

ผลกระทบของการทำ ชอท ฟินนิ่ง ที่มีต่อวัสดุแม่พิมพ์ชุบขึ้นรูปร้อน เกรด JIS-SKD61

Effect of a Shot Peening on Hot Forging Die Material JIS-SKD61 Grade

ภาสพวิทย์ วัชรศรีสำโรง^{1*}, สมคิด ทะรา², กุศล พร้อมมูล² และ ญัฐชานันท์ อังศุเรณีย์³

¹ ศูนย์เทคโนโลยีแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ นนทบุรี 11000

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

³ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี ปทุมธานี 12000

*ติดต่อ: b.sresomroeng@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของวัสดุแม่พิมพ์ชุบขึ้นรูปร้อนหลังการปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการชอท ฟินนิ่ง วัสดุขึ้นทดสอบเป็นเหล็กกล้าเครื่องมืองานร้อนเกรด JIS-SKD61 ที่ผ่านการปรับสภาพผิวเบื้องต้นต่างกันคือ กรณีชุบแข็ง และกรณีชุบแข็ง+ไนตรายดิ่ง แล้วทำการเปรียบเทียบกับกรณีไม่ผ่านการปรับสภาพผิวเบื้องต้น การทดสอบทำโดยการยิงลูกเหล็กหล่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 มิลลิเมตร ด้วยหัวยิงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.0 มิลลิเมตร ที่แรงดันลม 10 บาร์ กำหนดให้ระยะห่างระหว่างหัวยิงกับชิ้นทดสอบเท่ากับ 150 มิลลิเมตร และทำมุมยิง 90° กับชิ้นทดสอบ ผลการทดสอบพบว่า การปรับสภาพผิวเบื้องต้นที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณความเค้นตกค้างและการต้านทานความล้าของชิ้นทดสอบที่ผ่านการ ชอท ฟินนิ่ง ต่างกัน ชิ้นทดสอบที่ผ่านการชุบแข็ง+ไนตรายดิ่ง แล้วนำมาทำ ชอท ฟินนิ่ง มีความเค้นอัดตกค้างสูงสุดคือ -1222 เมกะปาสคาล ส่งผลให้ชิ้นทดสอบดังกล่าวมีค่าการต้านทานความล้าสูงกว่าชิ้นทดสอบที่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวเบื้องต้น

คำหลัก: ชอท ฟินนิ่ง, วัสดุแม่พิมพ์, ชุบขึ้นรูป

Abstract

The purpose of this research was to study the properties of hot forging die material after shot peening process. The specimens used were hot work tool steel JIS-SKD61 grade. Prior to the shot peening process, the specimens were prepared as non-treated and treated surface conditions including hardening and hardening+nitriding. For the shot peening process, cast iron balls of 0.4 millimeter in diameter, shooting nozzle of 6 millimeter, air pressure of 10 bar, standoff distance of 150 millimeter, and impingement angle of 90° were used. The result has shown that, after shot peening process, different surface treatments resulted in different residual stress quantity and fatigue resistance. The shot peened specimen after hardening+nitriding provided the maximum residual compressive stress at -1222 MPa leading to the highest fatigue resistance found in this study.

Keywords: Shot Peening, Die Material, Forging

1. บทนำ

การชุบขึ้นรูปเป็นกระบวนการผลิตที่มีความสำคัญต่อการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องการรูปร่างและความแข็งแรงที่เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic Deformation) ของเนื้อวัสดุชิ้นงาน โดยทั่วไปการชุบขึ้นรูปแบ่งได้ 2 ชนิด คือการชุบขึ้นรูปเย็นและการชุบขึ้นรูปร้อน การชุบขึ้นรูปร้อนแตกต่างจากการขึ้นรูปเย็น ด้วยการให้อุณหภูมิแก่ชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปสูงกว่าอุณหภูมิเกิดผลึกใหม่ (Recrystallization Temperature) [1] ทำให้สามารถขึ้นรูปชิ้นงานขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนรวมไปถึงชิ้นงานที่ถูกออกแบบให้มีการเปลี่ยนรูปมาก ๆ ได้ดี [2] แต่ปัญหาที่พบจากกระบวนการชุบขึ้นรูปร้อน คืออายุการใช้งานของแม่พิมพ์สั้นกว่าการชุบขึ้นรูปเย็น ทำให้ต้องบำรุงรักษาหรือเปลี่ยนแม่พิมพ์ใหม่บ่อยครั้งกว่า ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตทั้งด้านต้นทุนและเวลา ตัวแปรที่มีผลต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์ประกอบด้วย 1) ชนิดและคุณภาพวัสดุทำแม่พิมพ์ 2) การออกแบบและการผลิตแม่พิมพ์ 3) กระบวนการทางความร้อนและการปรับสภาพผิวแม่พิมพ์ และ 4) ขั้นตอนและตัวแปรในการชุบขึ้นรูป สำหรับกลไกความเสียหายของแม่พิมพ์ชุบขึ้นรูปเมื่อใช้งานไปได้ระยะเวลาหนึ่งจะเกิดความล้า (Fatigue) และการสึกกร่อน (Wear) ขึ้น ทั้งนี้อาจจะเกิดจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งหรือเกิดพร้อมกันก็ได้ [3] ในปัจจุบันถึงแม้ว่าการผลิตแม่พิมพ์จะยืดอายุการใช้งานโดยการผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment) ด้วยการชุบแข็ง (Hardening) หรือเคลือบผิว (Surface Coating) ด้วยวิธีการต่างๆ แต่อายุการใช้งานของแม่พิมพ์สำหรับการผลิตชิ้นงานบางลักษณะก็ยังคงสั้นอยู่ จึงมีความจำเป็นต้องการที่จะยืดอายุการใช้งานออกไปอีกทั้งนี้งานผลิตชิ้นส่วนโดยทั่วไปพบว่าผู้ผลิตชิ้นส่วนจะไม่สามารถปรับเปลี่ยนการออกแบบแม่พิมพ์หรือปรับเปลี่ยนชนิดวัสดุชิ้นงานหรือขั้นตอนการผลิตของลูกค้าได้ ดังนั้นเทคนิคการปรับสภาพผิวแม่พิมพ์ให้สามารถใช้งานได้

ยาวนานขึ้นจึงมีบทบาทเพื่อช่วยอายุการใช้งานของแม่พิมพ์

ชอท ฟินนิง (Shot Peening) เป็นวิธีการปรับสภาพผิวทางกลวิธีการหนึ่งที่มีความนิยมนำมาใช้ปรับสภาพผิวโลหะโดยใช้หลักการยิงวัสดุทรงกลมที่มีความแข็ง (Shot Media) เข้าไปปะทะกับผิวชิ้นงาน ผลจากการปะทะดังกล่าวทำให้ชิ้นงานเกิดรอยบวมและสร้าง ความเค้นตกค้างให้กับผิวชิ้นงานและบริเวณใกล้เคียงที่สึกลงไป [3-6] ขนาดและความลึกของความเค้นที่เกิดขึ้นกับเนื้อวัสดุชิ้นงานจะขึ้นอยู่กับความแข็งของชิ้นงานที่ต้องการปรับสภาพผิว ความเร็วในการยิงลูกเหล็ก ขนาด และความแข็งของลูกเหล็ก [7-8] ทำให้ปัจจุบันมีการใช้ ชอท ฟินนิง ในภาคอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะใช้สำหรับปรับปรุงคุณสมบัติของผิวชิ้นงานในกระบวนการผลิตและปรับปรุงคุณภาพของชิ้นส่วนอากาศยานและยานยนต์ รวมถึงงานวิจัยด้วยเช่นกัน [9-13] งานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ชอท ฟินนิง เพื่อยืดอายุแม่พิมพ์ยังพบไม่มากนัก [14-16] ซึ่งเน้นศึกษาตัวแปรเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำชอท ฟินนิง โดย Lee et al. [16] ทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นบนแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุ JIS-SKD61 จากการทำ ชอท ฟินนิง ในการศึกษาใช้แรงดันลม 4.51 บาร์ ยิงลูกบอลที่ทำจากวัสดุเหล็กหล่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกันคือ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิเมตรด้วยหัวยิงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร โดยมีระยะห่างระหว่างหัวยิงกับชิ้นงาน (Standoff Distance) เท่ากับ 250 มิลลิเมตร บนวัสดุแม่พิมพ์เหล็กกล้าเครื่องมืองานร้อนเกรด JIS-SKD61 ที่ผ่านการชุบแข็ง วัดค่าความแข็งผิวชิ้นงานได้เท่ากับ 48 HRC ผลการศึกษพบว่า ชอท ฟินนิง ที่ใช้ลูกบอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 มิลลิเมตร ทำให้ผิวชิ้นงานที่ผ่านการ ชอท ฟินนิง มีความหยาบผิว (Surface Roughness) มากที่สุด สำหรับเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด คือใช้ลูกบอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 มิลลิเมตร แรงดันลม 4.51 บาร์ เป็นเวลา 30 นาที ช่วยให้แม่พิมพ์ทนการสึกกร่อนได้ดีที่สุด สามารถ

ยึดอายุแม่พิมพ์ทุบขึ้นรูปร้อนให้ใช้งานได้นานขึ้นได้ 2 เท่า จากงานวิจัยดังกล่าวเป็นการศึกษาการยึดอายุแม่พิมพ์ด้วยการ ขอท ฟินนิ่ง จากการทุบขึ้นรูปจริง ไม่มีการวัดสมบัติทางกลของแม่พิมพ์ที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพ เช่นค่าความเค้นตกค้าง (Residual Stress) ในเนื้อวัสดุแม่พิมพ์ และทดสอบหาค่าต้านทานความล้าของแม่พิมพ์ที่ผ่านการทำ ขอท ฟินนิ่ง ซึ่งมีรายงานว่าค่าความเค้นตกค้างในเนื้อวัสดุชิ้นงานมีผลโดยตรงต่อความสามารถต้านทานความล้าตัวของวัสดุชิ้นงาน และมีผลต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์ [4-6] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาผลกระทบของการทำ ขอท ฟินนิ่ง ที่มีต่อวัสดุทำแม่พิมพ์ทุบขึ้นรูปร้อนเกรด JIS-SKD61 ที่ผ่านกระบวนการเตรียมสภาพผิวเบื้องต้นต่างกัน โดยเปรียบเทียบค่าความเค้นตกค้างในเนื้อวัสดุ

2. การทดลอง

2.1 การออกแบบการทำ ขอท ฟินนิ่ง

การทำ ขอท ฟินนิ่ง มีตัวแปรหลายตัวที่ต้องนำมาพิจารณาเพื่อให้เกิดความเค้นอัดตกค้าง (Compressive Residual Stress) บนผิวชิ้นงานที่ผ่านการทำ ขอท ฟินนิ่ง เป็นไปตามความต้องการ จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการทำ ขอท ฟินนิ่ง มีตัวแปรของกระบวนการหลายตัวที่ต้องพิจารณา [7] ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้ 1) สมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ยิงชิ้นงาน จะพิจารณาถึงความหนาแน่น และความแข็ง เป็นหลัก เนื่องจากวัสดุที่มีความแข็งมากจะต้านทานการเสียรูปหรือเปลี่ยนรูป (Deformation) ได้ดี ส่งผลให้สร้างความเค้นอัดบนชิ้นงานที่ต้องการยิงได้ดีด้วย โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นทรงกลมเพื่อให้เกิดการสัมผัสกับชิ้นงานเป็นจุด ดังนั้นจึงนิยมนำโลหะทรงกลมมาใช้ [14] ขนาดของลูกโลหะที่เหมาะสมจะมีผลต่อ ความเข้มอิ่มตัว (Saturation Intensity) อัตราการครอบคลุมการยิงลูกโลหะ (Coverage Rate) และความลึกในการสร้างชั้นความเครียดแข็ง (Work Hardened Layer) ที่เกิดขึ้นบน

ผิววัสดุชิ้นงานที่ผ่านการยิง [17] กรณีที่ใช้ลูกโลหะที่มีขนาดเล็กจะให้ความหนาผิวดีและสร้างปริมาณความเค้นสลับ (Stress Amplitude) ได้มากกว่าการใช้ลูกโลหะขนาดใหญ่ แต่ลูกโลหะที่มีขนาดใหญ่กว่าจะสร้างความเค้นอัดตกค้างที่ผิวชิ้นงานได้ลึกกว่า [18] 2) ขนาดของหัวยิง ในการทำ ขอท ฟินนิ่ง แบบใช้แรงดันลม นั้น ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการยิงลูกโลหะ เช่นการยิงลูกโลหะในงานขัดละเอียด (Fine Abrasive) ขนาดหัวยิงมาตรฐานจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร [8,10,16] 3) ความดันลม (Pressure) ทั่วไปในการทำ ขอท ฟินนิ่ง จะใช้ความดันลมอยู่ในช่วง 0.38 – 8.00 บาร์ [7,10,15-16] หรืออาจจะสูงถึง 10.00 บาร์ สำหรับงานบางลักษณะ [19-20] ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับวัสดุชิ้นงานที่ต้องการยิง กรณีใช้ความดันลมในการยิงลูกโลหะสูงจะทำให้เกิดอาร์คไฮ (Arc Height) หรือความสูงการโก่ง (โค้ง) ของแผ่นทดสอบ ดังรูปที่ 1 [16] 4) มุมกระทบ (Impingement Angle) จากการศึกษาของ Renaud [8] พบว่าการกำหนดให้มุมกระทบของหัวยิงตั้งฉากกับชิ้นงานที่ทำกรยิง (90°) มีความเหมาะสมกับการทำ ขอท ฟินนิ่ง มากที่สุด 5) ระยะห่างระหว่างหัวยิงกับชิ้นงาน โดยทั่วไปจะกำหนดอยู่ในช่วง 100 - 300 มิลลิเมตร [7, 13, 15,] 6) ระยะเวลาและจำนวนรอบในการยิง (Exposure Time and Number of Passes) จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุของลูกบอลที่ใช้ยิง และ 7) ความสัมพันธ์ของความเร็วในการเคลื่อนที่ระหว่างหัวยิงกับชิ้นงาน (Linear and Rotational Speed) จากดังกล่าว ผู้วิจัยจึงนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดค่าตัวแปรในการทำ ขอท ฟินนิ่ง แบบใช้แรงดันลม หัวยิงเดี่ยว รายละเอียดดังตารางที่ 1

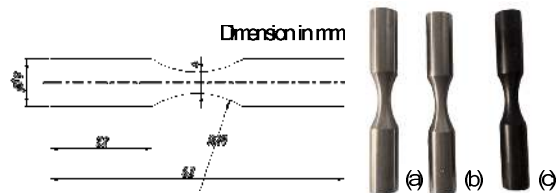
การตรวจสอบอัตราการครอบคลุมการยิงลูกโลหะ ในการทำ ขอท ฟินนิ่ง บนเนื้อวัสดุทดสอบใช้ปากกาพิน ตารางที่ 1 ตัวแปรกระบวนการ ขอท ฟินนิ่ง

Parameter	Value
Shot type	Spherical cast steel

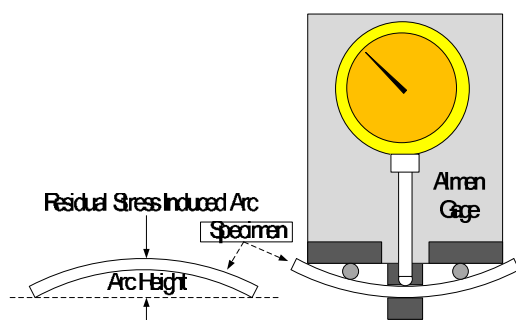
Hardness	42-47 HRC
Shot size	(SAE J444) S110 average size 0.4 [mm]
Standoff Distance	150 [mm]
Nozzle Diameter	6 [mm]
Impingement Angle	90°
Air Pressure	10 [bar]
Exposure Time	25 [second]

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุ JIS-SKD61

C	Si	Mn	P	Cr	Mo	V
0.35	0.97	0.45	0.008	5.35	1.24	0.81



รูปที่ 2 ขนาดชิ้นทดสอบ และชิ้นทดสอบ (a) Non-treated (b) Hardening และ (c) Hardening+Nitriding



รูปที่ 1 การวัด อาร์คไฮ ด้วยอัลเมนเกจ

สแกน (Peen-scan Pen) ตรวจวัดชิ้นทดสอบที่ทำการทาสีพินสแกนไว้ สำหรับการตรวจวัดอาร์คไฮ (Arc Height) จะใช้แผ่นอัลเมน (Almen Strip) ชนิด A และอัลเมนเกจ (Almen Gage) รุ่น TSP-jr วิธีการวัดแสดงดังรูปที่ 1

2.2 ชิ้นทดสอบ และการทดสอบสมบัติทางกล

วัสดุชิ้นทดสอบทำจากเหล็กกล้าเครื่องมืองานร้อน (Hot Work Tool Steel) เกรด JIS-SKD61 ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้เป็นวัสดุสร้างแม่พิมพ์ชุบขึ้นรูปร้อน ส่วนประกอบทางเคมีของชิ้นทดสอบดังกล่าวถูกวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีแบบกลาวดิสซาร์จออฟทิกคอลอิมิสชันสเปกโตรมิเตอร์ (Glow Discharge Optical Emission Spectrometer; GD-OES) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2

เหล็กกล้าเครื่องมืองานร้อนเกรด JIS-SKD61 ถูกเตรียมเป็นชิ้นทดสอบมีขนาดตามรูปที่ 2 จำนวน 15 ชิ้น ผ่านกระบวนการเตรียมสภาพผิวที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ชนิดละ 5 ชิ้น ประกอบด้วย 1) Non-treated คือ ชิ้นทดสอบที่มีผิวสำเร็จผ่านกรรมวิธีการผลิตเช่นเดียวกับการผลิตแม่พิมพ์ชุบขึ้นรูปร้อน แต่ไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยกรรมวิธีทางความร้อน 2) Hardening คือ ชิ้นทดสอบที่มีผิวสำเร็จผ่านกรรมวิธีการผลิตเช่นเดียวกับการผลิตแม่พิมพ์ชุบขึ้นรูปร้อนและผ่านการปรับสภาพผิวโดยการชุบแข็งด้วยกรรมวิธีทางความร้อน และ 3) Hardening+Nitriding คือ ชิ้นทดสอบที่มีผิวสำเร็จผ่านกรรมวิธีการผลิตเช่นเดียวกับการผลิตแม่พิมพ์ชุบขึ้นรูปร้อน และผ่านการปรับสภาพผิวโดยการชุบแข็งด้วยกรรมวิธีทางความร้อน แล้วนำไปทำไนไตรด์ (Nitriding) ที่อุณหภูมิอบชุบ 570°C ด้วยระยะเวลาอบชุบ 120 นาที

ก่อนและหลังการทำ ขอบ พินนิ่ง ชิ้นทดสอบทั้งหมดที่ผ่านการเตรียมสภาพผิวข้างต้น ถูกตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล โดยวัดความหยาบผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบผิวแบบเข็มลาก (Stylus) ยี่ห้อ Tokyo Seimitsu รุ่น Surfcom-120A ค่าความแข็งแบบร็อคเวลล์สเกล C (Rockwell Hardness Scale C; HRC) ของชิ้น



รูปที่ 3 เครื่องทดสอบความล้า

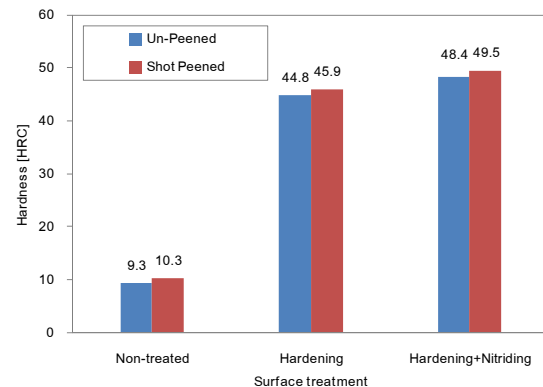
ทดสอบถูกวัดด้วยเครื่องวัดความแข็งยี่ห้อ Future-Tech รุ่น FR ค่าความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นทดสอบ ใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffractive; XRD) โดยใช้เครื่องยี่ห้อ X-Stress รุ่น 3000 G2/G2R สูดท้ายชิ้นทดสอบทั้งหมดจะถูกทดสอบความล้า ด้วยวิธีหมุนตัด ด้วยเครื่องยี่ห้อ HI-TECH ดังรูปที่ 3

3. ผลและการวิเคราะห์

3.1 ความแข็ง (Hardness)

โดยทั่วไปค่าความแข็งของวัสดุจะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าความแข็งแรง (Strength) ของวัสดุ วัสดุที่มีความแข็งสูง จะมีค่าความแข็งแรงสูงด้วย ผลการตรวจสอบค่าความแข็งของชิ้นทดสอบก่อนและหลังการทำ ชอท ฟีนนิ่ง ดังรูปที่ 4 พบว่า ชิ้นทดสอบทั้ง 3 ชนิด มีค่าความแข็งเฉลี่ยเพิ่มขึ้นหลังจากการทำ ชอท ฟีนนิ่ง ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดความเครียดแข็ง (Strain Hardening) ที่ผิวชิ้นงานเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนรูปถาวรจากการยิงลูกโลหะ (เป็นรอยบุ๋ม) สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [10-11] โดยชิ้นงาน Non-treated มีค่าความแข็งเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากที่สุด (ร้อยละ 10.75) เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นทดสอบอีกสองชนิดที่ผ่านการปรับสภาพผิวมาด้วยกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว คือชิ้นทดสอบ Hardening และชิ้นทดสอบ Hardening+Nitriding ที่มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 2.45 และ 2.27 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากความแข็งของชิ้น

ทดสอบ Non-treated ก่อนการทำ ชอท ฟีนนิ่ง มีค่าต่ำ จึงมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนรูปถาวรต่ำด้วย ดังนั้นเมื่อขึ้นทดสอบผ่านการทำ ชอท ฟีนนิ่ง ขึ้น

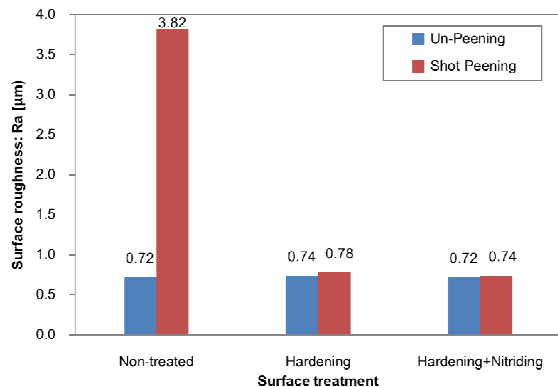


รูปที่ 4 ค่าความแข็งชิ้นทดสอบ

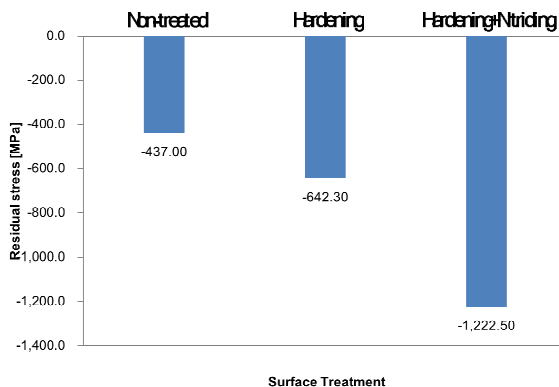
ทดสอบจึงเกิดการเปลี่ยนรูปถาวรมาก พิจารณาได้จากค่าความหยาบผิวที่เพิ่มสูงขึ้นหลังการทำ ชอท ฟีนนิ่ง ดังรูปที่ 5 ส่งผลให้เกิดความเครียดแข็งที่ผิวชิ้นทดสอบสูง จึงมีการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งสูงตามด้วย

3.2 ความหยาบผิว (Surface Roughness)

โดยทั่วไปการผลิตแม่พิมพ์นิยมกำหนดให้ผิวแม่พิมพ์ส่วนที่สัมผัสชิ้นงานเพื่อขึ้นรูปมีค่าความหยาบผิวต่ำสุดเพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัสของแม่พิมพ์กับชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปเพื่อลดปริมาณการสึกหรอของแม่พิมพ์และรวมไปถึงคุณภาพของผิวสุดท้ายของชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ดังกล่าว ผิวสุดท้ายของแม่พิมพ์ที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตด้วยการเจียรระไน (Grinding) จะมีค่าความหยาบผิว Ra ระหว่าง 0.2 – 1.6 μm หรือผิวแม่พิมพ์ที่ผ่านกรรมวิธีขัดละเอียด (Lapping) จะมีค่าความหยาบผิว Ra ระหว่าง 0.05 – 0.2 μm ทั้งนี้การกำหนดค่าความหยาบผิวในการผลิตแม่พิมพ์ ขึ้นกับ



รูปที่ 5 ค่าความหยาบผิวชิ้นทดสอบ



รูปที่ 6 ค่าความเค้นตกค้างของชิ้นทดสอบ

ชนิดของกรรมวิธีขึ้นรูป สำหรับผิวสุดท้ายของชิ้นงานที่ผลิตด้วยแม่พิมพ์หุบขึ้นรูปร้อนจะมีค่าความหยาบผิวชิ้นงาน Ra ที่ได้จากการผลิตอยู่ในช่วง 2-8 μm [1] ดังนั้นแม่พิมพ์หุบขึ้นรูปร้อนจึงกำหนดผิวสุดท้ายของแม่พิมพ์ด้วยการเจียระไน

ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นทดสอบที่ผ่านการปรับสภาพผิวทั้ง 3 ชนิด เปรียบเทียบก่อนและหลังการทำขอท ฟินนิ่ง แสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งพบว่ากรณีชิ้นทดสอบ Non-treated มีค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้นร้อยละ 430.56 เนื่องจากความแข็งของชิ้นทดสอบดังกล่าวไม่สามารถต้านทานการเปลี่ยนรูปถาวรจากแรงยิงของลูกโลหะ ขณะทำขอท ฟินนิ่ง ได้ ส่งผลให้เกิดเป็นรอยบุ๋มบนผิวชิ้น

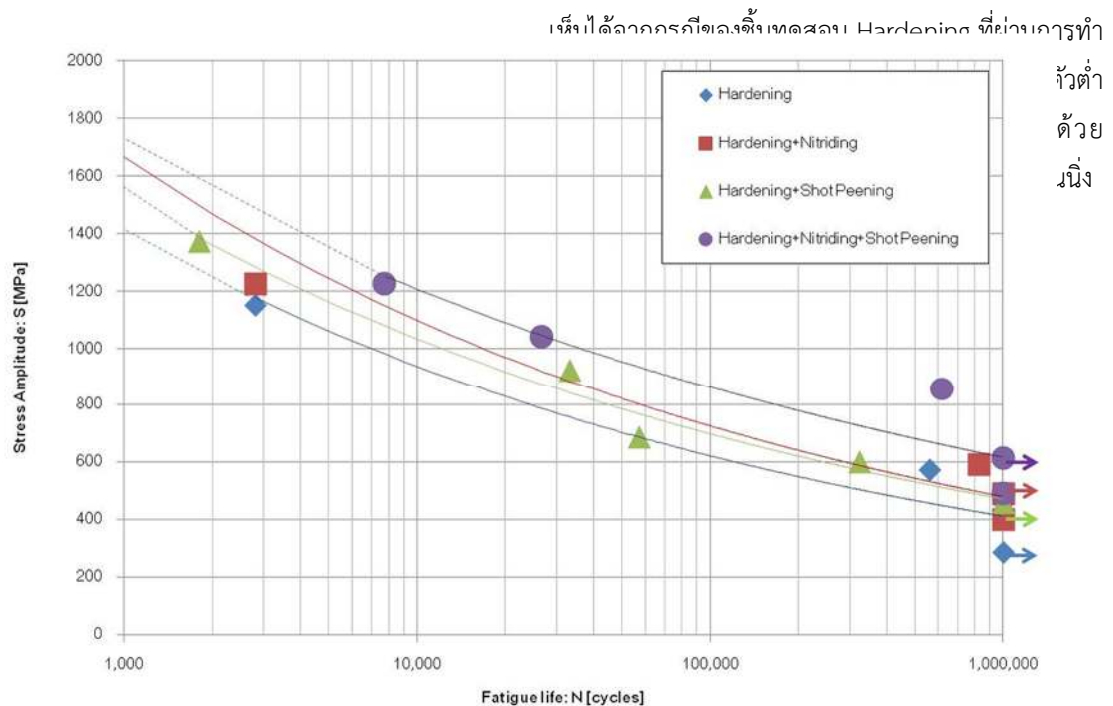
ทดสอบ สำหรับชิ้นทดสอบ Hardening และ Hardening +Nitriding มีค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 44.8 HRC และ 48.4 HRC ตามลำดับนั้น มีค่าความหยาบผิว Ra เพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุดร้อยละ 4.00 และ 2.77 ตามลำดับ แม้ว่าการทำ ขอท ฟินนิ่งทำให้ค่าความหยาบผิวสุดท้ายของชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้น แต่ยังคงมีค่าความหยาบผิวอยู่ในช่วงผิวเจียระไน จึงไม่จำเป็นต้องปรับค่าความหยาบผิวของผิวแม่พิมพ์ที่จะใช้การปรับสภาพผิวด้วยการทำ ขอท ฟินนิ่ง

3.3 ความเค้นตกค้าง (Residual Stress)

รูปที่ 6 แสดงค่าความเค้นตกค้างที่วัดได้จากชิ้นงานที่ผ่านการทำ ขอท ฟินนิ่ง ซึ่งพบว่าเป็นความเค้นอัด ชิ้นงาน Non-treated มีความเค้นตกค้างต่ำสุดคือ -437 MPa สำหรับ ชิ้น ท ด ส อ บ Hardening และ Hardening+Nitriding มีความเค้นตกค้างเท่ากับ -642 MPa และ -1222.5 MPa ตามลำดับ

โดยทั่วไปชิ้นงานที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยกรรมวิธีทางความร้อน จะมีความเค้นตกค้างเนื่องจากอุณหภูมิที่ทำให้โลหะเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ดังนั้นชิ้นทดสอบ Non-treated ที่ไม่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน จะมีปริมาณความเค้นตกค้างที่เกิดจากการทำ ขอท ฟินนิ่งเพียงอย่างเดียว ทำให้มีปริมาณความเค้นตกค้างต่ำสุด

ในขณะที่ชิ้นทดสอบ Hardening กับ Hardening +Nitriding ที่ผ่านการปรับปรุงสภาพผิวด้วยกรรมวิธีทางความร้อน จะมีความเค้นตกค้างจากกระบวนการดังกล่าว ร่วมกับการทำ ขอท ฟินนิ่ง ทำให้มีค่าความเค้นตกค้างสูง อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าความแข็ง และค่าความเค้นตกค้างของชิ้นทดสอบทั้ง 3 กรณีจากรูปที่ 4 และรูปที่ 6 พบว่าค่าความแข็งของชิ้นทดสอบมี



รูปที่ 7 การต้านทานความล้าของชิ้นทดสอบ

ความสัมพันธ์กับค่าความเค้นตกค้างของชิ้นทดสอบ โดยชิ้นทดสอบที่มีความแข็งแรงสูงจะมีค่าความเค้นตกค้างในชิ้นทดสอบสูงด้วย

3.4 การต้านทานความล้า (Fatigue Resistance)

ความสามารถในการต้านทานความล้าของชิ้นทดสอบในงานวิจัยนี้ ใช้การทดสอบความล้าแบบหมุนดัด (Cantilever Rotating Bending Fatigue Testing) โดยทดสอบเฉพาะกรณีชิ้นทดสอบผ่านการปรับสภาพผิวด้วยกรรมวิธีทางความร้อน เนื่องจากในการใช้งานวัสดุ JIS-SKD61 ในการทำแม่พิมพ์งานทุบขึ้นรูปร้อนนั้น จำเป็นต้องผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลของวัสดุดังกล่าว ดังนั้นจึงเลือกทดสอบกับชิ้นทดสอบที่ผ่านการปรับสภาพผิวคือ Hardening กับ Hardening+Nitriding แล้วเปรียบเทียบกับหลังการทำ โชต ฟินนิง ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 7

จากการทดสอบพบว่าการทำไนตไรด์ช่วยเพิ่มความสามารถต้านทานความล้าตัวของชิ้นทดสอบได้ ดัง

ช่วยเพิ่มความสามารถต้านทานความล้าของชิ้นทดสอบได้กับทั้ง 2 กรณี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [10-11,14,16-17]

เหตุผลที่ โชต ฟินนิง ช่วยเพิ่มความสามารถต้านทานความล้าตัวของชิ้นทดสอบได้นั้น เนื่องจากค่าความเค้นอัดตกค้างที่เกิดขึ้นบนชิ้นทดสอบบริเวณผิวชิ้นงานไปช่วยปรับลดปริมาณของไหลลที่กระทำต่อชิ้นงานซึ่งเป็นไปได้ทั้งความเค้นหรือความเครียด ซึ่งอาจเรียกว่า “ความเค้นสลับ” (Stress Amplitude) เมื่อค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานมีค่าเป็นลบ (เนื่องจากความเค้นอัด) และความเค้นต่ำสุดก็มีค่าเป็นลบ จะทำให้ขนาดของความเค้นสลับมีค่าน้อย และหากค่าความเค้นสลับที่ผิวชิ้นงานมีค่าน้อยมากๆ แสดงว่าผิวชิ้นงานที่มีความเค้นตกค้างอัดไม่ได้รับการสลับ ซึ่งทำให้ชิ้นงานจะไม่เสียหายเนื่องจากความล้า แต่กรณีที่ชิ้นทดสอบรับภาระสูง ค่าความเค้นอัดตกค้างจะช่วยยับยั้งการเกิดรอยแตก (Crack Initiation) ที่ผิวชิ้นงาน ทำให้ยืด



อายุความเสียหายของชิ้นงานออกไปได้ [14,16-17] ดังนั้นการทำ ชอท ฟีนนิ่ง จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อใช้ปรับปรุงสภาพผิวแม่พิมพ์เพื่อยืดอายุการใช้งาน อีกทั้งค่าความหยาบผิวที่เพิ่มขึ้นจากการทำ ชอท ฟีนนิ่ง ยังอยู่ในช่วงผิวที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตด้วยการเจียระไน จึงไม่ส่งผลให้ผิวสุดท้ายของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่ผ่านการปรับปรุงสภาพผิวด้วยการทำ ชอท ฟีนนิ่ง มีค่าเกินกำหนด

4. สรุป

จากการทดสอบ การทำ ชอท ฟีนนิ่ง บนชิ้นทดสอบวัสดุ JIS-SKD61 ที่ผ่านการเตรียมสภาพผิวต่างกัน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ชอท ฟีนนิ่ง ทำให้ชิ้นทดสอบมีค่าความแข็ง และค่าความหยาบผิวเพิ่มขึ้น
2. ชอท ฟีนนิ่ง ช่วยเพิ่มความสามารถต้านทานความล้าตัวของชิ้นทดสอบได้
3. ความเค้นอัดของชิ้นทดสอบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าความแข็งของชิ้นทดสอบ

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยปทุมธานี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Schuler, (1998). Metal Forming Handbook, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. p. 437
- [2] ASM International, (1993). Metals Hand Book Volume 14: Forming and Forging, ASM International. p. 214, 470, 1755
- [3] M. Kchaou et al, (2010). Failure mechanisms of H13 die on relation to the forging process – A

case study of brass gas valves, Int. J. of Eng. Failure Analysis, Vol. 17, 2010, pp. 403-415.

[4] ASM International, (1992). Metals Hand Book Volume 18: Friction, Lubrication, and Wear Technology, ASM International. p. 1308, 1311

[5] ASM International, (1996). Metals Hand Book Volume 19: Fatigue and Fracture, ASM International. p.391

[6] T. Totten, M. Hower and T. Inoue, (2002). Handbook of residual stress and deformation of steel, ASM International. p.12, 26

[7] Shot peening, URL: http://www.metalimprovement.com/shot_peening.php, access on 14/02/2017.

[8] F. Petit-Renaud, Optimization of the shot peening parameters, URL: <http://www.shotpeener.com/library/pdf/2002018.pdf>, access on 14/02/2017.

[9] A. Gariepy et al, (2012). Potential applications of peen forming finite element modeling, J. of Adv. Eng. Software, Vol. 52, 2012, pp. 60-71.

[10] R. John et al, (2009). Stability of shot-peen residual stresses in an titanium alloy, J. of Scripta materialia, Vol. 61, 2009, pp. 343-346.

[11] H.Y. Miao, et al (2010). Experimental study of shot peening and stress peen forming, Int. J. of Mat. Pro. Tech., Vol. 210, 2010, pp. 2089-2102.

[12] T. Chaise et al, (2012). Modeling of multiple impacts for the prediction of distortions and residual stress induced by ultrasonic shot peening (USP), J. of Mat. Pro Tech., Vol. 212, 2012, pp. 2080-2090.

- [13] D. Ciampini, M. Papini and J.K. Spelt, (2009). Modeling the development of Almen strip curvature in vibratory finishing, *Int. J. of Mat. Pro. Tech.*, Vol. 209, 2009, pp. 2923-2939.
- [14] T. Wang, M.J. Platts and J. Wu, (2008). The optimization of shot peen forming processes, *Int. J. of Mat. Pro. Tech.*, Vol. 206, 2008, pp. 78-82.
- [15] T. Sawada and A. Yanagitani, (2010). Properties of cold working tool steel shot peened by 1200HV-class Fe-Cr-B gas atomized powder as shot peening media, *Material Transactions*, Vol. 51, No. 4, 2010, pp. 735-739.
- [16] Y. Harada, K. Fukauara and S. Kohamada, (2008). Effect of microshot peening on surface characteristics of high-speed tool steel, *Int. J. of Mat. Pro. Tech.*, Vol. 201, 2008, pp. 319-324.
- [17] S.-H. Change, S.-C. Lee and T.-P. Tang, (2008). Effect of shot peening treatment on forging die life, *Material transaction, The Japan institute of metal*, Vol. 49, No. 3, 2008, pp. 619-623.
- [18] D. Kirk, (2009). Size and Variability of Cast Steel Shot Particles, URL: <http://www.shotpeener.com/library/detail.php?anc=2009005>
- [19] S. Matsumura and N. Hamasaka, (2006). *Komatsu technical report: High strength and compactness of gear by WHSP technology* 2006, vol.52, no. 158
- [20] E. Uhlmann and M. Krieg, shot peening with dry ice, URL: <http://www.gilsen.com/articles/shot%20peening%20paper.pdf>
- [21] S. Saga, P. Zerovnick and J. Grum, (2009). Surface layer after shot peening process by barkhausen noise signal, *Inter. Conf. of Slovenian Society for non-destructive testing*, pp. 539-548.