

การศึกษาพฤติกรรมด้านไทรบอโลยีของผิวเคลือบสักระหว่างบอลเหล็กกล้ากับผิวเคลือบ

Study on Tribological Behavior of Thin Film Coating Disk against Steel Ball

ณัฐนันท์ มูลสระดู่, พงศ์พันธ์ แก้วตาพิย์, อนรรฆ ชันชะวณะ และ วารุณี เปรมานนท์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

91 ถ.ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทร. 0-2470-9209 โทรสาร 0-28729080 E-mail: pongpan.kae@kmutt.ac.th

Nutthanun Moolsradoo, Pongpan Kaewtatip, Anak Khantachawana and Varunee Premanond

Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

91 Pracha-utid Rd., Bangmod, Tongkru, Bangkok 10140

Tel : 0-2470-9209 Fax : 0-28729080 E-mail: pongpan.kae@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ความเสียหายที่เกิดขึ้นในงานแม่พิมพ์ปั๊มโลหะ เป็นสิ่งสำคัญที่รู้กันทั่วไป เนื่องจากความเสียหายเป็นแรงต้านการเคลื่อนที่สัมผัสระหว่างผิว 2 ผิว ซึ่งมีผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเพื่อเอาชนะแรงเสียดทาน ดังนั้นเพื่อเป็นการลดการสูญเสียพลังงานและยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ การศึกษาวิจัยเพื่อลดแรงเสียดทานจึงมีความสำคัญมาก [1] งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับการเคลือบผิวซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในงานแม่พิมพ์ปั๊มโลหะในปัจจุบัน เนื่องจากการเคลือบผิวจะช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส และช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานการสึกหรอได้ด้วย [2] ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการจำลองการหาความเสียหายโดยใช้เครื่องไทรบอมิเตอร์ด้วยวิธีการทดสอบแบบ Ball-on-disk เพื่อให้ทราบความสามารถในการหล่อลื่นของผิวเคลือบแต่ละชนิด โดยชิ้นงานจะถูกจำลองเป็นบอลและแม่พิมพ์จะถูกจำลองเป็นแผ่นจาน (Disk) โดยบอลทำจากวัสดุเหล็กกล้า และแผ่นจานทำจากวัสดุเหล็กเครื่องมือเกรด SKD11 (JIS) ชุบแข็งที่ 60-62 HRC ซึ่งแผ่นจานจะมีทั้งแบบเคลือบและไม่เคลือบผิว (Non Coat) โดยได้ศึกษาผิวเคลือบทั้งหมด 7 ชนิดคือ TD, TiC, TiCN, TiN, TiAlN, Nitride และ Hard Chrome ซึ่งทั้งหมดนี้จะทำการทดสอบทั้งในสภาวะที่มีการหล่อลื่นและไม่มีการหล่อลื่นโดยใช้น้ำมันสังเคราะห์ TDN81(CASTROL) ผลการทดสอบพบว่า การหล่อลื่นมีผลเป็นอย่างมากต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวเคลือบทุกชนิดและผิวที่ไม่ได้เคลือบ โดยจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่าการไม่ใช้สารหล่อลื่น และไม่สามารถมองเห็นความแตกต่างกัน ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวเคลือบต่างๆอย่างชัดเจนได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการหล่อลื่นของฟิล์มเคลือบเมื่อมีการใช้สารหล่อลื่นจะใกล้เคียงกัน ในส่วนทดลองที่ไม่ใช้สารหล่อลื่นจะพบว่าผิวเคลือบ TiC และ TiCN มีความสามารถในการหล่อลื่นสูง ส่วนผิวเคลือบ Hard chrome มีความ

สามารถในการหล่อลื่นต่ำ เนื่องจากผิวเคลือบที่เตรียมได้มีความแข็งน้อยมาก สำหรับผิวเคลือบ TD มีความสามารถในการหล่อลื่นต่ำ เนื่องจากผิวเคลือบมีความเรียบมากจนอาจจะเกิดการยึดเหนี่ยว (Adhesion) ได้ง่าย ส่วนผิวเคลือบ TiN และ TiAlN พบว่ามีความสามารถในการหล่อลื่นต่ำกว่าการไม่เคลือบผิวเล็กน้อย เนื่องจากผิวเคลือบค่อนข้างหยาบ ส่วนผิวเคลือบ Nitride พบว่ามีความสามารถในการหล่อลื่นใกล้เคียงกับการไม่เคลือบผิว

คำสำคัญ ความเสียหาย, การหล่อลื่น, ผิวเคลือบ

Abstract

In metal stamping process, friction is one of the important parameter. Friction takes place to resist relative movement, thus increases the energy required for the processes. In order to save the energy and increase the tool life, the study of tribological behavior of thin film coating disk against steel ball was set up. This research considered on different material coating on tool surface which was regularly practiced in modern stamping industry. The model study of friction "Ball-on-disk" technique was employed through out this work. The ball was made from steel and the disk was made from cold work tool steel, SKD11(JIS) and harden to 60-62 HRC. There are 7 types of coating film: TiC, TiCN, TiN, TiAlN, TD, NITRIDE, HARD CHROME and NON COAT. Experiments were carried out with and with out lubricant. The lubricant in this work is synthetic oil (CASTROL-TDN81). The results had shown that the lubrication highly influence on decreasing the friction coefficient comparing to non coat surface.

The effect of coating film types has found negligible influences when lubricant applied. For the case of dry condition, the result had shown that friction coefficient can be decreased when using TiC and TiCN. Hard chrome coated tool while opposite results were gain from hard chrome and TD coated tool. TiN and TiAlN showed lower value of friction coefficient comparing to non coat surface, which cause by proper condition of surface finish. Nitride showed similar lubrication characteristic to non coat surface. This may be due to low hardness of hard chrome surface and too smooth surface which caused adhesion of TD coating.

Keywords Friction, Lubrication, Coating Film

1. บทนำ

งานปั๊มขึ้นรูปโลหะจัดเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยงานปั๊มขึ้นรูปนั้นจะครอบคลุมหลายกระบวนการ เช่นกรรมวิธีการตัด (Blanking) กรรมวิธีการลากขึ้นรูปลึก (Deep drawing) เป็นต้น ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นกระบวนการที่มีต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากการทำงานจำเป็นต้องใช้แม่พิมพ์และเครื่องจักรที่มีราคาแพง จากสภาวะการแข่งขันทำให้ต้องลดต้นทุนที่เกิดขึ้น การควบคุมกลไกของความเสียหายที่ผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงานและแม่พิมพ์ก็ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งที่จะลดต้นทุนในส่วนของแม่พิมพ์ เนื่องจากการยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ และยังเป็นการลดของเสียที่จะเกิดขึ้นจากการผลิต นอกจากนี้ความเสียหายยังส่งผลต่ออัตราการสึกหรอด้วย ทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดความเสียหายระหว่างผิวสัมผัส คือการเคลือบผิวซึ่งช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับกระบวนการผลิตได้มากขึ้น

การเคลือบผิวเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของผิวชิ้นงานให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน และเพิ่มขีดจำกัดในการทำงานในด้านต่างๆ มากขึ้น เช่นลดความเสียหายระหว่างผิวสัมผัส และเพิ่มความสามารถในการต้านทานการสึกหรอ [2] และเพื่อให้เข้าใจถึงกลไกของความเสียหายของการเคลือบผิว จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบและวัดค่าที่เกิดขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากลไกทางไทรบอโลยี (Tribology) ในแง่ของความเสียหาย โดยการใช้เครื่องไทรบอมิเตอร์ที่จำลองกลไกการเสียดทานของพื้นผิวคู่สัมผัส โดยไม่เกิดค่าใช้จ่ายสูงกับแม่พิมพ์จริงที่มีราคาแพง

2. การเคลือบผิว (Surface coating) [2]

เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของผิวชิ้นงาน ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งทำได้โดยการปรับส่วนผสม และโครงสร้างภายในของชิ้นงานนั้นๆ หรือการนำเอาวัสดุอื่นที่มีคุณสมบัติเหมาะสมมาเคลือบลงบนผิวชิ้นงานช่วยปรับสภาวะการทำงานให้เหมาะสม และเพิ่มขีดจำกัดในการทำงานในด้านต่างๆมากขึ้น เช่นลดความเสียหายระหว่างผิวสัมผัสและเพิ่มความสามารถในการต้านทานการสึกหรอ [2] ตัวอย่างของการเคลือบผิวที่นิยมในปัจจุบันเช่น การเคลือบผิวด้วยไอเคมี (CVD) การเคลือบผิวด้วยไอกายภาพ (PVD) การทำไนไตรดิง (Nitriding) และการทำฮาร์ดโครม (Hard Chrome) เป็นต้น

2.1 การเคลือบผิวด้วยไอเคมี (Chemical Vapour Deposition) [2]

เป็นกรรมวิธีการเคลือบผิวที่อาศัยการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ของสารในสถานะที่เป็นไอแก๊สกับของแข็งภายในห้องสุญญากาศ โดยมีแก๊สความดันต่ำและเงื่อนไขอุณหภูมิที่เหมาะสม ผิวฟิล์มที่ได้จากกรรมวิธีนี้จัดเป็นฟิล์มบาง เนื่องจากมักจะได้อายุฟิล์มไม่เกิน 10 μm และมีความสม่ำเสมอในชั้นฟิล์มที่ดี ข้อจำกัดคือต้องทำที่อุณหภูมิสูง

2.2 การเคลือบผิวด้วยไอกายภาพ (Physical Vapour Deposition) [2]

เป็นกรรมวิธีการเคลือบสารลงบนชิ้นงาน โดยใช้สถานะก๊าซอีกกรรมวิธีหนึ่ง นอกจากจะเป็นการเคลือบเพื่อสร้างผิวให้แข็งขึ้น ยังทำเพื่อเคลือบชิ้นงานให้มีสีสวยงามอีกด้วย แต่จะมีข้อจำกัดในเรื่องของความหนาของชั้นฟิล์มและความบกพร่องในเนื้อฟิล์ม ทำให้ความแข็งแรงและความหนาของฟิล์มที่ได้ต่ำลง

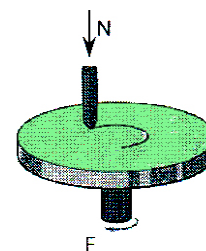
2.3 กระบวนการไนไตรดิง (Nitriding) [1]

เป็นกรรมวิธีการหนึ่งของกระบวนการทางเคมีความร้อน ในการสร้างชั้นผิวแข็งสำหรับเหล็กกล้าซึ่งจะมีผลต่อความต้านทานการสึกหรอของวัสดุชนิดนั้นๆโดยอะตอมของไนโตรเจนที่แตกตัวออกมา (Nascent Nitrogen) จะไปรวมตัวกับอะตอมของโลหะในเนื้อชิ้นงาน และเกิดเป็นอนุภาคแข็งของโลหะไนไตรด์ขึ้น ชิ้นงานที่ผ่านการทำไนไตรดิงจะมีขนาดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและมีการบิดเบี้ยวของชิ้นงานต่ำมาก

2.4 กระบวนการฮาร์ดโครม (Hard Chrome) [1]

เป็นการเคลือบชั้นโลหะบางลงบนชิ้นงานโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า นิยมทำเพื่อความสวยงามและเพื่อเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน (Corrosion Resistance) และความต้านทานการสึกหรอ (Wear Resistance)

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง



รูปที่ 1 หลักการทำงานของ Ball-on-disk [1]

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (1)$$

โดยที่ μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน F คือ แรงต้านทานการเคลื่อนที่ และ N คือแรงตั้งฉากหรือแรงที่กดวัตถุคู่สัมผัสเข้าหากัน

เครื่องไทรบอมิเตอร์แบบ Ball-on-disk [3] มีหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 1 กำหนดแรงกด (N) คงที่บนบอล ที่ผ่านจานหมุนติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงเสียดทาน (F) ที่เกิดขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ) จึงสามารถคำนวณได้โดยตรงจากสมการที่ 1

บอลทำจากวัสดุเหล็กกล้า มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ส่วนแผ่นจาน (Disk) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 29.5 มม. หนา 5 มม. ทำจากเหล็กเครื่องมืองานเย็น (SKD11) ชุบแข็ง 60-62 HRC ซึ่งแผ่นจานจะมีทั้งเคลือบและไม่เคลือบผิว (Non Coat) โดยผิวเคลือบมีทั้งหมด 7 ชนิดคือ TD, TiC, TiCN, TiN, TiAlN, Nitride และ Hard Chrome ค่าความแข็ง (HV) และค่าความเรียบผิวเฉลี่ย (Ra) ของผิวเคลือบดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งทั้งหมดจะทำการทดสอบทั้งสภาวะไม่มีการหล่อลื่นและมีการหล่อลื่น โดยใช้ น้ำมันสังเคราะห์ที่ใช้ในการขึ้นรูปโลหะทั่วไปคือ TDN81 (CASTROL) ตลอดการทดลองจะใช้แรงกด ระยะทาง และความเร็วเชิงเส้นคงที่ คือแรงกด 10 นิวตัน ระยะทางในการหมุนคือ 200 เมตร และความเร็วเชิงเส้นคือ 30 มม./วินาที

ตารางที่ 1 ค่าความแข็ง (HV) และค่าความเรียบผิวเฉลี่ย (Ra) ของผิวเคลือบ

ชนิดของผิวเคลือบ	ความแข็งผิวเคลือบ (HV)	ความเรียบผิวเฉลี่ย (Ra)
TiC (CVD)	3800	0.076
TiCN (CVD)	3300	0.115
TiAlN (PVD)	2600	0.339
TiN (PVD)	2200	0.433
TD	3019	0.035
Nitride (N)	800	0.170
Non Coat (NC)	746	0.270
Hard Chrome (HC)	500-700	0.176

* หมายเหตุ กรณีไม่เคลือบผิว ค่าความแข็งได้จากการวัดจริงแต่กรณีฟิล์มเคลือบเป็นค่าที่ได้จากผู้ผลิต

การทดสอบจะใช้บอลแทนวัสดุชิ้นงาน และแผ่นจานแทนวัสดุทำพิมพ์ โดยการวิเคราะห์จะมุ่งเน้นที่การเสียดทานเพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมที่เกิดกับวัสดุที่มีการเคลือบผิวต่างชนิดกัน ตัวอย่างรูปที่ได้จากการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและระยะทาง

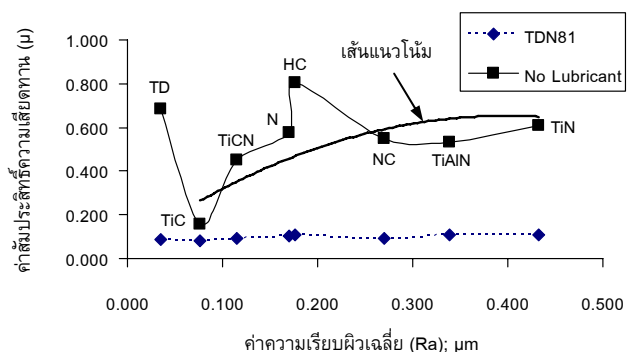


รูปที่ 2 ตัวอย่างที่ได้จากการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1 อิทธิพลของความเรียบผิวเฉลี่ย (Ra) ของผิวเคลือบที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

เนื่องจากการเคลือบผิวแต่ละชนิด ทำให้ผิวที่ได้หลังการเคลือบมีความเรียบผิวแตกต่างกัน ซึ่งความเรียบของผิวคู่สัมผัสก็มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน จากรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเรียบผิวเฉลี่ยของฟิล์มเคลือบแต่ละชนิด กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากการทดลอง พบว่ากรณีที่ไมใช้สารหล่อลื่นจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงกว่ากรณีใช้สารหล่อลื่นทุกชนิดผิวเคลือบเนื่องจากในสภาวะนี้ โลหะเกิดการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างบอลและผิวเคลือบบนจานหมุน ทำให้มีโอกาสเกิดการยึดติด (Adhesion) สูง และเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการทดลองที่ใช้สารหล่อลื่นจะพบว่า เมื่อมีการใช้สารหล่อลื่นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำลง เนื่องจากสารหล่อลื่นช่วยให้เกิดฟิล์มป้องกันการสัมผัส ระหว่างผิวสัมผัสของบอลและผิวเคลือบบนจานหมุน ทำให้บริเวณของการเกิดการยึดติดน้อยลง นอกจากนี้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำงานอย่างต่อเนื่อง ยังส่งผลให้กระบวนการยึดติดเกิดได้มากขึ้นและแข็งแรงขึ้น [5] และพบว่าเมื่อค่าความเรียบผิวเฉลี่ย (Ra) สูงขึ้นหรือชิ้นงานมีความหยาบมากขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีแนวโน้มสูงตามไปด้วย ทั้งในสภาวะมีการหล่อลื่นและไม่มีการหล่อลื่น เนื่องจากผิวที่หยาบทำให้ต้องใช้แรงในการเคลื่อนที่มาก แต่จะพบว่าผิวเคลือบ TD และ Hard chrome ไม่เป็นไปตามนั้น โดยผิวเคลือบ TD ซึ่งมีค่าความเรียบผิวเฉลี่ยต่ำที่สุด (ผิวเรียบที่สุด) แต่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานค่อนข้างมาก คือ 0.687 เนื่องจากผิวเคลือบมีความเรียบมาก จนอาจจะทำให้เกิดการยึดเหนียว (adhesion) ได้ง่าย เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่สัมผัสกัน จึงต้องการแรงที่มากพอในการเฉือนเพื่อทำลายแรงยึดเหนียวนี้ ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีค่ามาก [1] ส่วนผิวเคลือบ Hard chrome ซึ่งมีค่าความเรียบผิวเฉลี่ยปานกลาง (ผิวเรียบปานกลาง) แต่กลับมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมากที่สุด เนื่องจากผิวเคลือบมีความแข็งน้อยมากซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.2

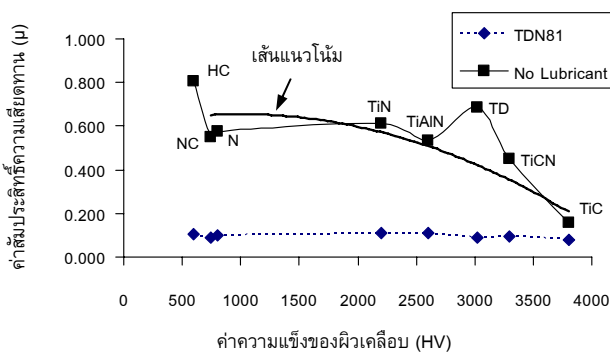


รูปที่ 3 อิทธิพลของค่าความเรียบผิวเฉลี่ย (Ra) ของผิวเคลือบที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

4.2 อิทธิพลของความแข็งผิวเคลือบที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ผลการทดสอบดังรูปที่ 4 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เกิดขึ้น กับค่าความแข็งจุลภาคของผิวเคลือบที่ต่างกัน ซึ่งพบว่าในกรณีที่ไมใช้สารหล่อลื่นจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงกว่ากรณีใช้สารหล่อลื่น โดยไม่ขึ้นกับชนิดของผิว

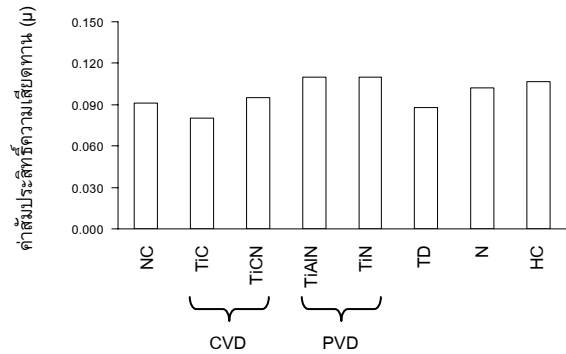
เคลือบ ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.1 และพบว่าเมื่อความแข็งของผิวเคลือบมากขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีแนวโน้มลดลง ทั้งในสภาวะมีการหล่อลื่นและไม่มีการหล่อลื่น เนื่องจากวัสดุที่มีความแข็งสูง จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่าวัสดุที่อ่อนกว่า [4] ทั้งนี้เพราะการที่ความแข็งของผิวมีค่ามาก จะทำให้ความสามารถในการต่อต้านการเปลี่ยนรูปถาวรมีค่ามากขึ้น การเปลี่ยนรูปตรงตำแหน่งที่สัมผัสกันก็จะน้อย ทำให้ขนาดพื้นที่สัมผัสจริง (real contact area) มีค่าน้อยกว่า ถึงแม้พื้นที่สัมผัสเสมือน (apparent contact area) จะไม่แตกต่างกันก็ตาม ดังนั้นถ้าพื้นที่สัมผัสจริงน้อย แรงเสียดทานที่เครื่องมือวัดได้ก็จะน้อยลง หรือค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากการวัดก็จะน้อยลงนั่นเอง และพบว่าผิวเคลือบ Hard chrome กับผิวเคลือบ TD มีความแตกต่างจากแนวโน้มของสมการ เนื่องจากผิวเคลือบ Hard chrome ที่เคลือบมามีความแข็งน้อยมาก จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูง ส่วนผิวเคลือบ TD นั้นแม้จะมีความแข็งค่อนข้างมาก แต่กลับทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานค่อนข้างสูง เนื่องจากความเรียบผิวเฉลี่ยของฟิล์มเคลือบต่ำมาก (ผิวเรียบมาก) จนอาจจะทำให้เกิดการยึดเหนี่ยว (adhesion) ได้ง่าย ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงขึ้นดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.1



รูปที่ 4 อิทธิพลของค่าความแข็ง (HV) ของผิวเคลือบที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

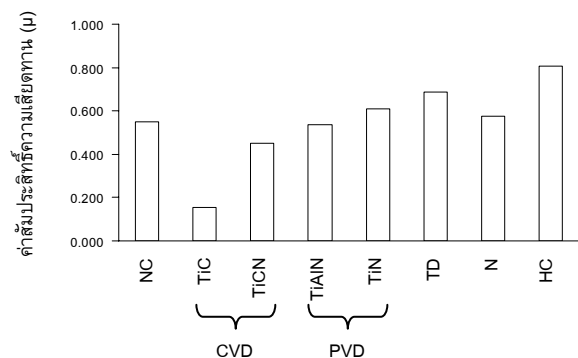
4.3 อิทธิพลของชนิดผิวเคลือบที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ผลการทดสอบในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 แสดงให้เห็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างเหล็กกล้ากับเหล็กเครื่องมือเย็นที่มีการเคลือบผิวต่างชนิดกันในกรณีที่ใช้และไม่ใช้สารหล่อลื่นตามลำดับ พบว่าเมื่อมีการใช้สารหล่อลื่น ไม่สามารถมองเห็นความแตกต่างกันอย่างชัดเจนได้ เนื่องจากสารหล่อลื่นช่วยทำให้เกิดฟิล์มป้องกันการสัมผัสระหว่างผิวสัมผัสของบอลและผิวเคลือบบนจานหมุน ทำให้อิทธิพลของชนิดฟิล์มเคลือบไม่ชัดเจนนัก อย่างไรก็ตามฟิล์มเคลือบ TiC, TiCN และ TD มีแนวโน้มจะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ฟิล์มเคลือบทั้งสามชนิดมีความแข็งมากกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ นั่นเอง



รูปที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกรณีใช้สารหล่อลื่น

จากรูปที่ 6 พิจารณาในส่วนการทดลองที่ไม่ใช้สารหล่อลื่น พบว่าฟิล์มเคลือบ TiC และ TiCN จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้เคลือบผิวและกรณีอื่นๆ เนื่องจากค่าความแข็งของฟิล์มเคลือบสูงมาก และค่าความเรียบผิวเฉลี่ย (Ra) ค่อนข้างต่ำ (ผิวเรียบ) จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำดังที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ นอกจากนี้ผิวเคลือบ TiC และ TiCN เป็นฟิล์มที่ได้จากกรรมวิธีการเคลือบผิวแบบไอเคมี ซึ่งโดยทั่วไปจะให้ความหนาประมาณ 8-10 μm ซึ่งหนากว่าผิวเคลือบที่ได้จากกรรมวิธีการเคลือบแบบ PVD (TiN และ TiAlN) และการหลุดลอกของฟิล์มเป็นไปได้ยากกว่า ดังนั้นถ้าพิจารณาในเชิงความสามารถของการหล่อลื่นในงานขึ้นรูปโลหะ ฟิล์มเคลือบ TiC แสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่ดีที่จะสามารถลดความเสียดทานที่เกิดขึ้นได้ในการทำงานจริง ถึงแม้จะอยู่ในสภาวะที่สารหล่อลื่นไม่สามารถไหลเข้าไปที่พื้นผิวสัมผัส ระหว่างแม่พิมพ์กับชิ้นงานได้อย่างทั่วถึง



รูปที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกรณีไม่ใช้สารหล่อลื่น

5. บทสรุป

5.1 การหล่อลื่นมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ทั้งแบบเคลือบผิวและไม่เคลือบ โดยจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่าการไม่ใช้สารหล่อลื่น

5.2 ฟิล์มเคลือบที่มีความแข็งสูง มีแนวโน้มทำให้ความสามารถในการหล่อลื่นดี ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ แต่ค่าความเรียบผิวเฉลี่ยต้องไม่น้อยเกินไป จนอาจจะทำให้เกิดการยึดติดระหว่างผิวคู่สัมผัสได้

5.3 ฟิล์มเคลือบ TiC แสดงให้เห็นศักยภาพที่ดี ในการลดความเสียดทานที่เกิดขึ้น ทั้งในสภาวะที่มีสารหล่อลื่นและขาดสารหล่อลื่นมาแทรก ระหว่างผิวคู่สัมผัส

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันไทย-เยอรมัน (TGI) ที่เอื้อเฟื้องบประมาณในการทำงานวิจัยชิ้นนี้ และขอขอบคุณในความร่วมมือที่ทางบริษัท U.T.T Engineering CO.,LTD.บริษัท U.I. Engineering CO.,LTD. และบริษัท Nissin Electric (Thailand) CO.,LTD. มอบให้ โดยให้การเอื้อเฟื้อเคลือบผิวชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองโดยไม่คิดค่าใช้จ่าย และให้ข้อมูลต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปณิตดา นรินทล้าพงศ์, ผกามาศ แซ่ห้วง, วารุณี เปรมมานนท์และสุรพล ราษฎร์นุ้ย, 2545, การสึกหรอ : ความรู้เบื้องต้นและการป้องกัน, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, หน้า 50-66.
- [2] ปัญญา ศรีจันทร์, ทิพพรรณ สุดประเสริฐ, "วิศวกรรมการชุบเคลือบผิว" , โลหะวัสดุและการกัดกร่อน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,หน้า 35-45.
- [3] ASTM G133-95, "Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear", p.523-536.
- [4] วารุณี เปรมมานนท์, 2547, "พฤติกรรมด้านไทรบอโลยีของผิวสัมผัสระหว่างเหล็กทำพิมพ์และเหล็กกล้าไร้สนิมโดยการจำลองการทำงานบนเครื่องแบบ Ball-on-disk", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18 ขอนแก่น 18-20 ตุลาคม 2547 หน้า 1-5.
- [5] ปณิตดา นรินทล้าพงศ์ และคณะ, 2545, "การสึกหรอในงานอุตสาหกรรม", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)