่องพบรอยเสียดสีเป็นร่องชัดเจน ซึ่งเป็นการสึกหรอแบบ abrasive wear เกิดขึ้นอยู่ด้วย ขณะที่การเสียดสีแบบเป็นช่วงไม่พบการสึกหรอแบบ abrasive wear

3. การสึกหรอของชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ ด้วยความเร็วเชิงเส้นงาน 1.3 เมตรต่อวินาที และระยะทางทดสอบ 3180 เมตร การทดสอบที่น้ำหนักกด 4, 8 และ 12 กิโลกรัม ไม่เกิดการสึกหรอแบบรุนแรง น้ำหนักที่หายไปเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักกดเพิ่มขึ้นจาก 4 กิโลกรัมถึง 12 กิโลกรัม

4. น้ำหนักที่หายไปจากการสึกหรอของชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ การเสียดสีแบบต่อเนื่องน้อยกว่าการเสียดสีแบบเป็นช่วง การเสียดสีแบบต่อเนื่องมีลักษณะเป็นแบบชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์เสียดสีกับเศษคาร์ไบด์ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต่ำกว่าการเสียดสีแบบเป็นช่วงซึ่งมีลักษณะเป็นแบบชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์เสียดสีกับงานเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1020 จึงมีการสึกหรอน้อยกว่า

5. ชั้นเคลือบลดการสึกหรอของเหล็กกล้า D2 ได้ทุกค่าน้ำหนักที่ใช้ น้ำหนักกด 12 กิโลกรัม ชั้นเคลือบลดการสึกหรอได้มากกว่าที่น้ำหนักกด 4 และ 8 กิโลกรัม ชั้นเคลือบ

วานาเดียมคาร์ไบด์ ด้านทานการสึกหรอของเหล็กกล้า D2 ได้ จากความแข็งของชั้นเคลือบที่แข็งมาก และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำของชั้นเคลือบ ประกอบกับการติดแน่นของชั้นเคลือบกับโลหะพื้น ที่แม้ชั้นเคลือบจะแตกออกก็ยังเกาะติดโลหะพื้นได้แน่น ช่วยลดการสึกหรอของเหล็กกล้า D2 ได้

6. น้ำหนักกดมีอิทธิพลต่อความเร็วการสึกหรอของเหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิวและเหล็กกล้าที่ผ่านการเคลือบผิวเป็นวานาเดียมคาร์ไบด์ เมื่อน้ำหนักกดเพิ่มขึ้นการสึกหรอก็เพิ่มขึ้นและความเร็วการสึกหรอของเหล็กกล้า D2 ที่ไม่เคลือบผิวมากกว่าเหล็กกล้าที่เคลือบผิวเป็นวานาเดียมคาร์ไบด์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่ให้การสนับสนุนเงินวิจัยและบริษัท ลี้อินฮัว จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์อะลูมิเนียม

เอกสารอ้างอิง

- Arai, T. and Harper, S. 1991. Thermoreactive Deposition / diffusion process, In : *ASM Handbook Vol. 4*. Materials Park, OH, ASM International : 448-453.
- Braza, J.F. 1992. Sliding wear evaluation of various Coating process on AISI 52100 and M50 steel. *Materials Science and Technology*. 18 : 582-588.
- Czichos, Horst. 1992. Presentation of friction and wear data, In : *ASM Handbook Vol. 18*. Materials Park, OH, ASM International : 489-492.

Eyre, T. S. and Maynard, D. 1971. Surface aspects of unlubricated metal to metal wear. *Wear*. **18** : 301-310.

Hadenqvist, P. and Olsson, M. 1991. Sliding wear testing of coated cutting tool materials. *Tribology International*. **24 (3)** : 143-150.

Jamal. 1997. Sliding contact with TiC against other materials. *Coating Tribology*. Finland, Elsevier Science : 190-191.

ประสงค์ ศรีเจริญชัย, ศิริรัตน์ สมพันธุ์, และ
ปรีทรรศน์ พันบรรชอุยงก์ 2540. *วารสาร MTEC* :
12-16.