

อิทธิพลของฟิล์มแข็งเคลือบผิวแม่พิมพ์ของกรรมวิธีดึงลวดเหล็กกล้าไร้สนิม

Influence of using Hard-Thin Film Coated Dies in Stainless Steel

Wire Drawing Process

ชรรม์ วันแดง¹, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์² และ วารุณี เปรมานนท์³
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

91 ถ.ประชาอุทิศ บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140 โทร. 0-2470-9203 โทรสาร. 0-2872-9080

E-mail : tan_wantang@hotmail.com¹, pongpan.kae@kmutt.ac.th², varunee.pre@kmutt.ac.th³

Tan WANTANG¹, Pongpan KAEWTATIP² and Varunee PREMANOND³

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

91 Pracha-u-tit Rd. Bangmod Tungkru Bangkok 10140 Thailand Tel: 0-2470-9209, Fax: 0-2872-9080

E-mail : tan_wantang@hotmail.com¹, pongpan.kae@kmutt.ac.th², varunee.pre@kmutt.ac.th³

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมการดึงลวดเหล็กกล้าไร้สนิมได้มีบทบาทในชีวิตประจำวันอย่างมาก เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น เพราะในกระบวนการดึงลวดจะสามารถผลิตเส้นลวดที่มีความเที่ยงตรงสูงและคุณภาพดีได้ ในงานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการดึงลวดเหล็กกล้าไร้สนิมโดยใช้ฟิล์มแข็งเคลือบผิวแม่พิมพ์เพื่อลดปัญหาหลักด้านคุณภาพผิวลวดที่ไม่เรียบ และการยึดติดของลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่รูแม่พิมพ์ (Adhesion) โดยจะทำการดึงลวดเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ที่การดึงขั้นตอนสุดท้าย (Skin pass) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวดเริ่มต้น $\varnothing 2.40$ mm ให้มีขนาดลดลงเหลือ $\varnothing 2.29$ mm (อัตราการลดขนาดหน้าตัดของลวด 9.0%) ใช้กระบวนการดึงลวดแบบขั้นเดียวความเร็วในการดึง 0.35 m/s แม่พิมพ์ดึงลวดทำจากทั้งสแตนคาร์ไบด์ ลักษณะรูปร่างตามมาตรฐาน JIS B4111 W103 ซึ่งมีมุมไหลเข้า (Approach Angle ; 2α) เท่ากับ 12° โดยนำแม่พิมพ์มาเคลือบผิวด้วย Titanium Carbide (TiC), Titanium Carbonitride (TiCN) และ Titanium Nitride (TiN) แล้วนำแม่พิมพ์ไปดึงลวดเหล็กกล้าไร้สนิม หลังจากนั้นจึงทำการวัดความเรียบของผิวลวดหลังการดึง (Surface Roughness) และแรงที่ใช้ในการดึงลวด (Drawing Force) จากผลการทดลองพบว่าแม่พิมพ์ที่ทำการเคลือบผิวด้วย TiCN จะให้ค่าความเรียบผิวลวดหลังการดึงดีที่สุดทั้งในแนวเส้นรอบวงและตามแนวแกน ส่วนรองลงมาคือ แม่พิมพ์ที่ทำการเคลือบผิว TiN ส่วนด้านแม่พิมพ์ที่ทำการเคลือบผิวด้วย TiC จะให้ผิวลวดหลังการดึงหยาบกว่าแม่พิมพ์ที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิว แม่พิมพ์ดึงลวดที่ใช้แรงใน

การดึงน้อยที่สุดคือแม่พิมพ์ที่เคลือบด้วย TiN โดยแม่พิมพ์ที่เคลือบด้วย TiC ใช้แรงมากที่สุด ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าสารเคลือบ TiCN และ TiN จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกรรมวิธีดึงลวดเหล็กกล้าไร้สนิมได้

คำสำคัญ: การดึงลวด / การเคลือบผิว / คุณภาพผิวลวด

Abstract

Since stainless steel wires obtained by cold drawing process, have high quality surface and high precision, they have been used widely in various applications, e.g., computer and electronics devices, medical instruments, etc. The objective of this work is to improve the performance of cold wire drawing process by introducing various kinds of hard-thin-coated films. An ability of coated film to reduce adhesion of stainless steel on die surface was expected. The experiments of skin pass drawing had been carried out using stainless steel wire (AISI 304) of 2.40 mm diameter as a raw material. The diameter of the wire reduced to 2.29 mm (or the reduction ratio of the process is 9.0%). Drawing speed determined to be 0.35 m/s. Drawing die inserts, which their shapes were formed according to JIS B4111 W103, are made of tungsten carbide. An approach angle of the dies is 12° . The dies coated with 3 different kinds of titanium film, i.e., titanium carbide (TiC), titanium carbonitride (TiCN) and titanium nitride (TiN) were

used in skin pass drawing experiment of stainless steel wires. Surface roughness of a drawn wire and drawing force of each experiment were measured compared to the result of those drawn by non-coated die. As a result, TiCN and TiN coated tools provide the wires having good finished surface and require comparatively low drawing force. Consequently, both TiCN and TiN show the potential to improve the performance of stainless steel wire drawing process.

Keywords: Wire Drawing / Hard-Thin Film Coating / Surface Quality

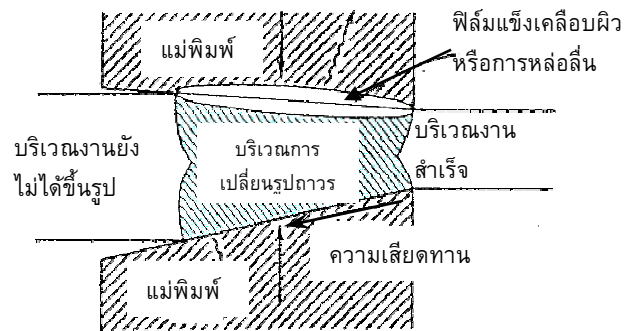
1. บทนำ

คุณสมบัติของลวดเหล็กกล้าไร้สนิม มีความสามารถในการทนการกัดกร่อนสูงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน จึงได้ถูกนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ สายเคเบิล เป็นต้น เส้นลวดที่ถูกนำมาใช้งานจะได้จากกรรมวิธีที่เรียกว่าการดึงลวด (Wire Drawing) ซึ่งส่วนใหญ่จะทำที่อุณหภูมิห้อง (Cold Work) ในการดึงลวดเย็นนี้จะใช้แม่พิมพ์ดึงลวด (Die Drawing) ในการลดขนาดของลวด ลวดที่ผ่านกระบวนการดึงลวดเย็น จะมีขนาดเท่ากับขนาดของรูตายและมีรูปร่างตามลักษณะของรูตายที่มีทั้งรูตายกลม รูตายสี่เหลี่ยม รูตายหกเหลี่ยม หรือมีรูปร่างที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น รูตายวงรี รูตายสี่เหลี่ยมผืนผ้า แต่ในการดึงลวดวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีปัญหาที่พบได้บ่อยคือเหล็กกล้าไร้สนิมจะเกิดการเชื่อมเย็น (Cold Welding or Adhesion) ติดกับผิวตายเมื่อความเร็วในการดึงสูงขึ้น (สาเหตุมาจากความร้อนเนื่องจากการเสียดสีของผิวลวดและแม่พิมพ์) ทำให้โดยปกติต้องดึงด้วยความเร็วค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่นเช่นทองแดงหรืออลูมิเนียม นอกจากนั้นหลังจากเนื้อวัสดุเชื่อมเย็นติดกับผิวแม่พิมพ์จะทำให้ลวดที่ผ่านการดึงมีคุณภาพของผิวไม่เรียบ เนื่องจากถูกขีดเป็นรอย และการเกิดการยึดติดนี้ยังส่งผลให้ความเสียดทานเพิ่ม จึงต้องใช้แรงในการดึงเพิ่มมากขึ้นจนอาจเกิดการขาดของลวดได้ ในการซ่อมแซมจะต้องทำการขัดตายเป็นระยะๆ ซึ่งเป็นผลให้ขนาดของรูในมีขนาดที่ผิดพลาดไป หรืออาจต้องทำการเปลี่ยนแม่พิมพ์ดึงลวดใหม่ซึ่งเป็นผลให้ค่าใช้จ่ายต้นทุนการผลิตสูงขึ้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องแก้ไขปัญหานี้ วิธีหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาได้คือการเพิ่มประสิทธิภาพในการหล่อลื่นให้ดีขึ้น

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการหล่อลื่นโดยใช้ฟิล์มแข็งเคลือบผิวแม่พิมพ์ โดยจะทำการศึกษาอิทธิพลของชนิดของฟิล์มแข็งเคลือบผิว ที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน (Surface Roughness) และแรงที่ใช้ในการดึงลวด (Drawing Force) โดยจะนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน เพื่อเลือกใช้สภาวะที่ดีที่สุดในการกระบวนการดึงลวดเหล็กกล้าไร้สนิมขั้นสุดท้าย เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตและแก้ไขปัญหาด้านความเรียบผิวสำเร็จ

2. การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานในกรรมวิธีดึงลวด

กรรมวิธีการดึงลวดเป็นการทำให้ลวดเกิดการเปลี่ยนรูปร่าง โดยความดันหรือแรงที่ใช้ในการดึงลวด จะต้องเท่ากับหรือสูงกว่าความเค้นครากของวัสดุแต่ต้องไม่มากจนทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกขาด คุณภาพผิวลวดหลังการดึงเป็นผลโดยตรงมาจากความเสียดทานระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ดึงลวดและ การหล่อลื่น ในการดึงลวดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการอาจต้องผ่านการดึงหลายขั้นตอน ซึ่งสามารถเรียกได้ว่าเป็นการดึงหยาบ โดยมักจะใช้สารหล่อลื่นที่เป็นของแข็ง (หรือมีลักษณะเป็นผง) เพราะความสามารถในการหล่อลื่นจะมากกว่า ทำให้สามารถกำหนดอัตราการลดขนาดหน้าตัดได้สูงกว่าการใช้สารหล่อลื่นที่เป็นของเหลว อย่างไรก็ตามผิวของชิ้นงานที่ได้จะมีคุณภาพไม่ดี เพราะไม่มีการถ่ายผิวจากแม่พิมพ์มายังชิ้นงาน ดังนั้นโดยทั่วไป ก่อนที่จะนำลวดไปใช้งานจะต้องนำมาผ่านขั้นตอนการดึงขั้นสุดท้าย (Skin pass drawing) เพื่อให้ได้ผิวสำเร็จที่มีความเรียบผิวดี โดยการดึงขั้นสุดท้ายนี้จะกำหนดอัตราการลดหน้าตัดของลวดต่ำกว่า 10% และจะใช้สารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวเท่านั้น



รูปที่ 1 บริเวณการเปลี่ยนรูปร่างของชิ้นงานในกรรมวิธีดึงลวด [1]

3. การเคลือบผิวแม่พิมพ์ด้วยฟิล์มแข็ง

การเคลือบผิวแม่พิมพ์ด้วยฟิล์มแข็ง มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความสามารถในการหล่อลื่น และการต้านทานการสึกหรอเป็นหลัก ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน (Thermal spray coating) การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electroplating) การเคลือบผิวด้วยไอกายภาพและไอเคมี (Physical and Chemical vapour deposition, PVD & CVD) และการเคลือบผิวด้วยฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร (Diamond-like carbon) เป็นต้น ฟิล์มแข็งที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทำการเคลือบผิวด้วย 2 วิธีคือ การเคลือบผิวด้วยไอกายภาพและไอเคมี

3.1 การเคลือบผิวด้วยไอเคมี (Chemical Vapour Deposition, CVD) [2]

กรรมวิธีนี้เป็นกรรมวิธีการเคลือบผิวที่อาศัยการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายใต้สภาวะของสารในสถานะที่เป็นไอแก่กับวัสดุพื้นซึ่งเป็นของแข็ง โดยต้องกำหนดความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสม ผิวฟิล์มที่ได้จากกรรมวิธีนี้จะจัดเป็นฟิล์มบาง เนื่องจากมักจะได้อายุการใช้งานไม่เกิน 15 μm แต่มีความสม่ำเสมอในชั้นฟิล์มที่ดี ถึงแม้มีข้อจำกัดในการทำงานซึ่งต้องทำที่อุณหภูมิสูง

3.2 การเคลือบผิวด้วยไอกายภาพ (Physical Vapour Deposition, PVD) [2]

กรรมวิธีนี้จะใช้กรรมวิธีทางฟิสิกส์ ทำให้สสารกลายเป็นไอ หรือเปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมา ก่อน แล้วจึงทำให้เข้าไปฝังตัวลงในเนื้อวัสดุ ภายใต้เงื่อนไขสภาวะสุญญากาศ โดยต้องกำหนดความดันและอุณหภูมิให้เหมาะสมเช่นเดียวกัน ในกรณีที่จะเคลือบสารประกอบบางชนิดนั้น จะทำได้โดยการจ่ายแก๊สปฏิกิริยาเข้าร่วมตัวกับไอของสสาร เพื่อให้ได้สารประกอบนั้นขึ้นมา เช่นการจะเคลือบผิวฟิล์มของ TiN โดยวิธี PVD จะนิยมกระทำโดยการทำให้ Ti กลายเป็นแก๊ส แล้วป้อนแก๊ส N₂ เข้าไปยังพื้นผิวที่ต้องการทำให้เกิดปฏิกิริยา

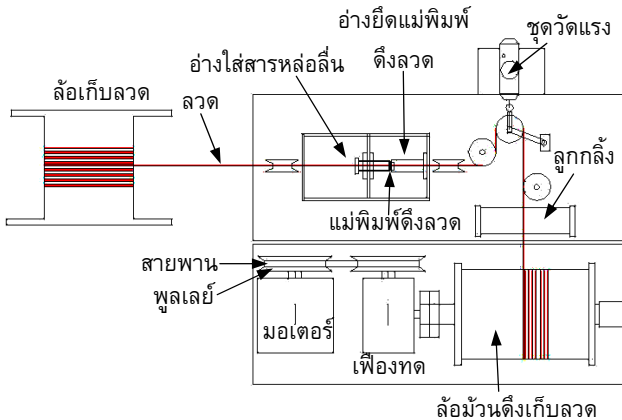
3.3 ลักษณะเด่นของฟิล์มเคลือบผิวแต่ละชนิดที่ใช้ในงานวิจัย

- (1) TiCN ด้านทานการสึกหรอได้ดีมีการหล่อลื่นในผิวสัมผัสสูง เหมาะสำหรับงานเคลือบผิวแม่พิมพ์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ ในงานอัดรีดขึ้นรูป (Extrusion) และงานขึ้นรูปเย็นหัวขึ้นงาน (Cold heading)
- (2) TiC ด้านทานการสึกหรอได้สูงในการทำงานที่อุณหภูมิต่ำ เหมาะสำหรับงานบีบขึ้นรูปเหล็กกล้าไร้สนิม
- (3) TiN ด้านทานการสึกหรอได้ดีมีการหล่อลื่นในผิวสัมผัสสูงมีการใช้กันอย่างกว้างขวาง เหมาะสำหรับงานไบเมทัลลิก และพื้นที่ขัดตายในงานบีบขึ้นรูปเย็น

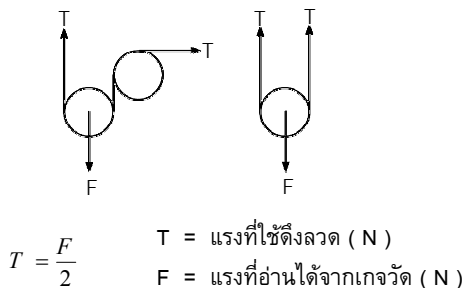
4. เจ็อนไซและอุปกรณ์ในการทดลอง

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

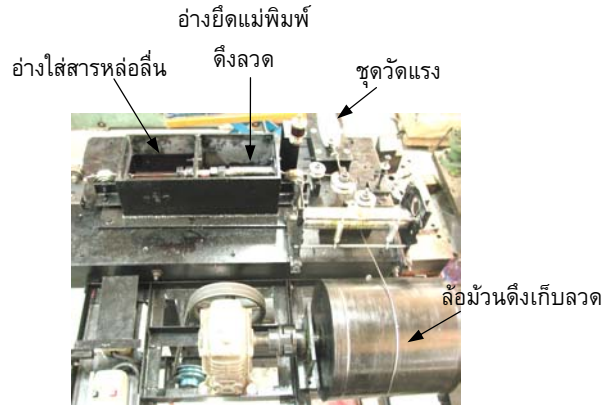
4.1.1 เครื่องดึงลวดแบบการดึงแบบขั้นเดียว ความเร็วในการดึง 0.35 m/s โดยมีอุปกรณ์วัดแรงดึง (Push-Pull gauge) ประกอบติดกับตัวเครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 ภาพถ่ายของอุปกรณ์จริงแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 2 ส่วนประกอบเครื่องดึงลวด

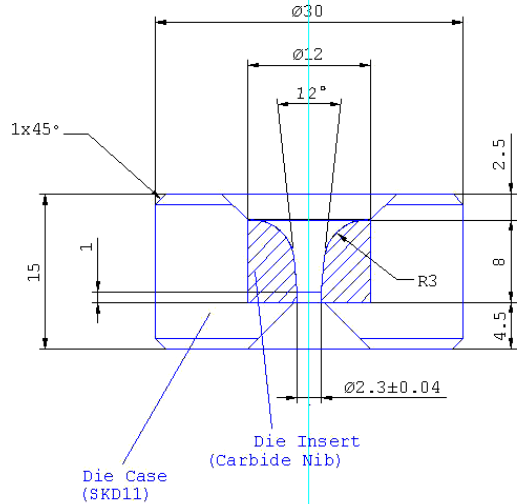


รูปที่ 3 หลักการวัดแรงที่ใช้ในการดึงลวด



รูปที่ 4 ภาพถ่ายเครื่องดึงลวด

- 4.1.2 ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดก่อนการดึง $\varnothing 2.40$ mm ลดลงเป็น $\varnothing 2.29$ mm อัตราการลดขนาดหน้าตัดของลวด (Reduction ratio of cross-sectional area) %R = 9.0% ค่า Ultimate Tensile Strength 419.7 N/mm²
- 4.1.3 แม่พิมพ์ดึงลวดรูปร่างตามมาตรฐาน W 103 (JIS B4111) ดังแสดงในรูปที่ 5
- 4.1.4 สารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลองคือน้ำมันสำหรับการดึงลวด ISO CUT 570-A (FOCUS MECHANIC CO., LTD)



รูปที่ 5 แม่พิมพ์ดึงลวด

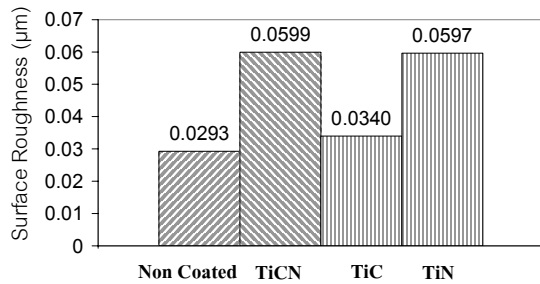
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลอง

คุณสมบัติ	รายละเอียด	หมายเหตุ
น้ำมันเข้มข้น	สีน้ำตาลแดง	
ดัชนีความหนืด	75	
ความหนืดที่ 20°C	45.3 mm ² /s	DIN 51562
ความหนืดที่ 40°C	45.62 mm ² /s	DIN 51562
ความหนืดที่ 100°C	6.206 mm ² /s	DIN 51562
ความถ่วงจำเพาะที่ 20° C	1.01 g/cm ³	DIN 51757
จุดวาบไฟ	194°C	

4.2 ชนิดของฟิล์มแข็งเคลือบแม่พิมพ์ที่ทำการศึกษา

- แม่พิมพ์ทำการเคลือบผิว Titanium Carbonitride (TiCN) ด้วยกรรมวิธี CVD ความหนาฟิล์มเคลือบ 5 μm (สีทอง)
- แม่พิมพ์ทำการเคลือบผิว Titanium Carbide (TiC) ด้วยกรรมวิธี CVD ความหนาฟิล์มเคลือบ 5 μm (สีดำ)
- แม่พิมพ์ทำการเคลือบผิว Titanium Nitride (TiN) ด้วยกรรมวิธี PVD ความหนาฟิล์มเคลือบ 5 μm (สีทอง)

ค่าความเรียบผิวแม่พิมพ์หลังการเคลือบแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่าความเรียบผิวแม่พิมพ์ (R_a) หลังผ่านการเคลือบ

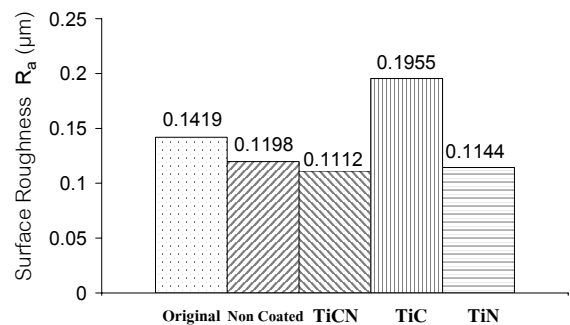
5 ผลทดลองและการวิเคราะห์ผล

5.1 คุณภาพผิวชิ้นงานสำเร็จ

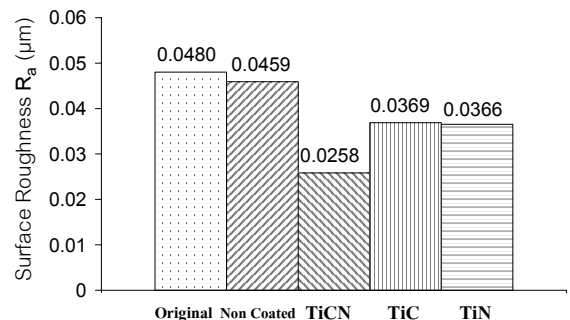
ความเรียบผิว (R_a) ตามแนวเส้นรอบวง ความเรียบผิวตามแนวแกน และภาพถ่ายผิวชิ้นงานของลวดหลังการดึงเป็นระยะทาง 15 m แสดงในรูปที่ 7, 8 และ 9 ตามลำดับ จากผลดังกล่าวจะเห็นว่าลวดที่ผ่านการดึงจะมีความเรียบผิวในทั้งในแนวเส้นรอบวงและแนวแกนดีขึ้น ยกเว้นลวดที่ดึงโดยแม่พิมพ์ที่ทำการเคลือบผิวด้วย TiC เท่านั้นที่มีความเรียบผิวในแนวเส้นรอบวงแย่กว่าเดิม โดยสามารถเห็นได้ชัดจากภาพถ่ายผิวแม่พิมพ์ว่ามีรอยขีดยาวเกิดขึ้นตามแนวแกนของเส้นลวดดังกล่าว ซึ่งเกิดขึ้นจากเนื้อของวัสดุเชื่อมติดกับผิวแม่พิมพ์ (Adhesion) แล้วขูดผิวชิ้นงานทำให้เกิดเป็นรอยขีดตามแนวแกน (Galling) นั้นเอง จากผลดังกล่าวยังเห็นได้ว่าแม่พิมพ์ที่ทำการเคลือบผิวด้วย TiCN จะให้ค่าความเรียบผิวลวดหลังการดึงที่ดีที่สุด โดยรองลงมาคือแม่พิมพ์ที่ทำการเคลือบผิวด้วย TiN

เมื่อเปรียบเทียบความเรียบผิวของชิ้นงานกับความเรียบผิวของแม่พิมพ์ จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของค่าความเรียบผิวของชิ้นงานสำเร็จไม่เหมือนกับของแม่พิมพ์ ซึ่งเห็นได้ชัดเจนจากกรณีของแม่พิมพ์ที่ทำการเคลือบผิวด้วย TiCN ถึงแม้จะมีค่าความเรียบผิวสูงสุด (ผิวหยาบที่สุด) ก็ตาม แต่จะให้ชิ้นงานที่มีความเรียบผิวดีที่สุด จึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่า กลไกการถ่ายผิวที่เกิดขึ้นบนแม่พิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มต่างชนิดกันจะแตกต่างกัน โดยสาเหตุที่ทำให้กลไกดังกล่าวแตกต่างกันอาจจะเป็นเนื่องมาจากความสามารถในการสร้างฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่น บนผิวฟิล์มแข็งเคลือบผิวแต่ละชนิดแตกต่างกันนั่นเอง อย่างไรก็ตามความเรียบผิวของแม่พิมพ์ทุกอันจะดีกว่าของชิ้นงานที่ได้ ซึ่งจากผลที่ได้สามารถกล่าวได้ว่าแม่พิมพ์ที่ทำการเคลือบผิวด้วย TiCN จะเกิดการหล่อลื่นที่ผิวสัมผัสแบบบาวนด์รี คือสารหล่อลื่นช่วยทำให้เกิดชั้นผิวขึ้นมาใหม่ทำให้มีการปิดหรืออุดร่องหลุมบนผิวแม่พิมพ์ที่หยาบ [4] ทำให้กลไกการถ่ายผิวจากแม่พิมพ์ไปยังเส้นลวดเกิดขึ้นได้ดีที่สุด ส่วน

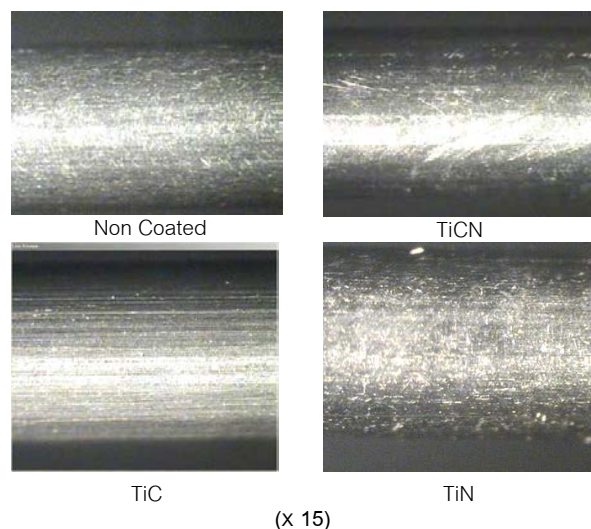
แม่พิมพ์ที่เคลือบผิวด้วยฟิล์ม TiC เนื่องจากฟิล์ม TiC โดยปกติจะมีความแข็งแรงมากกว่าฟิล์มชนิดอื่น ดังนั้นการเกิดการหลุดลอกของฟิล์มจึงมีมากกว่า [3] ทำให้โอกาสการเกิดรอยขีด (Galling) ทั้งบนผิวแม่พิมพ์และชิ้นงานเป็นไปได้ง่ายกว่าฟิล์มอีก 2 ชนิด ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิวและแม่พิมพ์ที่เคลือบผิวด้วย TiN จะมีคุณภาพผิวใกล้เคียงกันและจากผิวที่ได้สามารถทำนาบขอบเขตของสารหล่อลื่นได้ว่าจะจะเป็นแบบผสมหรือแบบกึ่งสมบูรณ์ [4] นั่นคือฟิล์มของสารหล่อลื่นจะทำให้ผิวลวดและแม่พิมพ์สัมผัสกันเพียงบางส่วนเท่านั้นการถ่ายผิวที่เกิดขึ้นจึงไม่ดีเท่ากับกรณีของ TiCN แต่จะไม่ทำให้เกิดรอยขีดขึ้น



รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบค่าความเรียบผิวลวด (R_a) แนวเส้นรอบวง



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบค่าความเรียบผิวลวด (R_a) แนวแกน

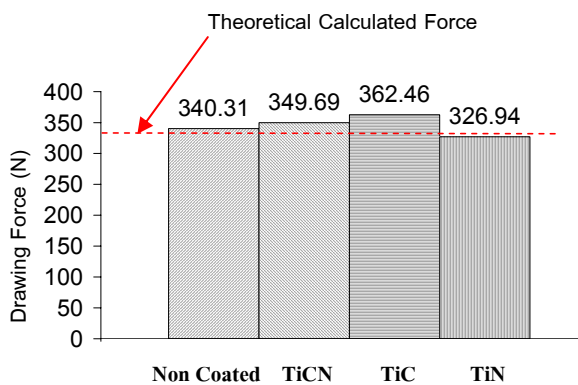


(x 15)

รูปที่ 9 ภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพลวดหลังการดึงที่ 15 m

5.2 แรงที่ใช้ในการดึงลวด

ผลการวัดแรงที่ใช้ในการดึงลวดแสดงในรูปที่ 10 จากรูปดังกล่าวจะเห็นว่าแรงดึงลวดที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี [5] คือ 330.34 N แม่พิมพ์ที่ทำการเคลือบด้วย TiC ต้องการแรงในการดึงมากที่สุดซึ่งมีสาเหตุจากการเกิดการเชื่อมเย็น (Cold Welding or Adhesion) ที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา ส่วนแม่พิมพ์ TiN และแม่พิมพ์ที่ไม่ได้เคลือบผิวจะใช้แรงในการดึงน้อยกว่ากรณีอื่น ซึ่งผลที่ได้ก็สอดคล้องกับที่อธิบายไว้ข้างต้นคือแม่พิมพ์สองชนิดหลังที่เกิดสภาวะการหล่อลื่นแบบกึ่งสมบูรณ์ ทำให้แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะดึงน้อยกว่ากรณีของ TiCN ที่เป็นสภาวะการหล่อลื่นแบบบาวนด์ารี่นั่นเอง



รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบแรงในการดึงลวด

สรุป

1. แนวโน้มของค่าความเรียบผิวของชิ้นงานสำเร็จไม่เหมือนกับค่าความเรียบผิวของแม่พิมพ์ เนื่องจากกลไกการสร้างฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นบนผิวฟิล์มแข็งเคลือบผิวแต่ละชนิดแตกต่างกัน
2. แม่พิมพ์ที่ทำการเคลือบผิวด้วย TiCN จะให้ค่าความเรียบผิวลวดหลังการดึงดีที่สุดทั้งในแนวเส้นรอบวงและตามแนวแกน

3. แม่พิมพ์ที่ทำการเคลือบผิวด้วย TiC จะมีการเชื่อมเย็นของวัสดุชิ้นงานติดกับผิวแม่พิมพ์ซึ่งทำให้เกิดรอยขีดตามแนวยาวบนชิ้นงาน
4. สารเคลือบแม่พิมพ์ TiCN และ TiN จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกรรมวิธีดึงลวดเหล็กกล้าไร้สนิมได้ดีกว่าแม่พิมพ์ที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณการดำเนินงานวิจัยจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ และได้รับความอนุเคราะห์ในการเคลือบผิวฟิล์ม TiC และ TiCN จากบริษัท U.T.T.ENGINEERING CO.,LTD นอกจากนี้ยังได้รับความช่วยเหลือในส่วนของการผลิตจริงจากบริษัท แม่น้ำสแตนเลส วัร์ จำกัด ทางคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] George E.Dieter, 1988, "Drawing of Rods Wires and Tube", Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill, pp.505
- [2] ปัญญา ศรีจันทร์, ทิพวรรณ สุดประเสริฐ, "วิศวกรรมการชุบเคลือบผิว", โลหะ วัสดุและการกัดกร่อน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ, pp.35-45
- [3] H.L. Wang, J.L. He, M.H. Hom, 1998, "Sliding wear resistance of TiCN coatings on tool steel made by plasma-enhanced chemical vapour deposition", Wear 169 (1993) 195-200, pp.195-200
- [4] ปนัดดา นิรนาทลำพองศ์ และคณะ, 2545, "การใช้วิศวกรรมพื้นผิวเพื่อช่วยป้องกันการสึกหรอ", การสึกหรอ, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, pp.129 - 132
- [5] Kurt Lange, 1985, "Drawing and Ironing" Handbook of Metal forming, German, pp.13.14 - 14.14.