

การศึกษาวัสดุทดแทนในการสร้างตัวแปลงแม่พิมพ์ขนาดกลาง ในขอบเขตของการต้านความล้าและความเสียดทาน

The Study Alternative Materials to Create a Medium Mold-Adaptor in Scope of Anti- Fatigue and Friction

ไทร กระระนันท์

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมทางกลของวัสดุเหล็กเหนียว ที่ชุบนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเป็นเหล็กที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยมุ่งเน้นศึกษาหาวัสดุทดแทนที่มีราคาถูกและมีผลดีเพื่อจำหน่ายในประเทศมาทำการชุบด้วยนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้าและนำมาทดสอบพฤติกรรมการต้านความล้าตามมาตรฐาน JIS Z2276 และความเสียดทานตามมาตรฐาน ASTM G133 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบตัวแปลงแม่พิมพ์ขนาดกลาง หรือโครงสร้างอื่นๆ ของเครื่องจักรกลที่ต้องการนำไปใช้เพื่อให้มีอายุการทำงานที่ยาวนาน การทดสอบนี้ได้นำวัสดุเหล็กที่ชุบนิกเกิลแล้วตามมาตรฐาน ASTM B733 ที่มีความหนาของการชุบนิกเกิล 5 ความหนา ตั้งแต่ 10, 20, 30, 40 และ 50 μm . เป็นต้น โดยเริ่มทดสอบตั้งแต่รอบการทำงานต่ำตั้งแต่รอบที่หนึ่งพันรอบจนถึงอายุการทำงานที่เกินล้านรอบ พบว่าแนวโน้มของชิ้นงาน มีอายุการใช้งานที่รอบสูงขึ้นโดยมีรอบการทำงานต่ำสุดเมื่อชุบที่ความหนา 10 μm . ในภาระ 31.20 kg. ที่ 1,053 รอบ (cycle) และสูงสุดคือไม่แตกหักในภาระ 6 kg. โดยที่ผิวยังไม่แตกเลยจากการชุบหนาสุด 50 μm . ภาระ 31.20 kg. สามารถทำงานได้ที่ 1,637 รอบ โดยที่ผิวมีรอยแตกเลยจากเล็กน้อยส่วนภาระที่ 6 kg. วัสดุไม่มีการแตกหัก

คำสำคัญ: ความล้า, นิกเกิล, แบบรองแม่พิมพ์, การชุบ, ความเสียดทาน

Abstract

This research shows about the behavior of mild steel that coated by nickel without using electric. This kind of steel is generally used. This research focuses on how to find instead materials which are cheap and made in Thailand to make a nickel plated steel. And then bring it to the behavior experimented of the anti-fatigue by JIS Z2276 standard and satire by ASTM G133. The result can be used for making mold-adaptor and structure of machine that need a long working life with abrasion resistance and changing temperature. According to the experiment, there will be 5 different electroless nickel plated steel by ASTM B733 standard used, which are 10, 20, 30, 40 and 50 μm . thick. Beginning by testing at low speed rate at 1,000 rpm to more than 1,000,000 rpm. The result of the experiment shows that the work piece has a more work rate. Nickel plated steel with thickness 10 μm with load 31.20 kg with minimum rate is 1,053 rpm and the maximum rate is >1,000,000 life with load 6 kg. By that the surface doesn't sesame difference pattern. And nickel plated steel with thickness 50 μm with load 31.20 kg with minimum rate is

1637 rpm and maximum is >1,000,000 rpm with load 6 kg. At the surface finds some of sesame difference pattern but it's quite indifferent.

Keywords: fatigue, nickel, mold adaptor, electroless, Friction



ความนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการส่งเสริมให้เป็นฐานการผลิตสำหรับการส่งออกรถยนต์ซึ่งในการผลิตรถยนต์หนึ่งคันต้องอาศัยการสนับสนุนจากบริษัทที่มีความสามารถผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ประเภทต่าง ๆ เช่น ชิ้นส่วนไฟฟ้า ตัวถัง พลาสติกและอื่น ๆ อีกมากมาย ในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ต้องนำเข้าเครื่องจักรจากต่างประเทศเมื่อเครื่องจักรสึกหรอต้องมีการนำเข้าอะไหล่เพื่อนำมาเปลี่ยนในเครื่องจักรนั้นโดยเฉพาะชิ้นงานที่เกี่ยวข้องกับแม่พิมพ์ โดยปกติแม่พิมพ์เหล่านี้จะมีส่วนประกอบแม่พิมพ์หรือแบบรองแม่พิมพ์ ที่มีอัตราการสึกหรอสูงเนื่องด้วยต้องสัมผัสกับไอน้ำและถูกรูดกับชิ้นส่วนอื่นตลอดเวลา การป้องกันการสึกหรอทำได้หลายแบบขึ้นอยู่กับองค์ความรู้และการออกแบบของผู้ผลิต

ในปัจจุบันการชุบนิกเกิลแบบใช้และไม่ใช้ไฟฟ้ามีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องด้วยการชุบนิกเกิลมีประโยชน์ทางด้านการป้องกันการกัดกร่อน การสึกหรอเนื่องจากการใช้งานหนัก (Salih, 2013) โดยอุตสาหกรรมที่นิยมใช้เป็นอุตสาหกรรมทางด้านชิ้นส่วนยานยนต์ แม่พิมพ์ เครื่องจักรในเหมืองแร่ อุตสาหกรรมเคมีและอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่ต้องการการป้องกันการกัดกร่อนและการสึกหรอ

การศึกษาอิทธิพลของการชุบนิกเกิลที่มีผลต่อความล้ามีการศึกษาและทดสอบออกเป็นสองรูปแบบ คือ ทดสอบความล้าทันทีหลังชุบนิกเกิล (Puchi, 1996; Berrios, 1998; Garcés, 1999; Contreras, 1999; Pertuz, 2000) และการทดสอบความล้าจากการกัดกร่อนหลังจากนำชิ้นงานไปทำการเร่งการกัดกร่อนจากหมอกเกลือ (NaCl 3% by weight) (Salih, 2013; Chitty, 1997)

จากผลการทดสอบความล้าที่ผ่านมาในรูปแบบของความล้าที่ทดสอบทันทีหลังจากชุบ (Puchi, 1996)

ได้ทำการทดสอบความล้าที่รอบการทำงานสูงของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด AISI 1010 และ AISI 1045 โดยการทดสอบนี้ได้ทำการแบ่งชิ้นทดสอบเป็นสามกลุ่มคือชิ้นงานที่ไม่ได้ชุบ ชิ้นงานที่ชุบนิกเกิลปกติและชิ้นงานที่ชุบนิกเกิลแล้วนำไปผ่านกระบวนการอบอ่อน (Anneal) ที่อุณหภูมิ 1,000 เคลวิน ปล่อยให้เย็นในอุณหภูมิห้อง ความหนาของชิ้นงานที่ชุบอยู่ที่ 20-22 μm . พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนมีความสามารถในการต้านความล้าสูงสุด รองลงมาคือชิ้นงานชุบปกติและสุดท้ายคือชิ้นงานที่ไม่ได้ชุบ จากผลการทดสอบนี้มีการวิจัยในระยะต่อมาโดย (Berrios, 1998) โดยมุ่งเน้นไปที่ความหนาของการชุบนิกเกิลจะมีผลต่อความล้าหรือไม่โดยการทดสอบยังคงใช้เหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1045 นำไปทำชิ้นงานและขัดเงา จากนั้นจึงชุบนิกเกิลที่ความหนา 17, 17 และ 37 μm . และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 673 เคลวิน พบว่าชิ้นงานที่ชุบแล้วนำไปอบอ่อนมีความสามารถในการต้านความล้าสูงสุดและชิ้นงานที่ชุบนิกเกิลที่มีความหนา 17, 17 และ 37 μm . และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 673 เคลวิน พบว่าชิ้นงานที่ชุบแล้วนำไปอบอ่อนมีความสามารถในการต้านความล้าสูงสุดและชิ้นงานที่ชุบนิกเกิลที่มีความหนา 17, 17 และ 37 μm . และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 673 เคลวิน พบว่าชิ้นงานที่ไม่ได้ชุบมีความสามารถในการต้านความล้าสูงสุดรองลงมาคือชิ้นงานที่ชุบนิกเกิล 25 μm . และสุดท้ายชิ้นงานที่ชุบนิกเกิล 17 μm . ที่ผ่านการอบอ่อนทั้งสองตัว จากผลการทดสอบนี้ผู้วิจัยได้ลงความคิดเห็นเพิ่มเติมว่าชิ้นงานที่มีความแข็งแรงสูงเมื่อนำไปชุบนิกเกิลจะทำให้ความสามารถในการต้านความล้าลดลงในส่วนของการชุบแบบเชิงพาณิชย์ (commercial) ที่มีการชุบในปริมาณมาก ๆ (Pertuz, 2000) ทำการศึกษาผลกระทบของ

การชุบกับความล้าในเหล็กเกรด SAE 4140 โดยชิ้นงานที่นำไปทดสอบถูกแบ่งออกเป็นสี่กลุ่มคือ ชิ้นงานที่ไม่ได้ชุบ ชิ้นงานที่ชุบนิกเกิลหนา 20 μm . ชิ้นงานที่ผ่านการบากร่อง (Notch) และชิ้นงานที่บากร่องและชุบ พบว่าชิ้นงานที่มีความสามารถในการต้านความล้าสูงสุดคือชิ้นงานที่ไม่ได้ชุบ รองลงมาคือชิ้นงานที่ชุบมีค่าการต้านความล้าลดลงร้อยละ 88 ส่วนชิ้นงานที่บากร่องและไม่ได้ชุบนิกเกิลจะมีความสามารถในการต้านความล้ามากกว่าชิ้นงานที่บากร่องและชุบนิกเกิล

การศึกษาในรูปแบบที่สองที่เป็นการศึกษาความล้าที่เกิดจากการกัดกร่อน (Chitty, 1997) ทำการศึกษาอิทธิพลของการชุบนิกเกิลต่อการต้านทานความล้าจากการกัดกร่อนของเหล็กเกรด AISI 1045 โดยแบ่งชิ้นงานเป็นสามกลุ่ม กลุ่มที่หนึ่งเป็นชิ้นงานที่ไม่ชุบนิกเกิล กลุ่มที่สองเป็นชิ้นงานที่ชุบนิกเกิลหนา 20 μm . และกลุ่มที่สามชุบนิกเกิลและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 473 เคลวิน นำชิ้นงานไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความล้าแบบดัดกลับที่มีห้องปิดควบคุมการฉีดหมอกเกลือที่ความเข้มข้นเกลือ (NaCl) ที่ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักผลทดสอบพบว่าชิ้นงานที่ชุบนิกเกิลมีความสามารถในการต้านความล้าสูงสุด รองลงมาคือชิ้นงานที่ชุบนิกเกิลและอบอ่อนสุดท้ายคือชิ้นงานที่ไม่ได้ชุบนิกเกิล หลังจากนั้น (Salih, 2013) ทำการทดสอบเพิ่มเติมจากงานของ (Chitty, 1997) โดยการทดสอบนี้เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำกว่าร้อยละ 0.2 ผลการทดสอบที่สำคัญคือชิ้นงานที่ชุบและไม่ได้ชุบนิกเกิลเมื่อนำไปควบคุมในห้องทดสอบที่มีหมอกเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ทั้งไว้หนึ่งเดือนพบว่าชิ้นงานที่ไม่ชุบนิกเกิลมีความสามารถในการต้านความล้าน้อยกว่าชิ้นงานที่ชุบนิกเกิลหนา 6 μm . จากงานวิจัยในสองชิ้นหลังนี้พบว่า การชุบนิกเกิลทำให้ความสามารถในการต้านความล้ามากกว่าชิ้นงานปกติ

จากผลการศึกษาที่ผ่านมาไปสู่การหาวัสดุทดแทนวัสดุเดิมที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศโดยมุ่งเน้นไปที่วัสดุที่สามารถจัดหาได้ในประเทศรวมทั้งกระบวนการผลิตนั้นยังต้องสามารถผลิตได้ในประเทศไทยด้วย โดยชิ้นงานที่นำมาทดสอบเป็นเหล็กเกรด SS400 มีค่าความเค้นจุดครากในช่วง 250-280 MPa ความเค้นประลัยที่ 400 MPa เพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านความล้า

ตามแนวทางของ (Puchi, 1996)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาอิทธิพลของการชุบนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้าของเหล็กเกรด SS400 ที่มีผลต่อความล้าและความเสียหาย

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

อิทธิพลของการชุบนิกเกิลที่มีต่อความล้า จากผลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การชุบนิกเกิลมีอิทธิพลต่อความล้าในสามรูปแบบคือ รูปแบบแรกไม่มีผลต่อความล้า รูปแบบที่สองทำให้ความสามารถในการต้านความล้าลดลง ส่วนรูปแบบที่สามความสามารถในการต้านความล้าเพิ่มขึ้น แนวความคิดแบบแรกถูกนำเสนอโดย (Safraneck, 1959) ได้แนะนำว่าชิ้นงานที่มีค่าการต้านแรงดึงมากกว่า 1,400 MPa สามารถที่จะชุบนิกเกิลได้โดยไม่มีผลต่อความล้า แนวคิดนี้ถูกสนับสนุนโดยงานวิจัยของ (Izumi, 1975) และ (Reinhardt, 1979) จากผลการทดสอบที่ได้พบว่า การชุบนิกเกิลไม่มีผลต่อความล้าที่ชัดเจน

ในรูปแบบที่สอง (Spahn, 1964) และ (Narcus, 1967) พยายามหาปัจจัยต่างๆ จากการชุบนิกเกิลที่มีผลต่อความล้า เช่น ปริมาณฟอสฟอรัสและค่าความเป็นกรดและด่างของบ่อชุบ และทำการทดสอบปัจจัยตามที่ตั้งสมมติฐานพบว่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลทำให้ชิ้นงานมีความสามารถในการต้านทานความล้าลดลงร้อยละ 10-46 แนวคิดนี้ถูกสนับสนุนโดยงานของ (Wu, 1999) ทำการทดสอบโลหะอัลลอยด์ที่มีคาร์บอนประมาณ ร้อยละ 0.3 พบว่าความสามารถในการต้านทานความล้าลดลง

รูปแบบที่สามเป็นผลการทดสอบที่ให้ผลตรงกันข้ามกับแบบที่สองคืองานวิจัยของ (Kehrer, 1982) และงานวิจัยของ (Puchi, 1996) ที่ให้แนวความคิดว่าการชุบนิกเกิลทำให้ชิ้นงานมีความสามารถในการต้านความล้าเพิ่มขึ้นจากผลการวิจัยที่ออกมาหลายรูปแบบ (Tahera, 2003) ทำการศึกษาและหาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อความล้าเมื่อชิ้นงานผ่านการชุบนิกเกิล โดยปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ประกอบด้วย ปริมาณฟอสฟอรัสที่ผิวความหนาในการชุบ กระบวนการทางความร้อน

หลังการชุบ และความสามารถในการเกาะติดชิ้นงาน มาจากความเหนียวของชิ้นงานปัจจัยเหล่านี้สืบเนื่อง มาจากพฤติกรรมจากการชุบเป็นหลัก พฤติกรรมแรก การชุบนิกเกิลจะส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติของผิว ของชิ้นงาน พฤติกรรมที่สองการชุบนิกเกิลที่มีปริมาณ ฟอส-ฟอรัสไม่เท่ากันและมีการอบอ่อนจะทำให้ชิ้นงาน มีความแข็งแรงและเปราะมากขึ้น โดยธรรมชาติของผิวนิกเกิล จะมีความเปราะ สามารถเกิดการร้าวที่ผิวได้ง่าย ในการชุบ นิกเกิลสิ่งหนึ่งที่เกิดขึ้นเสมอคือการเกิดความเค้นภายใน ของชิ้นงานเป็นได้ทั้งความเค้นกดและความเค้นดึง (Gawn & Ma, 1987) พบว่าการชุบนิกเกิลที่มีปริมาณฟอสฟอรัส มากกว่าร้อยละ 8 โดยน้ำหนักทำให้เกิดความเค้นภายใน แบบกด 2-50 MPa ต่อมา (Weil, 1990) ให้ข้อสังเกตว่า ความเค้นภายในที่เกิดจากการชุบนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า สามารถเปลี่ยนจากความเค้นดึงไปเป็นความเค้นกดได้ เมื่อมีปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

โดยทั่วไปแล้วการชุบนิกเกิลที่ทำให้เกิดความเค้น ภายในเป็นความเค้นดึงจะทำให้เกิดการร้าวที่ผิวได้ง่ายกว่า การเกิดความเค้นกดดังนั้นจึงมีการปรับปรุงคุณภาพผิว ก่อนการชุบโดยการยิงเม็ดโลหะก่อนชุบ (shot peening) (Marcelino, 2002)

สัมประสิทธิ์ความเสียหายของชิ้นงานที่ผ่านการชุบนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้าศึกษาโดย (Tahera, 2002) โดยชิ้นงานที่นำมาทดสอบคือเหล็กเกรด AISI 1010 เป็นชิ้นงานที่ผ่านการชุบนิกเกิลในปริมาณสูง ปานกลาง และต่ำเพื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานพื้นฐานโดยผลลัพธ์ที่ได้ พบว่าความเสียหายแห่งของชิ้นงานที่ผ่านการชุบนิกเกิล ทุกชิ้นงานมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยและมีค่าต่ำกว่าชิ้นงาน ที่ไม่ได้ชุบประมาณร้อยละ 10 และน้อยกว่าชิ้นงานปกติ ที่ไม่ได้ชุบและหล่อลื่นด้วยน้ำมันประมาณร้อยละ 5

สมมติฐานของการวิจัย

จากผลงานวิจัยของ (Kehrer, 1982; Puchi, 1996) พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการชุบนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้ามีความ สามารถในการต้านความล้าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะงานวิจัย ของ (Puchi, 1996) ทดสอบกับเหล็กเกรด AISI 1010 และ AISI 1045.ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าเหล็กเกรดทั้งสองชนิด

มีความสามารถในการต้านความล้ามากกว่าเหล็กที่ไม่ได้ ชุบประมาณร้อยละสิบ

ผลงานวิจัยของ (Puchi, 1996) นำมาสู่การหาวัสดุ และกระบวนการในการทดแทนชิ้นงานเครื่องจักรที่เป็น ตัวแปลงแม่พิมพ์ที่ใช้งานในโรงงานฉีดโฟม ตัวแปลง แม่พิมพ์นี้ทำจากเหล็กที่มีต้นกำเนิดจากต่างประเทศ ในการเปลี่ยนอะไหล่ชิ้นนี้ต้องการสร้างขึ้นเพื่อใช้งานเอง แทนวัสดุเดิม แต่ยังขาดองค์ความรู้ในเรื่องของ ความสามารถในการต้านความล้า การต้านการสึกกร่อน การทนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ดังนั้นชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบนิกเกิล แบบไม่ใช้ไฟฟ้ามีอิทธิพลต่อความสามารถความสามารถ ในการต้านทานต่อความล้าของเหล็กเกรด SS400

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็นสองขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกเป็นการออกแบบการทดสอบและ ในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการทดสอบเพื่อหาผลว่าชิ้นงาน ที่ผ่านการชุบนิกเกิลมีอิทธิพลต่อการต้านความล้าหรือไม่

ในการทดสอบวัสดุที่จะนำมาใช้ทำตัวแปลง แม่พิมพ์ จำเป็นต้องทราบค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุและ ค่าภาระที่จะนำมาแขวนทดสอบซึ่งมีวิธีการคำนวณดังนี้

การหาขีดจำกัดความทนทานหรือขีดจำกัดความล้า (fatigue limit)

ใช้วิธีการประมาณค่าขีดจำกัดความทนทาน (สำหรับการคงอยู่ 50% ที่หนึ่งล้านรอบ) ในกรณีของ การตัด (วิธีธี อิงภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน, 2543)

$$S'n = 0.5 Su \quad (1)$$

โดย Su คือ ค่า ความเค้นสูงสุดสำหรับชิ้นทดสอบวัสดุ ทำจากเหล็กเกรด SS400 จากตาราง 1 มีค่าความเค้นสูงสุด เท่ากับ 400 MPa.

$$Su = 400 \text{ MPa.}$$

แทนค่า Su ในสมการ(1)

$$S'n = 0.5 (400) \text{ MPa.}$$

$$S'n = 200 \text{ MPa.}$$

ตาราง 1

คุณสมบัติทางกลเมื่อทดสอบด้วยเครื่อง Tensile Test และ Hardness (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 16 มม.)

Grade	Y.S.(MPa)	T.S.(MPa)	%EL(min)	Hardness
SS400	245	400	21	130HB

ตาราง 2

ส่วนประกอบทางเคมีโดยน้ำหนัก (% composition by weight)

C	Si	P/S	Cr	Mo	V
0.13-0.18	0.15-0.35	0.050(max)	-	-	-

เนื่องจากการทดสอบมีปัจจัยหรือตัวประกอบต่าง ๆ ที่ทำให้ความเค้นสูงสุดของวัสดุลดลงซึ่งจำเป็นต้องนำมาพิจารณาด้วย เพื่อให้การหาค่าขีดจำกัดความทนทานมีค่าแม่นยำมากขึ้นโดยตัวประกอบต่างๆ มีดังนี้ ตัวประกอบของผิว (surface factor: Cs)

ผิวของชิ้นทดสอบความล้าที่ใช้ในห้องปฏิบัติการจะผ่านกระบวนการขึ้นรูปแบบกลึงและสม่ำเสมอตามแนวแกนแต่ในการใช้งานจริงชิ้นส่วนของเครื่องจักรถูกขึ้นรูปด้วยกระบวนการที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพผิวของชิ้นงานด้วย โดยคุณภาพผิวของชิ้นงานส่งผลโดยตรงต่อความเค้นสูงสุดของวัสดุ ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดค่าตัวประกอบผิวสำเร็จขึ้นมาโดยชิ้นงานเหล็กที่นำมาทดสอบ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีการกลึงผิว มีความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 400 MPa มีค่าตัวประกอบผิว Cs = 0.8 (Juvinal, 2006)

ขนาดของชิ้นงานมีผลต่อขีดจำกัดความล้า โดยเมื่อขนาดเพิ่มขึ้นความเค้นสูงสุดจะลดลง สำหรับชิ้นงานทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm. มีค่า Cs = 0.90 (Juvinal, 2006)

ตัวประกอบของแรง (load factor: Cl)

เนื่องจากวัสดุโดยทั่วไปมีคุณสมบัติในการรับความเค้นได้น้อยกว่าความเค้นดึงหรือกด ในกรณี

ของความเค้นสูงสุดก็เช่นเดียวกัน จากการทดสอบพบว่าขีดจำกัดความทนทาน สำหรับการเหนืมนี้น้อยกว่าการดึง ตัวประกอบที่ใช้ลดค่าขีดจำกัดความทนทานจากการดึงนี้เรียกว่าตัวประกอบของแรง ซึ่งมีค่าแตกต่างกัน (Juvinal, 2006)

$$S_n = S'_n C_l C_s C_g \quad (2)$$

$$S_n = (0.5)(400)(1)(0.8)(0.9)$$

$$S_n = 144 \text{ MPa}$$

จาก ค่าขีดจำกัดความทนทานที่คำนวณได้จากการนี้ได้ว่าถ้านำชิ้นงานไปใช้งานที่มีค่าความเค้นไม่เกินกว่า 144 MPa (Juvinal, 2006) ชิ้นงานสามารถใช้งานหรือรับภาระงานได้โดยไม่เกิดการล้าหรือการแตกหักเสียหายที่เกินหนึ่งล้านรอบสำหรับค่าขีดจำกัดความทนทาน ในรอบหรือวัฏจักรการใช้งานต่ำกว่า 10^6 ครั้ง เราสามารถหาค่าขีดจำกัดความทนทาน (S_n) โดยประมาณจากสมการของเส้นระหว่าง $S'_n = 0.9 S_u$ และที่ $n = 10^6$ ครั้ง ซึ่ง $S'_n = 0.5 S_u$ โดยใช้สมการดังนี้ (วิธีที่ อิงการณ์ และชาญ อดุลงาน, 2543)

$$S_n = S'_n \left[\frac{10^6}{n} \right]^{0.09} \quad (3)$$

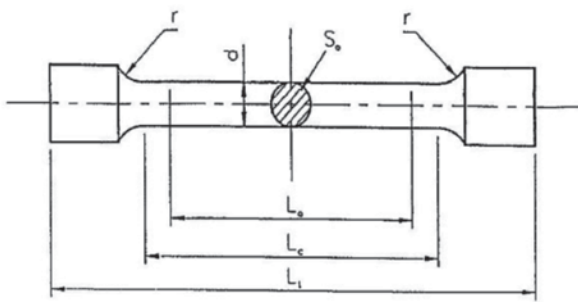
จากสมการที่(3) คำนวณอายุการใช้งานในช่วงรอบหรือวัฏจักรการใช้งานที่ $n = 10^3, 10^4, 10^5$ ได้ผลดังตาราง

ตาราง 3

ค่าที่ได้จากการคำนวณ ระหว่างรอบหรือวัฏจักร (n) ขีดจำกัดความทนทาน (S_n) และน้ำหนักที่ใช้แขวนทดสอบ (w)

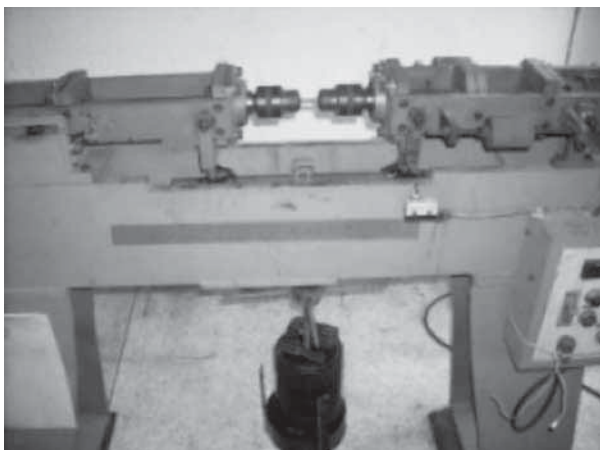
วัฏจักร (cycle)	ขีดจำกัดความทนทาน S_n (MPa.)	มวลทดสอบ (kg.)
10^3	372.41	31.8
10^4	302.71	25.85
10^5	246.05	21.01
10^6	144	12.29
$>10^6$	75	6

การออกแบบชิ้นงานทดสอบ (JIS Z2274)



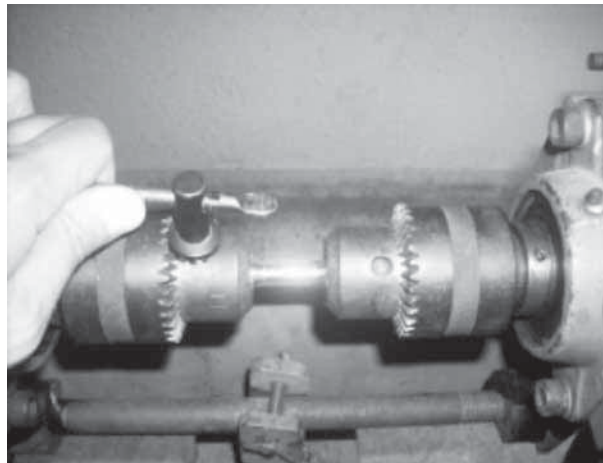
ภาพ 1 มิติของชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน JIS Z2274

ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบมีมิติคือ $S_o = 50 \text{ mm}^2$, $d = 7.98 \text{ mm}$, $L_o = 40$, $r = 8 \text{ mm}$ ชิ้นงานทั้งหมดผลิตสำเร็จมาจากกระบวนการตัดกลึง แบ่งชิ้นงานออกเป็นสองกลุ่มคือกลุ่มที่ไม่มีการชุบนิเกิล ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งคือกลุ่มที่มีการชุบนิเกิล ในกลุ่มที่มีการชุบนิเกิลจะชุบที่ความหนาตั้งแต่ 10, 20, 30, 40 และ 50 μm . ในหนึ่งความหนามีชิ้นทดสอบ 15 ชิ้น แบ่งเป็นที่ใช้จัดจำกััดความทนทาน (Fatigue Strength) 372.41, 302.71, 246.35, 144 และ 75 MPa อย่างละ 3 ชิ้นทดสอบ การทดสอบเป็นการทดสอบแบบการดัด



ภาพ 2 แสดงลักษณะเครื่องทดสอบความล้า (รอบการหมุนคงที่ 1,430 รอบต่อนาที)

กลั๊บบแบบครบรอบ (fully rotating bending machine) มีอัตราส่วนความเค้น $R = -1$ (Juvinal, 2006) การทดสอบความล้ากระทำโดยการนำชิ้นงานเข้าไปติดตั้งบริเวณหัวจับทั้งสองด้านและแขวนภาระลงไปเพื่อให้ได้ความเค้นตามที่ออกแบบไว้



ภาพ 3 แสดงการติดตั้งชิ้นงาน



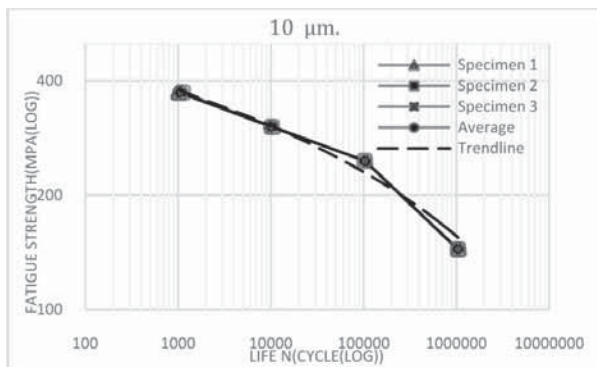
ภาพ 4 แสดงชิ้นงานเรียงจากซ้ายไปขวาเริ่มจากชิ้นงานที่ไม่ชุบนิเกิลตามด้วยชิ้นงานที่ชุบนิเกิล ที่ความหนา 10, 20, 30 และ 50 μm .

ผลการวิจัย

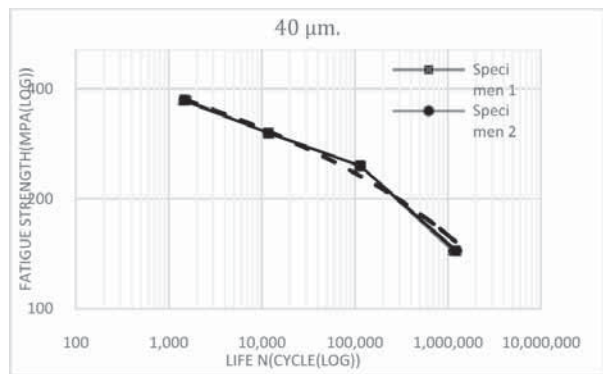
ตาราง 3

แสดงผลการทดสอบความล้าของชิ้นงานทดสอบที่ชุบนิกเกิลและไม่ชุบนิกเกิล

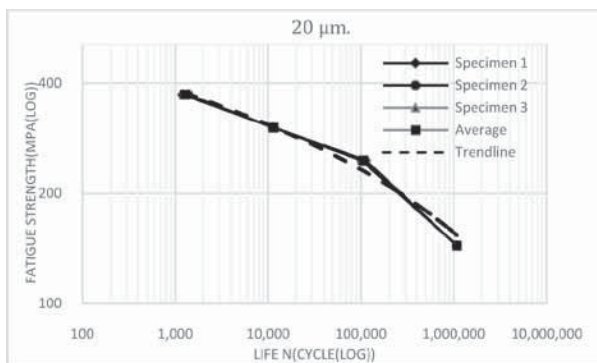
ความหนาที่ชุบ ($\mu\text{m.}$)	มวลแขนทดสอบ (kg.)	จำนวนรอบ เป้าหมาย (cycle)	ขีดจำกัด ความทนทาน (Fatigue Strength(MPa))	จำนวนรอบที่ทดสอบได้ (cycle)			ค่าเฉลี่ย
				การทดสอบ ครั้งที่ 1	การทดสอบ ครั้งที่ 2	การทดสอบ ครั้งที่ 3	
10	31.2	1000	372.41	1014	1,123	1,021	1,053
	25.3	10000	302.71	10,472	10,211	9,786	10,156
	20.6	100000	246.05	104,335	102,156	104,563	103,685
	12	1000000	144	1,053,457	1,034,569	1,045,908	1,044,645
	6	>1000000	75	ไม่ขาด	ไม่ขาด	ไม่ขาด	ไม่ขาด
20	31.2	1000	372.41	1,205	1,379	1,239	1,274
	25.3	10000	302.71	11,453	11,267	11,445	11,388
	20.6	100000	246.05	113,425	102,389	103,409	106,408
	12	1000000	144	1,069,678	1,082,356	1,085,673	1,079,236
	6	>1000000	75	ไม่ขาด	ไม่ขาด	ไม่ขาด	ไม่ขาด
30	31.2	1000	372.41	1302	1,577	1,147	1,342
	25.3	10000	302.71	11,621	11,652	11,702	11,658
	20.6	100000	246.05	114,755	114,534	114,010	114,433
	12	1000000	144	1,197,865	1,132,358	1,135,498	1,155,240
	6	>1000000	75	ไม่ขาด	ไม่ขาด	ไม่ขาด	ไม่ขาด
40	31.2	1000	372.41	1,578	1,456	1,398	1,477
	25.3	10000	302.71	11,702	11,678	12,009	11,796
	20.6	100000	246.05	114,892	114,225	114,341	114,486
	12	1000000	144	1,124,908	1,249,087	1,243,500	1,205,832
	6	>1000000	75	ไม่ขาด	ไม่ขาด	ไม่ขาด	ไม่ขาด
50	31.2	1000	372.41	1578	1712	1620	1,637
	25.3	10000	302.71	11,600	11,799	11,900	11,766
	20.6	100000	246.05	114,500	115,090	115,190	114,927
	12	1000000	144	1,267,509	1,278,056	1,200,760	1,248,775
	6	>1000000	75	ไม่ขาด	ไม่ขาด	ไม่ขาด	ไม่ขาด
ชิ้นงานที่ไม่ชุบ นิกเกิล	31.2	1000	372.41	526	445	577	516
	25.3	10000	302.71	8653	8711	8669	8,678
	20.6	100000	246.05	82,735	82,561	82,135	82,477
	12	1000000	144	932,883	912,766	924,307	923,319
	6	>1000000	75	1,104,567	1,178,654	1,129,087	1,137,436



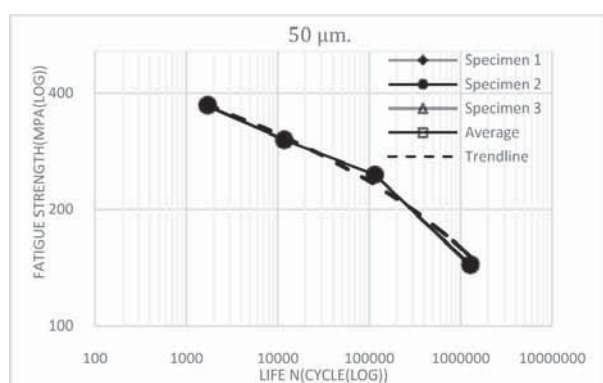
ภาพ 5 แสดงแผนภาพความเค้นสูงสุดที่กระทำกับรอบการทำงานที่การชุบนิกลึกหนา 10 μm .



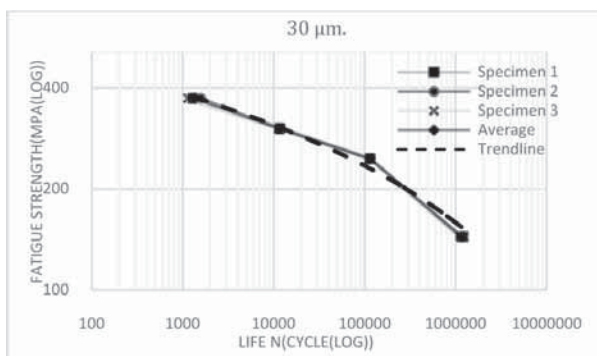
ภาพ 8 แสดงแผนภาพความเค้นสูงสุดที่กระทำกับรอบการทำงานที่การชุบนิกลึกหนา 40 μm .



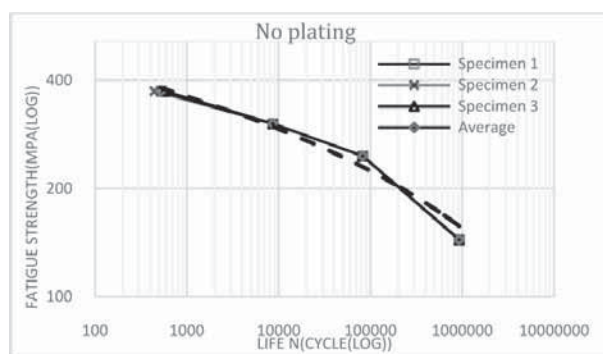
ภาพ 6 แสดงแผนภาพความเค้นสูงสุดที่กระทำกับรอบการทำงานที่การชุบนิกลึกหนา 20 μm .



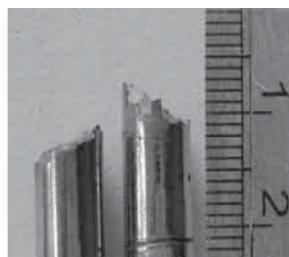
ภาพ 9 แสดงแผนภาพความเค้นสูงสุดที่กระทำกับรอบการทำงานที่การชุบนิกลึกหนา 50 μm .



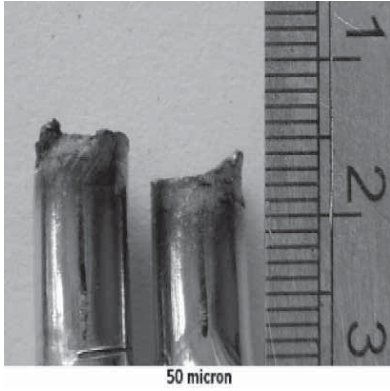
ภาพ 7 แสดงแผนภาพความเค้นสูงสุดที่กระทำกับรอบการทำงานที่การชุบนิกลึกหนา 30 μm .



ภาพ 10 แสดงแผนภาพความเค้นสูงสุดที่กระทำกับรอบการทำงานที่ไม่มีการชุบนิกลึก



ภาพ 11 ตัวอย่างชิ้นงานที่ชุบนิกลึกความหนา 10-40 μm . หลังทดสอบความล้า

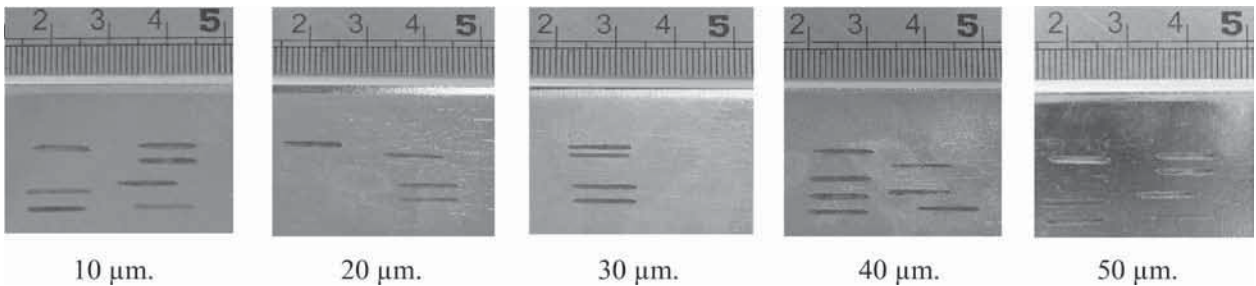


ภาพ 12 ตัวอย่างชิ้นงานที่ชุบนิเกิลความหนา 50µm.หลังทดสอบความล้า

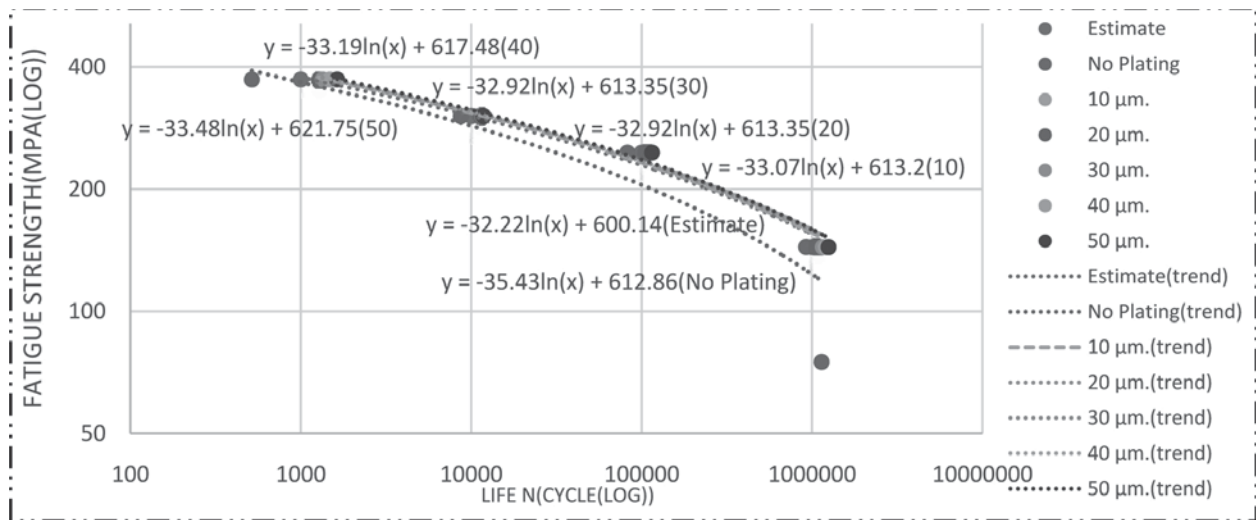
ตาราง 4

ผลการทดสอบการเสียดทานด้วยเครื่อง Micro-Tribometer (ตามมาตรฐาน ASTM G133 จากห้องปฏิบัติการพลังงานชีวภาพ ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ)

Coating thickness	Coefficient of friction (COF)			
	1	2	3	Average
10 µm.	0.54	0.52	0.51	0.52
20 µm.	0.55	0.54	0.53	0.54
30 µm.	0.56	0.58	0.56	0.57
40 µm.	0.56	0.56	0.58	0.57
50 µm.	0.54	0.56	0.54	0.55



ภาพ 13 ตัวอย่างผิวชิ้นงานที่ชุบนิเกิลความหนา 10-50 µm.หลังทดสอบความเสียดทาน



ภาพ 14 แสดงแผนภาพการประมาณค่า (trend line) ความเค้นสูงสุดที่กระทำ กับรอบการทำงานที่การชุบความหนาต่างๆ เปรียบเทียบกับไม่ชุบและการประมาณค่า

จากภาพ 14 สมการ trendline ของแต่ละความหนาที่ชุบและไม่ชุบนิกเกิลสามารถที่จะหาอายุการทำงานที่หนึ่งล้านรอบได้เป็น

ชิ้นงานที่ไม่ชุบมี Fatigue strength เท่ากับ 123.79 MPa

ชิ้นงานชุบหนา 10 μm . มี Fatigue strength เท่ากับ 156 MPa

ชิ้นงานชุบหนา 20 μm . มี Fatigue strength เท่ากับ 156 MPa

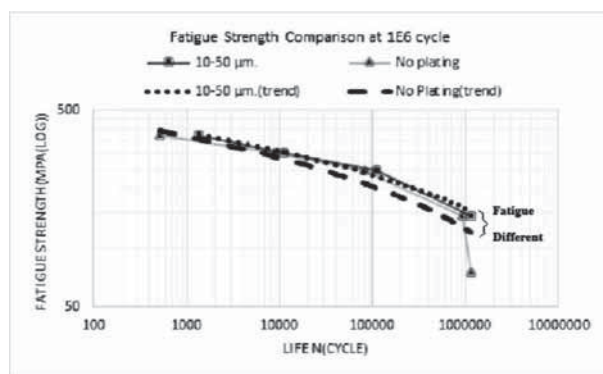
ชิ้นงานชุบหนา 30 μm . มี Fatigue strength เท่ากับ 158 MPa

ชิ้นงานชุบหนา 40 μm . มี Fatigue strength เท่ากับ 159 MPa

ชิ้นงานชุบหนา 50 μm . มี Fatigue strength เท่ากับ 159 MPa

มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 157.86 MPa

การสังเคราะห์หาความแตกต่างความเค้นที่เกินหนึ่งล้านรอบ (Juvinal, 2006)



ภาพ 15 แสดงแผนภาพความแตกต่างความเค้นที่การทดสอบหนึ่งล้านรอบของชิ้นงานที่ชุบและไม่ชุบนิกเกิล

อภิปรายผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบความสามารถในการทนต่อความล้า พบว่าชิ้นทดสอบที่ชุบด้วยนิกเกิลมีแนวโน้มในการต้านทานต่อความล้าเพิ่มขึ้น ตามผลการทดสอบของ (Puchi, 1996) เมื่อความหนาที่ชุบเพิ่มขึ้น โดยจะให้การต้านความล้าสูงสุดที่ขนาดความหนาในการชุบ 50 μm . ซึ่งเป็นผล

โดยตรงมาจากที่ชิ้นงานมีความเรียบสม่ำเสมอทำให้ตัวประกอบของผิวดีขึ้น แต่เนื่องจากข้อจำกัดในด้านการเคลือบผิว ซึ่งไม่สามารถทำการเคลือบผิวได้หนาเกินกว่า 50 μm . เพราะความหนาของชิ้นงานเริ่มไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งชิ้นและอีกประการหนึ่งก็ที่จะทำให้การยึดเกาะของนิกเกิลลดลงทำให้เกิดการหลุดร่อนได้ง่าย เมื่อลองทำการชุบเกิน 70-80 μm . และ 90-100 μm . ผิวเริ่มแตกเมื่อนำมาทำการบิดเพียงเล็กน้อยหากต้องการนำไปใช้งานจริงในการผลิตตัวแปลงแม่พิมพ์ค่าความหนาที่เหมาะสมที่สุดคือไม่ควรเกิน 50 μm . ไปมากนักเพราะที่ค่านี้ผิวยังคงมีสภาพที่ดี ส่วนสัมประสิทธิ์ความเสียหายพบว่า มีผลไปในแนวทางเดียวกันกับ (Tabera, 2002) ชิ้นทดสอบที่ชุบผิวด้วยนิกเกิลความหนาต่างกัน ค่าสัมประสิทธิ์การเสียหาย (COF) มีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สาเหตุเนื่องมาจากผิวเคลือบของนิกเกิลเกาะติดแน่นอยู่กับชิ้นทดสอบ โดยไม่มีการหลุดร่อนของผิวออกมา ถึงแม้ความหนาในการชุบจะแตกต่างกันก็ตาม ทำให้ผลการทดสอบค่า COF มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนความแตกต่างที่เกิดขึ้นเล็กน้อยนั้น เนื่องมาจากความเรียบของผิวโลหะที่อาจแตกต่างกัน ในการนำไปใช้งานจริงผิวเคลือบนิกเกิลซึ่งมีความลื่นจะช่วยลดแรงเสียหาย

สรุปผล

จากการทดสอบความสามารถในการทนต่อความล้าและการเสียดสีของวัสดุเหล็กประเภท SS400 โดยนำไปชุบด้วยนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้าที่ความหนาต่างกัน 5 ขนาด คือ 10 μm ., 20 μm ., 30 μm ., 40 μm ., และ 50 μm ., พบว่าความหนาในการชุบที่แตกต่างกันมีผลต่อความสามารถในการทนต่อความล้าของวัสดุ

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 15 ซึ่งเป็นการนำผลทดสอบความสามารถในการทนต่อความล้าของวัสดุที่ไม่ได้ชุบด้วยนิกเกิลและชุบด้วยนิกเกิลความหนา 10 μm . ถึง 50 μm . มาทำการเปรียบเทียบกันพบว่า ชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการชุบจะมีความสามารถในการทนต่อความล้าหรือวัฏจักรในการใช้งานต่ำที่สุด คือ 516 รอบ ที่ความเค้น 372.41 MPa และ ความสามารถในการทนต่อความล้าจะเพิ่มขึ้นตามความหนาที่ชุบ โดยที่ความหนา 50 μm . มีความสามารถในการทนต่อความล้าสูงสุดที่ภาระเดียวกัน

ที่ 1,637 รอบ มีอายุการทำงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 217 และที่หนึ่งล้านรอบชิ้นงานที่ชุบหนา 10-50 μm . มีขีดจำกัดความทนทานมากกว่าชิ้นงานไม่ชุบร้อยละ 27 เมื่อพิจารณาจากสภาพผิวเคลือบนิกเกิล หลังทำการทดสอบพบว่าผิวเคลือบยังคงติดแน่นอยู่กับชิ้นงานไม่มีการหลุดร่อนออกจากชิ้นงาน โดยมีลักษณะเดียวกันในทุกความหนาที่ชุบ

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4 ผลการทดสอบการทนต่อการเสียดสี หรือสัมประสิทธิ์การเสียดทาน (COF) พบว่าที่ความหนา 10 μm . มีค่า COF เฉลี่ยเท่ากับ 0.52, ที่ 20 μm . มีค่า COF เฉลี่ยเท่ากับ 0.54, ที่ 30 μm . มีค่า COF เฉลี่ยเท่ากับ 0.57, ที่ 40 μm . มีค่า COF เฉลี่ยเท่ากับ 0.57, ที่ 50 μm . มีค่า COF เฉลี่ยเท่ากับ 0.55 ซึ่งเมื่อพิจารณาค่า COF ตามขนาดความหนาในการชุบทั้ง 5 ขนาดแล้ว พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ข้อเสนอแนะ

ค่าความหนาในการชุบที่เหมาะสมในการทดสอบครั้งนี้คือ 50 μm . แต่การชุบนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า นั้นสามารถทำได้หนาที่สุดถึง 200 μm แต่อาจเกิดปัญหาในการยึดเกาะ ดังนั้นในการนำไปใช้งานหากการชุบมีประสิทธิภาพผู้ใช้งานอาจปรับเปลี่ยนความหนาในการชุบให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ในส่วนของการวิเคราะห์สภาพผิวหลังแตกหักในการวิจัยครั้งต่อไปควรใช้การถ่ายภาพด้วยอัตราส่วนขยายให้มากกว่านี้เพื่อวิเคราะห์สภาพผิวในระดับจุลภาค

ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบซ้ำจากการวิจัยและทดสอบในครั้งก่อนหน้าอันเนื่องมาจากเครื่องทดสอบที่ทดสอบมีการสั่นที่ค่อนข้างรุนแรงในการทดสอบความล้า ด้วยการดัดกลับนี้ เครื่องทดสอบควรมีการปรับตั้งให้เครื่องอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์และควรมีการติดตั้งตัวจับการสั่นสะเทือนแบบไฮดรอลิกส์ที่สามารถปรับตั้งความถี่ได้ตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ เพราะการจับแรงสั่นสะเทือนด้วยยาง ทำได้เพียงเล็กน้อย เมื่อมีการสั่นอย่างรุนแรง จะทำให้แรงสะเทือนกลับไปที่ชิ้นงานได้

ผลการทดสอบนี้มีเฉพาะข้อมูลความสามารถในการต้านการล้าของวัสดุหลังจากชุบนิกเกิลเท่านั้น การจะออกแบบตัวแปลงแม่พิมพ์ที่ต้องรับภาระทั้งแรงความร้อน การกัดกร่อน ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการกัดกร่อนจากความล้า (corrosion fatigue) และการคืบ (creep) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการทำนายอายุการใช้งานของชิ้นงาน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยรวมทั้งนิสิตช่วยงานวิจัยทุกท่าน



เอกสารอ้างอิง

- วิธีทรี อิงภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน. (2543). *การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- Berrios, J. A., Staia, M. H., Hernandez, E. C., Hintermann, H. & Puchi, E. S. (1998). Effect of the thickness of an electroless Ni-P deposit on the mechanical properties of an AISI 1045 plain carbon steel. *Surface & Coating Technology*, 1998(108-109), 466-472.
- Chitty, J., Pertuz, A., Hintermann, H., Staia, M. H. & Puchi, E. S. (1997). Influent of electroless Ni-P deposit on the corrosion-fatigue properties of an AISI 1045 steel. *Thin Solid Film*, 1997(308-309), 430-435.
- Contreras, G., Fajardo, C., Berrios, J. A., Pertuz, A., Chitty, J., Hintermann, H. & Puchi, E. S. (1999). Fatigue properties of an AISI 1045 steel coated with an electroless Ni-P deposit. *Thin Solid Film*, 1999(355-356), 480-486.

- Garces, Y., Sanchez, H., Berrios, J., Pertuz, A., Chitty, J., Hintermann, H. & Puchi, E. S. (1999). Fatigue behavior of a quenched and tempered AISI 4340 steel coated with an electroless Ni-P deposit. *Thin Solid Film*, 1999(355-356), 487-493.
- Gawn, D. T. & Ma, U. (1987). Structure and wear of electroless nickel coatings. *Material Science and Technology*, 1987(3), 228-238.
- Juvinal, R. C. & Marshek, K. M. (2006). *Fundamentals of Machine Component Design* (4th ed.). Singapore: John Wiley & Sons.
- Kehrer, H. P., Ziese, J. & Hoffman, F. (1997). Physical and electromechanical characteristic of electroless nickel on carbon steel. *Proceeding of the International Conference on Computer Methods and Experimental Measurements for Surface Treatment Effects*, 1997(1), 47-59
- Marcelino, P., Nascimento, P. M., Torres, A. S., Souza, R. C. & Voorwald, J. C. (2002). Effect of shot peening pre treatment on the fatigue behavior of hard chromium on electroless nickel interlayer coated AISI 4340 aeronautical steel. *Material research*, 2002(5), 95-100.
- Narcus, H. (1967). Plating. *Plating Technology*, 1967(4), 381.
- Pertuz, A., Berrios, J. A. & Puchi Cabrera, E. S. (2000). Influence of commercial electroless Ni-P deposit on the fatigue properties of a notched and unnotched SAE 4140 steel, *Surface & Coating Technology*, 2000 (133-134), 572-582.
- Puchi, E. S., Staia, M. H., Hintermann, H., Pertuz, A. & Chitty, J. (1996). Influence of Ni-P electroless coating on the fatigue behavior of plain carbon steels. *Thin Solid Film*, 1996(290-291), 370-375.
- Salih, S. A., Mehdi, A. S. & Alsaegh, A. S. (2013). Study the effect of nickel coating on fatigue life of low carbon steel exposed to corrosive environments, *Journal of Environment and Earth Science*, 2013(3), 121-128.
- Spahn, H. (1964). Transaction institute. *Metal Finishing*, 1964(42), 365-379.
- Weil, R., Parker, K., Mallory, G. O. & Hajdu, J. B. (1990). Electroless plating fundamentals and application, *American Electroplating and Surface Finishers Society*, 1990(1), 62-66
- Wu, Y., Zang, Y. & Yao, M. (1995). Effect of electroless nickel plating on fatigue strength of 30CrMoA, *Plating and Surface finishing*, 1995(1), 83-85.

Translated Thai References

- Aungpakorn, W. & Thanatngan, C. (2000). Machine Design Book I (3rd ed.). Bangkok: SE-ED. (in Thai)

