

ผลกระทบของกระบวนการกดรีดผิวด้วยเซรามิกบอลที่มีต่อความแข็งแรง

และความเค้นตกค้างในเหล็ก SKD11

อัศวิน ไบกว้าง¹, เอกรินทร์ ทองอนุ², สุกิจ ชัดซอนใบ³,

สทรฐ ถาวรรัตน์⁴, ภาคภูมิ จำปีเรือง⁵

^{1,2,3,4,5}วิทยาลัยเทคนิคลำปาง สถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ

E-mail: arkharawat4@gmail.com¹

Received: Jun 07, 2025

Revised: Jul 22, 2025

Accepted: Jul 29, 2025

บทคัดย่อ

การกดรีดผิวแข็งเป็นกระบวนการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของชิ้นผิวโลหะทำให้เกิดผิวชิ้นงานมีความแข็งแรง เกิดความเค้นตกค้างภายในส่งผลให้ผิวของชิ้นงานจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ชิ้นงานมีความหยาบผิวดีขึ้น ด้วยจุดเด่นของการกดรีดผิวแข็งนี้ทำให้สามารถนำไปพัฒนาการผลิตในงานอุตสาหกรรมได้หลากหลาย เช่นการผลิตใบพัดเรือ และการผลิตแม่พิมพ์ขึ้นรูปเป็นต้น เพื่อลดขั้นตอน เวลา และความเสียหายของขั้นตอนการผลิตอื่น ๆ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการกดรีดผิวแข็งวัสดุเหล็ก SKD11 ด้วยเซรามิกบอลชนิดซิลิกอนไนไตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ภายใต้เงื่อนไขแรงดันน้ำมันไฮดรอลิก 200, 400 และ 600 บาร์ ความลึกในการกดรีดผิวแข็ง 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิเมตร ความเร็วการเคลื่อนที่โต๊ะงานของการกดรีดผิวแข็ง 2000 มิลลิเมตร/นาที อัตราป้อน 0.1 มิลลิเมตร/รอบ เมื่อกดรีดผิวแข็งเสร็จนำชิ้นงานมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงความเค้นตกค้าง ค่าความหยาบผิว ค่าความแข็งชิ้นผิวของชิ้นงานกดรีดผิวแข็ง

จากผลการทดลองการกดรีดผิวแข็ง พบว่าแรงดันน้ำมันไฮดรอลิกและความลึกรีดผิวแข็ง มีอิทธิพลร่วมกันที่ส่งผลต่อความแข็งแรงผิวของชิ้นงานค่าความแข็งแรงผิวเฉลี่ยมีแนวโน้มที่สอดคล้องกันกับค่าความเค้นตกค้างโดยค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 629.4 MHV หรือเท่ากับ 57.8 HRC ที่เงื่อนไขแรงดันน้ำมันไฮดรอลิก 400 บาร์ ความลึกในการกดรีดผิวแข็ง 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งเทียบเท่ากับกระบวนการอบชุบโลหะ ค่าความหยาบผิวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการขึ้นภาพที่สามารถยอมรับได้ ความแข็งชิ้นผิวมีค่าเฉลี่ยเทียบเคียงกับกระบวนการอบชุบผิวแข็ง ทำให้การกดรีดผิวแข็งมีความแข็งแรงและความเค้นตกค้างเพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ: การกดรีดผิวแข็งด้วยเซรามิกบอล, ความแข็งแรงผิว, ความเค้นตกค้าง, เหล็ก SKD11

Impact of Ceramic Ball Burnishing Process on Surface Hardness and Residual Stress in SKD11

**Aakharawat Baikwang¹, Eakkarin Thonganu², Sukit Kutchonbai³,
Saharat Thavonrat⁴, Parkpoom Jampeerueng⁵**

^{1,2,3,4,5}Lampang Technical College, Institute of vocational Education: Northern Region

Email: arkharawat4@gmail.com¹

Received: Jun 07, 2025

Revised: Jul 22, 2025

Accepted: Jul 29, 2025

Abstract

A ball burnishing process is a process of improving the physical properties of metal surface layers. The process enhances the surface hardness, internal residual stress, and surface roughness of the workpiece. Accordingly, it has been used in a wide variety of industrial applications, such as ship propeller manufacturing and mold manufacturing, to shorten production times and reduce damage.

The purpose of this research was to study the ball burnishing process of the SKD11 steel with a silicon nitride ceramic ball measuring 8 mm in diameter, the hydraulic oil pressure of 200, 400 and 600 bar, and the hardened depth of 0.3, 0.5 and 0.7 mm at the speed of 2000 mm/ min and the feed rate of 0.1 mm /rev. When the workpiece was examined for surface hardness, residual stress, surface roughness, area of the burnished surface.

The results revealed that both the hydraulic oil pressure and the hardened depth influenced the surface hardness of the workpiece. The average surface hardness was found to be related to the internal residual stress value, with a maximum value of 629.4 MHV or 57.8 HRC, achieved at a hydraulic oil pressure of 400 bar and a hardened depth of 0.5 mm, which is equivalent to the result of a heat treatment process. The surface roughness was within acceptable machining standards. The average surface hardness could be compared to the result of a treatment process. Moreover, this results in increased hardness and residual stress.

Keywords: ceramic ball burnishing process, residual stress, surface hardness, SKD11

บทนำ

เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon steels) คือ เหล็กที่มีปริมาณธาตุคาร์บอนผสมลงไปเนื้อเหล็ก และอาจมีธาตุอื่น ๆ ผสมเข้าไปด้วยตามปริมาณที่กำหนด ซึ่งเป็นเหล็กที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ในกระบวนการผลิต เนื่องจากสมบัติในการรับแรงต่าง ๆ ได้ดี เช่น แรงกระแทก (Impact Strength) แรงดึง (Tensile Strength) แรงอัด (Compressive Strength) และแรงเฉือน (Shear Strength) ทนต่อการกัดกร่อน การเสียดสี และสามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ ได้ง่าย จึงทำให้นิยมใช้งานกันในอุตสาหกรรมการผลิต และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตได้อย่างหลากหลาย [1] โดยเป็นเหล็กที่ถูกนำไปใช้ในงานในการผลิตชิ้นส่วนเครื่องกลจำนวนมาก เหล็กกล้าคาร์บอนสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.25% เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอน 0.2-0.5% และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอน 0.5 -1.5% [2] ซึ่งเหล็กกล้าคาร์บอนแต่ละชนิดนำไปใช้ประโยชน์ในงานแตกต่างกันตามสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป เหล็กกล้าคาร์บอนสูง SKD11 มีความแข็งแรง ความแข็งแรงและความต้านทานการสึกหรองสูง สามารถนำไปใช้งานสำหรับเป็นเหล็กกล้าเครื่องมือ เหล็กกล้าดาบ มักจะใช้สำหรับแม่พิมพ์ปั๊ม แม่พิมพ์พลาสติก [3] ดอกสว่าน สกัด กรรไกร มีดคulling ใบเลื่อยตัดเหล็ก ดอกทำเกลียว (Tap) ใบมีดโกน ตะไบ แผ่นเจด เหล็กกัด สปริงแหนบ ลูกบอล แบร็วลูกปืน ในกระบวนการแปรรูปเพื่อให้ชิ้นงานที่ทำจากเหล็ก SKD11 มีความแข็งแรง และรับแรงต่าง ๆ ได้ดี จะทำโดยผ่านกระบวนการชุบแข็ง (Tartaning) โดยการชุบแข็งอุณหภูมิ 1,000 ~ 1,050 °c

โดยสารชุบ อากาศ น้ำมัน จนทำให้เหล็กเปลี่ยนโครงสร้างจากเฟอร์ไรต์เป็นออสเทนไนต์ และทำให้เย็นตัวจนกลายเป็นโครงสร้างมาเทนไซต์ ซึ่งความแข็งหลังอบคืนตัวจะอยู่ในช่วง 55-62 HRC [4] หลังผ่านกระบวนการชุบแข็งชิ้นงานต้องผ่านกระบวนการปรับผิวให้มีคุณภาพผิวตรงตามมาตรฐาน จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [5] ได้มีการนำกระบวนการกดรีดผิวชิ้นงาน (Burnishing) ด้วยลูกกลิ้ง (Roller Burnishing) [6-7] และกระบวนการกดรีดผิวแข็งด้วยการใช้บอล (Ball Burnishing) [8-11] เป็นวิธีการเปลี่ยนแปลงชิ้นงานทางกายภาพ เพื่อการปรับปรุงพื้นผิวโลหะ [12] สมบัติเชิงกลของวัสดุและรูปร่างทรงเรขาคณิตของความหยาบสุดท้ายถูกพิจารณาเมื่อต้องการใช้ ขั้นตอนการกดรีดผิวแข็งด้วยบอลที่ประสบความสำเร็จต้องมีการประเมินผลกระทบของพารามิเตอร์ และความสมบูรณ์ของพื้นผิว เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางบอล กดรีด ความเร็วในการกดรีดผิวแข็ง อัตราป้อน แรงดันของการกดรีดผิวแข็ง เป็นต้น [4] เป้าหมายหลักของกระบวนการรีดผิวแข็งด้วยบอลจึง มุ่งเน้นไปที่การเพิ่มความแข็งแรงของผิวชิ้นงาน ลดความหยาบผิว และเพิ่มความเค้นตกค้างในชิ้นงานนี้ วิธีการตอบสนองพื้นผิวถูกใช้เพื่อเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ขั้นตอนการกดรีดจะใช้กับเครื่องจักรกลแบบเดียวกับที่พื้นผิวถูกขึ้นรูปโดยการกัด ซึ่งการใช้บอลเซรามิกกดรีดชิ้นงานจะทำงานร่วมกับเครื่องจักรอัตโนมัติ (Computer Numerical Control, CNC) ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่มีความเที่ยงตรงสูง แม่นยำ รวดเร็ว มีประสิทธิภาพ สามารถผลิตชิ้นงานซ้ำ ๆ ได้ตลอดโดยมีคุณภาพและมาตรฐานเดียวกัน กระบวนการแปรรูปชิ้นงานจะใช้เครื่องกัด CNC และคำสั่งเครื่องเป็นตัวควบคุมความเร็ว อัตราป้อน และระยะป้อนลึก ในกรณีนี้บอลจะกลิ้งบนผิวชิ้นงาน

เพื่อกดรีดผิวแข็งโดยดำเนินการบนเครื่องกัด
อัตโนมัติแบบ 3 แกน (3 Axis Machining center)

งานวิจัยนี้เป็นการเติมเต็มกระบวนการขึ้นรูป
ทางกายภาพ เพื่อการเพิ่มขึ้นของความแข็งผิว
(Surface Hardness) ความเค้นตกค้าง (Residual
Stress) และลดความหยาบผิว (Surface Roughness)
ซึ่งยังขาดการศึกษาในด้านนี้ ด้วยจุดเด่นของการ
วิจัยเป็นการกดรีดผิวแข็งนี้จะนำไปสู่การพัฒนา
กระบวนการเตรียมพื้นผิวขึ้นงานสำหรับงานที่
ต้องการทั้งความแข็งและความเรียบของพื้นผิว
ความเค้นตกค้างของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น ทำให้
สามารถนำไปต่อยอดการผลิตในงานอุตสาหกรรม
ได้หลากหลาย เช่นการผลิตใบพัดเรือ และการ
ผลิตแม่พิมพ์ขึ้นรูป เป็นต้น เพื่อลดขั้นตอน เวลา
และความเสียหายของขั้นตอนการผลิตอื่น ๆ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการกดรีดผิวแข็งเหล็ก
กล้าคาร์บอนสูงด้วยบอลเซรามิก (Ceramic Ball)
ที่ส่งผลกระทบต่อเหล็ก SKD11 ภายใต้สภาวะที่
กำหนด

2. เพื่อศึกษาค่าความเค้นตกค้าง (Residual
Stress) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกดรีดผิวด้วย
เซรามิกบอลภายใต้สภาวะที่กำหนด

สมมติฐานการวิจัย

กระบวนการกดรีดผิวแข็งด้วยปัจจัยของ
แรงดันน้ำมันไฮดรอลิกในการกดบอล และความลึก
ของการกดรีดผิวแข็งขึ้นงาน ส่งผลต่อความแข็ง
ผิว ความเค้นตกค้าง ความหยาบผิว ของเหล็กกล้า
คาร์บอนสูง SKD11

ทบทวนวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมในการวิจัยกระบวนการ
กดรีดผิวด้วยเซรามิกบอลที่มีผลกระทบต่อความ
แข็งผิวและความเค้นตกค้างในเหล็ก SKD11
สามารถสรุปได้ดังนี้

คุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด SKD11

เหล็กกล้าคาร์บอนปานสูง SKD11 มีความแข็ง
ในช่วง 58-62 HRC ขึ้นกับปริมาณของคาร์บอนที่
ผสม เหล็กชนิดนี้มีสมบัติในการรับแรงต่าง ๆ ได้ดี
ทนแรงดึงสูง ความสามารถขึ้นรูปได้ง่าย ทนต่อ
การกัดกร่อน การเสียดสี และสามารถขึ้นรูปด้วย
กรรมวิธีต่าง ๆ ได้ง่าย ความสามารถในการกลึงไส
อยู่ในระดับปานกลาง เหมาะสำหรับเป็นเหล็กกล้า
เครื่องมือ เหล็กกล้าทำตาย (die) มักจะใช้สำหรับ
แม่พิมพ์ปั๊ม แม่พิมพ์พลาสติก [3] ดอกสว่าน สกัด
กรรไกร มีดคลิ้ง ใบเลื่อยตัดเหล็ก ดอกทำเกลียว
(Tap) ใบมีดโกน ตะไบ แผ่นเกจ เหล็กกัด สปริง
แหวน ลูกบอล แบริ่งลูกปืน รวมทั้งชิ้นส่วนเครื่องจักร
ที่ต้องการความแข็งแรง เหล็กกล้าคาร์บอนสูง
(SKD11/AISID2) มีส่วนผสมทางเคมีแสดงดัง
ตารางที่ 1 ลักษณะเด่น (Significant Characteristics)
ของเหล็กกล้าคาร์บอนสูง เกรด SKD11 ที่นิยม ใช้
เนื่องจากมีราคาไม่ค่อสูงมากนัก มีความแข็งแรง
สูงมา ด้านทานต่อการสึกหรอมีความต้านทาน
แรงดึงที่ 128 kgf/ mm² เหล็กกล้าคาร์บอนสูง
SKD11 สามารถผ่านกระบวนการอบชุบโลหะ
ด้วยความร้อนเพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติ โดย
กระบวนการชุบแข็ง (Quenched and Tempered)
กระบวนการอบอ่อนและ การดิง (Annealed
and Cold-drawn) หรือกระบวนการอบปกติ
(Normalized)

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของ SKD11 (mass%) [3]

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	P	S
1.55	0.1	0.15	11.50	0.7	0.3	0.2	<0.03	<0.03

ผลจากการทบทวนวรรณกรรมแสดงให้เห็นถึงวิธีการกรัดผิวแข็งด้วยบอลเป็นการปรับปรุงคุณภาพชิ้นงานทั้งทางกายภาพ และทางกล สำหรับกระบวนการกรัดผิวแข็งด้วยบอลส่งผลต่อระดับ พื้นผิวหยาบค่าความแข็งของพื้นผิว และความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้น จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะมี พารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ความดัน ความเร็วของเครื่องมือ อัตราป้อน ความลึกในการกรัด และจำนวนครั้งของการกรัด และสารหล่อลื่นส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคนิคนี้ช่วยเพิ่มความแข็งของผิวชิ้นงาน ลดความหยาบผิว และเพิ่มความเค้นตกค้างอัดเมื่อความดันเพิ่มขึ้น เหมาะสำหรับการลดความล้าของชิ้นงานและเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอของชิ้นส่วน การกรัดผิวแข็งที่สภาวะที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเพิ่มผลผลิต และเพื่อลดเวลาของกระบวนการในส่วนของการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือกล และวิธีการในการวิเคราะห์ผลของความแข็ง ความหยาบผิว ความเค้นตกค้าง และโครงสร้างจุลภาคของผลึก จำเป็นต้องใช้วิธีการที่สอดคล้องกับชนิดของวัสดุ

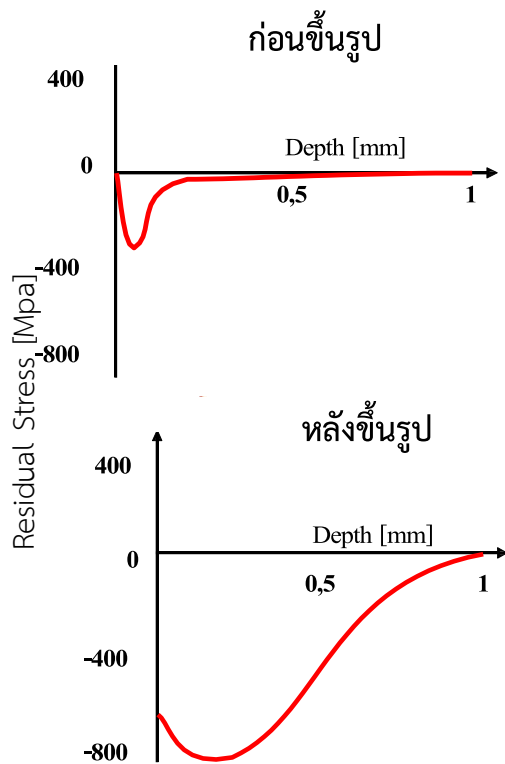
การกรัดผิวแข็ง (Burnishing)

การกรัดผิวแข็งเป็นวิธีที่ง่ายและมีประสิทธิภาพสำหรับปรับปรุงพื้นผิวและสามารถใช้งานได้กับเครื่องกัดประสิทธิภาพสูง ยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตได้มากกว่ากระบวนการทั่วไป เช่น การขัดแบบพิเศษ (Super Finishing) การขัดพวงกลิ้งไฮไดรอสแตติก (Honing) และการเจียรไน นอกจากนี้ผิวขัดมันยังทนต่อการสึกหรอสูงและมีอายุความล้า (Fatigue Life) ที่ดีขึ้น การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ

กรัดผิวแข็งด้วยบอล [13] [4] ได้พิจารณาชนิดของวัสดุ พารามิเตอร์กระบวนการ และน้ำมันหล่อลื่น เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่เชื่อถือได้และอายุการใช้งานที่ยาวนานของเครื่องจักร ส่วนประกอบของชิ้นส่วนต้องได้รับการผลิตไม่เพียงแต่มีความถูกต้องด้านมิติ และทางเรขาคณิตแต่ยังมีผิวที่มีความละเอียดสูง การตกแต่งพื้นผิวมีบทบาทสำคัญในการมีอิทธิพลต่อลักษณะการทำงานเช่น ความต้านทานการสึกหรอ ความแข็งแรงต่อการล้าตัว ด้านทานแรงล้า ด้านทานต่อการกัดกร่อนและการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากแรงเสียดทาน ซึ่งวิธีการกลึง การกัดหรือ การเจียรไนที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่สามารถเป็นไปตามข้อกำหนดการทำงานของเครื่องมือขัดผิวแบบแข็งขึ้นอยู่กับหลักการ เชาวามีกลูกกลิ้งไฮโดรสแตติก (hydrostatic) ลูกกลิ้งแข็งจะถูกกดลงพื้นผิวของชิ้นงานโดยแรงดันปานกลาง (อิมัลชันกับส่วนประกอบน้ำมัน 3-5%) ลูกบอลลอยอยู่บนแรงดันและสามารถหมุนได้ทุกทิศทางเกือบไม่มีแรงเสียดทาน

ความเค้นตกค้างภายใต้ผิวชิ้นงาน (Residual stress under workpiece surface)

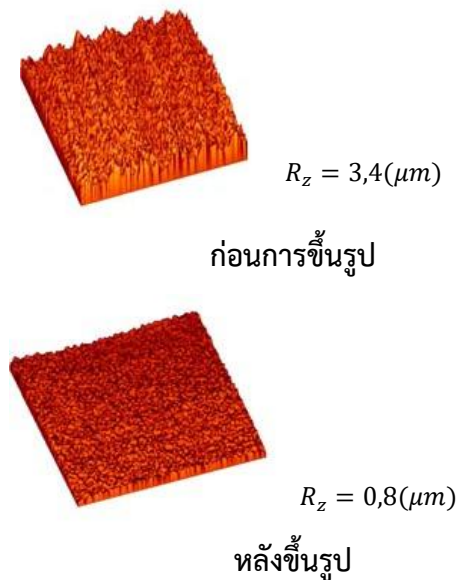
ความเค้นตกค้างภายใต้ผิวชิ้นงานหลังจากการรีดผิวละเอียด มีค่า 800 MPa เป็นลักษณะความเค้นตกค้างอัด (Compressive residual stress) ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 450 MPa ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ความเค้นตกค้างภายในผิวชิ้นงาน
(ศิริชัย ต่อสกุล, 2551) [14]

พื้นผิวชิ้นงาน (Surface Texture)

ผิวชิ้นงานหลังจากผ่านการรีดผิวละเอียดพบว่าคุณภาพผิวของชิ้นงานมีความหยาบผิวที่ดี โดยเพิ่มขึ้นจากเดิม $3.4 \mu\text{m}$ เป็น $0.8 \mu\text{m}$ โดยความหยาบผิวเพิ่มขึ้นเป็น $2.6 \mu\text{m}$ ดังภาพที่ 1 จากการวิเคราะห์ด้วย AFM



ภาพที่ 1 ความหยาบผิวชิ้นงาน ก่อนและหลัง
การรีดผิวละเอียด (ศิริชัย ต่อสกุล, 2551) [14]

ความหยาบผิว และความเรียบผิวชิ้นงาน (Surface Roughness and Surface Finnis)

ความหยาบเป็นผลมาจากความแตกต่างทางด้านจลน์ของกระบวนการตัด ความหยาบของพื้นผิวมีความสำคัญต่อการใช้งานหลาย ๆ อย่าง เช่น แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวการสึกหรอจากการเสียดสีความสวยงาม (Looks) ความรู้สึกในการสัมผัส (Feels) ความสามารถในการป้องกันการรั่วซึม (Sealing Property) พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของความหยาบของพื้นผิว R_a , R_z และ R_{max} วัดโดยใช้ เครื่องทดสอบความหยาบผิวค่าเฉลี่ยของเส้นศูนย์ (C.L.A) หรือค่า R_a คือค่าความหยาบของค่าเฉลี่ย เลขคณิต

ข้อดีของการตกแต่งพื้นผิวคือ

1. พื้นผิวตกแต่งที่ดีเยี่ยมช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอของชิ้นงานที่สัมผัสได้
2. ลดแรงเสียดทานระหว่างชิ้นงาน 2 ชิ้น
3. พื้นผิวตกแต่งที่ดีจะส่งผลให้มีความสวยงามมากขึ้นและความสามารถในการรับน้ำหนัก เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังลดอายุการกัดกร่อนและอายุความล้าของส่วนประกอบ

ความหยาบจากการผลิตแบบต่าง ๆ

ค่าความหยาบที่สามารถผลิตได้นั้นขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตสำหรับการออกแบบและการเลือกค่าความหยาบจะต้องคำนึงถึงความสามารถในการผลิตที่มีอยู่ด้วยกรรมวิธีการผลิตแบบต่าง ๆ และช่วงค่าความหยาบช่วงค่าความหยาบที่สามารถทำได้

การทบทวนวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lars Hiegemann และคณะ (2016) [15] ทำการวิเคราะห์แบบจำลองเพื่อทำนายความหยาบของพื้นผิวที่ถูกกัดกริดผิวแข็งโดยทำการออกแบบสำหรับกระบวนการกัดกริดผิวแข็งด้วยบอลของพื้นผิวที่เคลือบโดยไม่ต้องใช้การทดสอบเบื้องต้น แบบจำลองแสดงความเป็นไปได้ที่จะทำนายความหยาบหลังจากการ รีดร้อนเคลือบผิวและวัสดุที่ใช้ด้วยเหตุนี้สมการที่ใช้ในการวิจัยได้ค่าความหยาบก่อนการรีดผิวแข็งด้วยบอลและความดันสัมผัสภายใต้บอลขณะที่แรงดันถูกกำหนด การทดลองกำหนดความหยาบในกึ่งกลางของแท่งกัดกริดสามารถวิเคราะห์ได้จากการพัฒนาแบบจำลองที่ ขึ้น Rolling Track ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีการทดลองกัดกริด สำหรับการออกแบบของกระบวนการ กัดกริดผิวแข็งด้วยบอล การกำหนดความดัน เส้นผ่าศูนย์กลางลูกกลุมและค่าความแข็ง Brinell จำเป็นต้องใช้สำหรับการกัดกริดผิวแข็งด้วยลูกกลุมของพื้นผิวและไม่

เพียงแต่ One Rolling Track ระยะห่าง ระหว่าง Rolling Track จะเพิ่มปัจจัยที่มีอิทธิพลแบบจำลองนี้สอดคล้องกับการทดลอง สำหรับ leveling สูงสุดในช่วงกลางของการติดตาม One Rolling Track ในส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างการทดลองกับแบบจำลองอยู่ระหว่าง 2.8% ถึง 9.4% เท่านั้นนอกจากนี้ยังมีการปรับระดับพื้นผิวรวมของ พื้นผิวทั้งหมดด้วยในพื้นที่ทำงานที่เหมาะสมสามารถคำนวณความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดลอง กับแบบจำลองได้ 8.99% เพื่อให้การทำนายความหยาบเป็นไปอย่างแม่นยำสำหรับวัสดุที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับเครื่องมือกลึง (เส้นผ่าศูนย์กลางลูกที่แตกต่างกัน) จะสังเกตว่าแบบจำลองสามารถใช้ได้ นอกจากการวิจัยอิทธิพลของตัวแปรทุกตัวด้วยวิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับความหยาบลดลง มากหลังจากการกัดกริดผิวแข็ง

Tao Zhang และคณะ (2017) [16] ศึกษาการทดลองและทฤษฎีการกัดกริดผิวแข็งของ Aerospace Alloy การ กัดกริดผิวแข็งเป็นที่รู้จักกันดีว่ามีประสิทธิภาพมากสำหรับการปรับปรุงพื้นผิวที่การผลิต งานวิจัย มุ่งเน้นไปที่การหาแบบจำลองที่คาดการณ์ความหยาบของพื้นผิวและความเค้นตกค้างตามข้อมูลการ ทดลองพื้นผิวที่ราบรื่นของวัสดุการบินและอวกาศที่ปรับเปลี่ยนโดยการกัดกริดผิวแข็งด้วยบอล มี อิทธิพลสำคัญของพารามิเตอร์กระบวนการเกี่ยวกับความหยาบของผิวและความเค้นสูงสุดแบบจำลอง Second-order Empirical ที่เกี่ยวข้องกับความดัน ความเร็ว และการป้อน ได้รับการพัฒนาขึ้นสำหรับการทำนายความหยาบของผิวซึ่งสามารถใช้ได้ เมื่อเทียบกับผลการทดลองแรงดันเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความเค้นตกค้างแบบอัด อย่างไรก็ตามแบบจำลองเอมไพริคัลมีความเข้ากันกับผลการทดลองการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์การกัดกริดผิวแข็งมีข้อสรุปดังต่อไปนี้ 1) ผลกระทบที่สำคัญของ

พารามิเตอร์กระบวนการถูกสร้างขึ้นเมื่อความหยาบของผิวหน้าซึ่งรวมถึงความดันที่สูงขึ้นจะทำให้ พื้นผิวหยาบ ในขณะที่การป้อนลดความหยาบของพื้นผิวลงเล็กน้อยจากระดับปานกลาง การเพิ่มขึ้นของป้อนจะเพิ่มความหยาบของผิว ผลกระทบที่สำคัญของความเร็วควรรู้อย่างถึงทั้งในระดับต่ำหรือสูง แต่อิทธิพลของความหยาบของพื้นผิวที่หมุนไม่มีนัยสำคัญ 2) แบบจำลองเอ็มไพริคัลของลำดับที่สอง มีค่าที่เหมาะสมโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนและค่าจากแบบจำลองมีความสอดคล้องกับผลการทดลอง 3) การกัดผิวแข็งจะเปลี่ยนความเค้นตกค้างในการรับแรงดึงให้เหลือน้อยลง ซึ่งความดัน เป็นปัจจัยสำคัญแบบจำลอง การทำนายที่มีผลไม่ถูกต้องถูกเมื่อพิจารณาสำหรับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของความเค้นตกค้าง Liviu Luca และคณะ (2018) ได้ระบุการกัดผิวแข็งเป็นวิธีการตกแต่งชิ้นงานโดยไม่เกิดการสูญเสียเนื้อ วัสดุ (Chinless) ซึ่งใช้เครื่องแบบลูกกลิ้งรีดกดกับชิ้นงานเพื่อให้เกิดการเสียรูปพลาสติกของชิ้นผิว การพัฒนาล่าสุดทำให้การกัดผิวแข็งของชิ้นส่วนเหล็กที่ทนความร้อนได้ความแข็งถึง 65 HRC คุณสมบัติของการกัดผิวแข็ง ได้แก่ ความหยาบที่ดี (เทียบเท่ากับการเจียร) รวมทั้งการปรับปรุง ลักษณะทางกลของพื้นผิว ความแข็งแรงต่อการล้าตัว (Fatigue Strength) ความต้านทานต่อการกัด กร่อน (Corrosion Resistance) และอัตราส่วนแบร์ริง (Bearing Ratio) เนื่องจากการใช้ความเค้นอัดในชิ้นผิว อิทธิพลของพารามิเตอร์การกัดผิวแข็งเมื่อมีความหยาบผิวสำหรับส่วนประกอบเหล็กที่แข็ง (64 HRC) ผลของพารามิเตอร์การกัดผิวแข็งต่อความหยาบผิวขั้นสุดท้ายไฮโดรสแตติก (hydrostatic) เป็นเครื่องมือ หลักที่ใช้สร้างแรงสัมผัส โดยความดันของของไหลที่ตัวจับบอลเหล็กชุบแข็งถูกใช้ พารามิเตอร์การทำงานที่เลือกแสดงความสัมพันธ์กับความดันไฮดรอลิก การ

ป้อนและความเร็วในการกัดผิวแข็ง และรัศมีจมูกมีด (Nose Radius) ผลการทดลองแสดงให้เห็นอิทธิพลของแรงกดดันในกระบวนการ มีอิทธิพลที่สำคัญของความหยาบผิวเดิมหลังจาก Hard Turning พบว่ามีเงื่อนไขในการรับความหยาบผิว ในช่วงของการบด ($0.5\ \mu\text{m}$)

Kumar และ Purohit (2018) [12] ได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือกัดผิวแข็ง การแปรรูปโลหะ ในปัจจุบันมีความสนใจความเค้นตกค้างแบบอัดในส่วนประกอบต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต วิธีการทั่วไปของกระบวนการตกแต่ง ได้แก่การเจียรระไน การเจาะขึ้นรูปใช้เพื่อปรับปรุงพื้นผิวของชิ้นส่วนโลหะ แต่ขั้นตอนการกัดผิวแข็งซึ่งมีบทบาทเหมือนกันในกระบวนการตกแต่งมีข้อดี หลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับการกัดผิว ผลการศึกษาเกี่ยวกับประเด็นการออกแบบและการพัฒนา เครื่องมือในการกัดผิวแข็งด้วยบอล โดยการเลือกวัสดุขนาดและการออกแบบที่เหมาะสมสำหรับ กระบวนการและเครื่องมือให้ใช้งานง่าย ใช้เวลาน้อยกับค่าใช้จ่าย ขั้นต่ำเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นในงานนี้ สามารถใช้กับเครื่องกลึง ตัวเลือกนี้จะเพิ่มความยืดหยุ่นของเครื่องมือและช่วยให้เราสามารถ ดำเนินการได้ เครื่องมือกัดผิวที่ออกแบบมาประกอบด้วยส่วนที่เป็น Ball Holder, Square Casing, lock pins และ threaded lock Support และ Spring การออกแบบเครื่องมือทำขึ้นโดยคำนึงถึงพารามิเตอร์ที่ จะเลือกและควบคุมในงาน ผลการทดลองจะดำเนินการโดยคำนึงถึงความเร็ว การป้อน แรง และ จำนวนรอบที่ผ่าน และผลของพารามิเตอร์ที่ศึกษา คือ ค่าความหยาบผิว และค่าความแข็ง พบว่า 1) ความแม่นยำเหมือนพื้นผิวผ่านการตกแต่ง 2) ความสม่ำเสมอของมิติ/ความสามารถในการทำซ้ำได้ 3) การดำเนินการ Single Pass 4) การเพิ่มความแข็งพื้นผิว และ 5) ลดการทำงานซ้ำและการปฏิเสธ ชิ้นงาน

A. Rodriguez และคณะ (2018) [17] การกดรีดผิวแข็งผิวด้วยบอลลึก (Deep Ball-burnishing) เพื่อการ ปรับปรุงพื้นผิวทางกลสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพ และคุณภาพของเพลาลูกหมุน เมื่อเทคนิคนี้ถูกนำมา รวมกัน และใช้หลังจากการกลึงแบบเดิม กระบวนการที่เกิดขึ้นจะทำให้ได้อย่างรวดเร็ว ง่าย และคุ้มค่า สามารถใช้ร่วมกับเครื่องกลึงและการกลึงในสายการผลิต อิทธิพลของการกดรีดผิวแข็งลึก กระบวนการนี้ทำให้พื้นผิวที่ดี มีความเค้นตกค้างอัดสูง และการเพิ่มความแข็งของชิ้นผิว การแปรผัน ของความเร็วในการกดรีดผิวแข็ง แทบจะไม่ส่งผลกระทบต่อความเรียบและความแข็งของชิ้นงาน ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะทำการกดรีดผิวแข็งโดยใช้ความเร็วสูงสุดที่เครื่องรองรับได้เพื่อลดเวลาในการประมวลผล ความต้านของการกดรีดผิวแข็งเป็นตัวแปรสำคัญในกระบวนการนี้ ความดันกดสูงเพิ่ม ความแข็งผิว แต่ถ้าความดันสูงเกินไป บอลเซรามิกอาจสร้างเส้นลงบนพื้นผิวของชิ้นงาน ส่งผลให้ ผิวหน้าหยาบผิวขึ้น ด้วยวิธีนี้การประมาณค่าความดันในการกดรีดผิวแข็งที่ดีที่สุดเป็นประเด็นสำคัญ ในการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ อัตราการป้อนครีตต่อการหมุนเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเพิ่มผลผลิต การวิเคราะห์เวลาและค้นหาสำหรับอัตราการป้อนกลึงที่เหมาะสม เพื่อลดเวลาของ กระบวนการ การวัดความเค้นตกค้างโดยใช้เทคนิค X-ray Diffraction แสดงให้เห็นว่าความเค้นอัดถูก นำมาใช้ในส่วนประกอบ ความเค้นตกค้างเหล่านี้จะเกิดขึ้นที่ความลึกประมาณ 1 มิลลิเมตร การกดรีดผิวแข็งช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของชิ้นส่วนกลึง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคนิคนี้ช่วย เพิ่มคุณภาพผิว (ถึง 0.3 ไมโครเมตร) เพิ่มความแข็งของผิวชิ้นงาน (ถึง 60% Brinell) และแนะนำความเค้นตกค้างอัด ซึ่งเหมาะสำหรับการยึด

ความล้าของชิ้นงานและเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอของ ชิ้นส่วน

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย การกำหนดตัวแปรและขอบเขตของการแก้ปัญหาอย่างละเอียด เพื่อการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้อย่างถูกต้อง การศึกษาปัจจัยของกระบวนการกดรีดผิวแข็งด้วยบอลเซรามิก โดยการพิจารณาแรงดันน้ำมันไฮดรอลิกในการกดรีดผิวแข็ง ด้วยบอลเซรามิก และความลึกของผิวที่ใช้ในการกดรีดเหล็กกล้าคาร์บอนสูง SKD11 เป็นชิ้นงานในการทดสอบกระบวนการกดรีดผิวแข็งด้วยบอลเซรามิก เพื่อหาค่าความหยาบผิว ค่าความแข็งผิวที่กดรีด การวัดความเค้นตกค้างโดยใช้เทคนิค X-ray Diffraction และการวัดชั้นความแข็งผิว โดยการกำหนดชิ้นงานสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 75 มิลลิเมตรหนา 6 มิลลิเมตร บอลสำหรับการกดรีดผิวแข็งเป็นเซรามิก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร กำหนดค่าแรงดันน้ำมันไฮดรอลิก 200, 400 และ 600 บาร์ และความลึกที่ใช้ในการกดรีด 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิเมตร

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นเชิงทดลอง (Experiment Research) ที่มุ่งเน้นศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน เพื่อปรับปรุงความแข็งของผิวชิ้นงาน เพิ่มความเค้นตกค้าง วัสดุที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนสูง SKD11 มีลักษณะเป็น High Alloy Steel ใช้เครื่องกัดอัตโนมัติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ในการกัดที่ความเร็วสูง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยเพื่อเก็บข้อมูลที่ต้องการมีการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์

ทดลองหลายชนิด เครื่องมือหลักที่ใช้ในการทดลองที่โคมะเมย์งานเสร็จสิ้นกระบวนการ ได้แก่

1. บอลกรัดผิวแข็งชิ้นงาน การกรัดผิวแข็งด้วยบอล (Ball Burnishing) เป็นบอลเซรามิกชนิดซิลิคอนไนไตรด์ เซรามิกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร

2. เครื่องกัดอัตโนมัติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (CNC) ในงานวิจัยการศึกษาการกรัดผิวแข็งชิ้นงานด้วยบอลเซรามิก โดยใช้เครื่องกัดอัตโนมัติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (CNC) เพื่อให้ค่าที่ถูกต้องในการทดลอง ยี่ห้อ First รุ่น V 700 คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องกัด ซึ่งสามารถปรับตั้งการระยะป้อนลึก แนวแกน Z ความเร็วการเคลื่อนที่ของงานในแนวแกน X และ Y ที่ใช้ในการกรัดผิวแข็ง และติดตั้งเครื่องมือที่ใช้จับบอลกรัดผิวแข็งเข้าไปในหัวของเครื่องกัดได้ โดยสามารถปรับตั้งความเร็วเคลื่อนที่ของโต๊ะงานได้สูงถึง 3000 มิลลิเมตร/นาที

3. เครื่องปัมน้ำมันไฮดรอลิก สามารถสร้างแรงดันสูงสุด 700 บาร์ อัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกประมาณ 1.4 ลิตร/นาที จำนวนรอบของปั๊มประมาณ 1420 รอบ/นาที ปริมาณบรรจุถัง 30 ลิตร แรงดันไฟฟ้า 380-400 โวลต์ ไฟ 3 สาย ใช้น้ำมันไฮดรอลิก (HLP 68) งานอุตสาหกรรมชนิดผสมสารป้องกันการสึกหรอที่ช่วยปกป้องอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่าง ๆ ภายในเครื่องจักรได้ดี ทำให้สามารถคงประสิทธิภาพการใช้งานของระบบไฮดรอลิกได้ยาวนาน ใ้กับระบบไฮดรอลิกทั่วไปที่ต้องการ

4. เครื่องมือวัดความหยาบผิว เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความหยาบผิวแบบดิจิทัล ยี่ห้อ Mitutoyo Surface Roughness test SJ-310

5. เครื่องทดสอบความแข็งแบบหัวกดวิกเกอร์ (Vickers Micro Hardness Tester) โดยเครื่องทดสอบ Automatic Turret Digital Display Micro Vickers Hardness Tester ยี่ห้อ Innovatest รุ่น

HVS-1000A ใช้ในการหาค่าความแข็งของการทดสอบ โดยสามารถวัดค่าความแข็งภายในครั้งเดียวได้ทั้ง 2 ระบบ คือ แบบวิกเกอร์ และร็อคเวลล์ สเกล C (Rockwell Scale C)

6. เครื่อง Portable X-ray Residual Stress Analyzer ทำการวัด ด้วยเครื่อง Portable X-ray Residual Stress Analyzer (μ -X360s) มีขนาดของคอลลิเมเตอร์ เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 มิลลิเมตร หน่วยเซ็นเซอร์: W114 x H107 x D213 (มม.) และน้ำหนัก 2.4 กิโลกรัม ช่วยในการวัดความเค้นตกค้างของผิวเพื่อความตกค้างในชิ้นงานที่กรัดผิวแข็งด้วยบอล

กระบวนการทดสอบ

1. การทดลองเบื้องต้น

การทดสอบเบื้องต้นใช้ตัวแปรอิสระ คือ แรงดันน้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic Pressure) และความลึกของการกรัดผิวแข็ง (Depth of Burnishing) โดยการเตรียมชิ้นงานจำนวน 36 ชิ้น การกรัดผิวแข็งด้วยบอลเซรามิกที่ความดัน 200, 400 และ 600 บาร์ และความลึกของการกรัดผิวแข็ง 3 ระดับคือ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิเมตร ทำการทดสอบเบื้องต้นดังตารางที่ 3.3 กำหนดให้อัตราการป้อน (Feed Rate) เท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร/รอบ ความเร็วการกรัดผิวแข็ง (Speed) เท่ากับ 2000 มิลลิเมตร/นาทีจำนวนของการกรัดผิวแข็ง (Number of Passes) 8 ครั้ง

การทดลองเบื้องต้นเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง โดยการวิจัยแรงดันน้ำมันไฮดรอลิก และความลึกของการกรัดผิวแข็งเพื่อค่าความหยาบผิว ความแข็งแบบวิกเกอร์ ความเค้นตกค้าง ความลึกของความแข็งผิว และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จึงสรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานที่ผ่านการกรัดผิวแข็งประกอบด้วย

- 1) การกดรีดผิวแข็งด้วยหัวบอลที่มีความดัน 200 400 และ 600 บาร์
- 2) ความลึกของการกดรีดผิวแข็ง 3 ระดับคือ 0.3 0.5 และ 0.7 มิลลิเมตร

2. การออกแบบการทดลอง

- 2.1 ชิ้นงานทดสอบ ที่ใช้เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนสูง SKD11 มีส่วนผสมของธาตุต่าง ๆ
- 2.2 ทดสอบบอลเซรามิกบอลเซรามิกที่ใช้ในการกดรีดผิวแข็งประกอบด้วยซิลิคอนไนไตรต์เซรามิกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร เมื่อทำการทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ C ความแข็งของบอลเซรามิกก่อนใช้งานมีค่า 79 HRC

3. ขั้นตอนการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการทดลองเชิงปริมาณ (Experimental Research) แบบ Factorial Design (3x3) โดยมี 2 ปัจจัย คือ แรงดันไฮดรอลิก และความลึกของการกดรีด ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด โดยมีขั้นตอนดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1. ชิ้นงาน SKD 11 ที่ไม่ผ่านการรีดผิวแข็ง
- ขั้นตอนที่ 2. ชิ้นงาน SKD 11 ที่ผ่านการชุบแข็ง
- ขั้นตอนที่ 3. การกดรีดผิวแข็งด้วยบอลที่มีความดัน 200, 400 และ 600 บาร์
- ขั้นตอนที่ 4. ความลึกของการกดรีดผิวแข็ง 3 ระดับ คือ 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิเมตร

4. การทดสอบและจัดเก็บข้อมูล

4.1 การวัดความหยาบผิว การวัดความหยาบผิวของชิ้นงานด้วยเครื่อง Mitutoyo Surface tester รุ่น SJ-310 ทำการวัดโดยการแบ่งพื้นผิวเป็นส่วน ส่วน จากนั้นทำการวัดค่าความเรียบผิวได้แต่ละจุดและนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย

4.2 การวัดความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ การวัดค่าความแข็งพื้นผิวของชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์เครื่อง Automatic Turret Digital Display Micro Vickers Hardness Tester ยี่ห้อ Innovatest รุ่น HVS-1000A ใช้แรงกดเพื่อวัดค่าความแข็งขนาด 100 กรัมเป็นระยะเวลา 10 วินาที โดยจะทำการวัดชิ้นงานที่ผ่านการกดรีดผิวแข็งด้วยบอลเซรามิกที่ภาวะต่างๆ ในการทดสอบความแข็งผิวของชิ้นงานด้วย Vickers Micro Hardness Tester ทำการวัดโดยการตำแหน่งและนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย

4.3 การวัดความเค้นตกค้าง การวัดค่าความเค้นตกค้างที่อยู่ในชิ้นงานทั้งก่อนการกดรีดผิวแข็ง และภายหลังจากการกดรีดผิวแข็งด้วยหัวบอลเซรามิกโดยการวัดความเค้นตกค้างบนผิวหรือใกล้พื้นผิวด้วยเครื่องมือวัด Portable X-ray Residual Stress Analyzer (μ -X360s) โดยใช้หลักการ X-ray

4.4 การวัดความแข็งลึก การวัดค่าความแข็งลึกจากพื้นผิวของชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์เครื่อง Automatic Turret Digital Display Micro Vickers Hardness Tester ยี่ห้อ Innovatest รุ่น HVS-1000A ใช้แรงกดเพื่อวัดค่าความแข็งขนาด 100 กรัม เป็นระยะเวลา 10 วินาที โดยจะทำการวัดชิ้นงานที่ผ่านการกดรีดผิวแข็งด้วยบอลเซรามิกที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดสอบความแข็งผิวของชิ้นงานด้วย Vickers Micro Hardness Tester ทำการวัดโดยการกำหนดตำแหน่ง จำนวน 10 ตำแหน่ง และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อหาความแข็งที่ลึกจากพื้นผิวกดรีด

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. เปรียบเทียบค่าความแข็งผิวที่ได้จากการวัดของแต่ละเงื่อนไขเทียบกับความแข็งผิวของ SKD11 ไม่ผ่านการกดรีดผิวแข็งและเทียบค่าความแข็งผิวของ SKD11 ที่ผ่านการกดรีดผิวแข็งเพื่อหาเงื่อนไขของการกดรีดที่ทำให้ความแข็งผิวอยู่ในช่วงการใช้งาน

2. เปรียบเทียบค่าความเค้นตกค้างผิวที่ได้จากการวัดของแต่ละเงื่อนไขเทียบกับความเค้นตกค้างผิวของ SKD11 ไม่ผ่านการกดรีดผิวแข็งและเปรียบเทียบค่าความเค้นตกค้างผิวของ SKD11 ที่ผ่านการกดรีดผิวแข็งเพื่อหาเงื่อนไขของการกดรีดผิวแข็งที่ทำให้ความเค้นตกค้างมากที่สุด

3. เปรียบเทียบค่าความหยาบผิวที่ได้จากการวัดของแต่ละเงื่อนไขเทียบกับความหยาบผิวของ SKD11 ที่ไม่ผ่านการกดรีดผิวแข็งและเทียบค่าความหยาบผิวของผิวที่ผ่านการกดรีดผิวแข็งเพื่อหาเงื่อนไขของการกดรีดผิวแข็งที่ทำให้ความหยาบผิวน้อยที่สุด

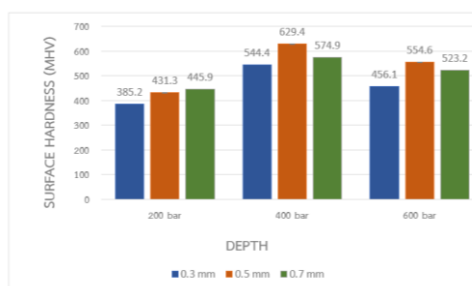
4. เปรียบเทียบความลึกแต่ละชั้นความแข็งของ SKD11 ที่ผ่านการกดรีดผิวแข็ง

ผลการวิจัย

การศึกษาความเปลี่ยนแปลงในกระบวนการกดรีดผิวแข็งด้วยบอลเซรามิก โดยการหาค่าความแข็งผิว (Surface Hardness) ความแข็งลึกจากผิว (Hardness Depth) ความเค้นตกค้าง (Residual Stress) ความหยาบผิว (Surface Roughness) กระบวนการกดรีดผิวแข็งเป็นกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวแข็งด้วยบอล เซรามิกที่มีความโตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ในการกดรีดผิวแข็งใช้แรงดันน้ำมันไฮดรอลิก 200, 400, 600 บาร์ ความลึกของการกดรีดผิวแข็ง 0.3 0.5 และ 0.7 มิลลิเมตร วัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ เหล็กกล้าคาร์บอนสูง SKD11 สามารถสรุปผลตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยและสมมติฐาน

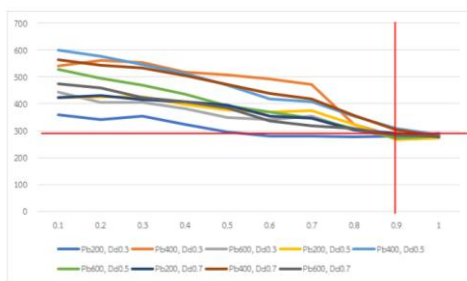
ทางการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบความแข็งผิวบนพื้นผิวของเหล็ก SKD11 ค่าความแข็งผิวของเหล็กก่อนกดรีดผิวแข็ง มีค่าเฉลี่ยประมาณ 279 MHV หลังการกดรีดผิวด้วยบอลเซรามิก ด้วยเงื่อนไขการทดลอง พบว่าแรงดันน้ำมันไฮดรอลิก 400 บาร์ ความลึกของการกดรีดผิวแข็ง 0.5 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งผิวเฉลี่ยมากที่สุดคือ 629.4 MHV ซึ่งเงื่อนไขที่มีอิทธิพลหลักต่อความแข็งผิวอย่างมีนัยสำคัญคือแรงดันน้ำมันไฮดรอลิกและความลึกของการกดรีดผิวแข็ง ความแข็งที่ได้จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการชุบผิวแข็งพบว่าเทียบเท่ากัน ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย และสมมติฐานการวิจัย โดยกระบวนการกดรีดผิวแข็งด้วยปัจจัยของแรงดันน้ำมันไฮดรอลิกในการกดบอล และความลึกของการกดรีดผิวแข็งซึ่งงาน สง ผลต่อความแข็งผิว ความเค้นตกค้าง ความหยาบผิว ของเหล็กกล้าคาร์บอนสูง SKD11 กระบวนการกดรีดผิวแข็งด้วยปัจจัยของ แรงดันน้ำมันไฮดรอลิกในการกดบอล และความลึกของการกดรีดผิวแข็งซึ่งงาน สง ผลต่อความแข็งผิว ความเค้นตกค้าง ความหยาบผิว ของเหล็กกล้าคาร์บอนสูง SKD11 โดยแสดงเปรียบเทียบตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ค่าความแข็งผิวเฉลี่ย (MHV) ของเหล็ก SKD11 หลังการกดรีดผิวแข็ง

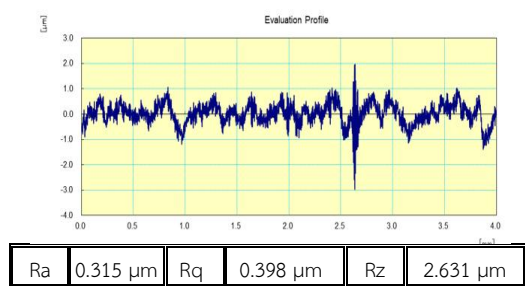
2. การวิเคราะห์ความแข็งแรงของแต่ละชั้นความลึกผิวของเหล็ก SKD11 โดยค่าความแข็งแรงผิวของเหล็กมีค่าเฉลี่ยประมาณ 279 MHV หลังการกดรีดผิวแข็ง ที่แรงดันปั้มน้ำมันไฮดรอลิก 200, 400 และ 600 บาร์ ชั้นความลึกผิว 0.3 0.5 และ 0.7 มิลลิเมตร สามารถสรุปได้ว่า ความแข็งที่เพิ่มขึ้นมีความลึกที่ระดับ 0.9 มิลลิเมตร เหมาะกับงานที่ต้องรับแรงเสียดทานหรือกระแทกซ้ำ ๆ เป็นต้น โดยแรงดันปั้มน้ำมันไฮดรอลิก 400 บาร์ ความลึกของการกดรีดผิวแข็ง 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการชุบผิวแข็งมีค่าที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ โดยแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของชั้นความลึกผิวของเหล็ก SKD11 หลังการกดรีดผิวแข็ง

3. การวิเคราะห์ค่าความเค้นตกค้างที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเค้นที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานในระหว่างการกดรีดผิวแข็ง เทคนิค X-ray Diffraction (XRD) การวัดค่าความเค้นบนพื้นผิวชิ้นงานที่ผ่านการกดรีดผิวแข็ง เป็นการเปลี่ยนแปลงของความเค้นตกค้างที่เกิดจากแรงอัดในแนวนอนบนพื้นผิว ค่าความเค้นตกค้างของแรงอัดเพิ่มขึ้น เกิดจากการอัดตัวของพบบว่าสถานะที่เหมาะสมของการรีดผิวแข็งที่สุดคือแรงดันปั้มน้ำมัน ไฮดรอลิก 400 บาร์ และความลึกของการกดรีดผิว 0.7 มิลลิเมตร ค่าความเค้นตกค้างอัด 545.9 MPa

4. การวิเคราะห์ค่าความหยาบผิวการใช้เทคนิคการ Coherence Scanning Interferometry (CSI) หลังการทดลองการกดรีดผิวแข็งด้วยบอลที่แรงดันปั้มน้ำมันไฮดรอลิก ในการกดบอลกดรีดผิวแข็ง 200, 400 และ 600 บาร์ และความลึกของการรีดผิวแข็ง 0.3, 0.5 และ 0.7 มิลลิเมตร การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่อไปนี้อธิบายรูปร่างโดยทั่วไปการกดรีดผิวแข็งด้วยบอลเซรามิกทำให้ความสูงของพื้นผิวลดลง การกดรีดผิวแข็งช่วงของค่าพารามิเตอร์แอมพลิจูดดีที่สุด Ra (Sa) = 0.059 μm , Rp (Sp) = 0.072 μm Rz (Sz) = 0.347 μm ที่แรงดันปั้มน้ำมันไฮดรอลิก ในการกดบอลกดรีดผิวแข็ง 200 บาร์ และความลึกของการรีดผิวแข็ง 0.3 มิลลิเมตร แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกับค่าความแข็งแรงผิวซึ่งเป็นวัสดุประสงค์หลักในงานวิจัยพบว่าค่าพารามิเตอร์แอมพลิจูดความหยาบผิว Ra (Sa) = 0.315 μm , Rp (Sp) = 0.398 μm Rz (Sz) = 2.631 μm ที่แรงดันปั้มน้ำมันไฮดรอลิก ในการกดบอลกดรีดผิวแข็ง 400 บาร์ และความลึกของการรีดผิวแข็ง 0.5 มิลลิเมตร เป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์กำหนดสามารถยอมรับได้และปัจจัยที่เป็นอิทธิพลหลักส่งผลต่อค่าความหยาบผิวคือแรงดันปั้มน้ำมันไฮดรอลิก ความลึกของการกดรีดผิวแข็งมีอิทธิพลร่วมกันที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 5



Pb = 400 bar, Db = 0.5 mm

ภาพที่ 5 Topography และพารามิเตอร์ของพื้นผิวหลังจากการกดรีดผิวแข็ง

5. กระบวนการกดรีดผิวแข็งด้วยปัจจัยของแรงดันน้ำมันไฮดรอลิกในการกดบอล และผลของการกดรีดผิวแข็งขึ้นงาน ส่งผลต่อความแข็งผิวซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของความเค้นตกค้างของ Liviu Luca และคณะ (2005) [11] โดยเกิดจากโครงสร้างที่ถูกบีบอัดจากแรงกด Compressive strength ความหยาบผิวซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lars Hiegemann และคณะ (2016) [15] ของเหล็กกล้าคาร์บอนสูง SKD11 เป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยที่กำหนดไว้

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรมีการวิจัยผลกระทบจากตัวแปรอื่น ๆ เพื่อใช้ในการประกอบการวิเคราะห์ผลให้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น เช่น ความเร็วการกดรีดผิวแข็ง (Burnishing speed) ระยะห่างการกดรีดในแต่ละรอบ (Feed Rate) จำนวนครั้งในการกดรีดซ้ำ (Number of Burnishing) และสารหล่อลื่น (Lubricant) ความโตของบอลเซรามิก (Size of Ceramic Ball) เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อเสนอแนะในการแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

References

[1] Misumi (Thailand) Co., Ltd. “SKD11 carbon steel: Material in various applications.” 2020. [Online]. Available: https://th.misumiec.com/th/pr/recommend_category/carbon_steel201904/

[2] Jutha Wan Metal Ltd. “SKD11 high-carbon steel.” 2020. [Online]. Available: <https://www.juthawan.co.th/product-item/skd-11/>

[3] Bangkok Special Steel Co., Ltd. “SKD11 properties and applications.” 2020. [Online]. Available: <http://www.bssteel.co.th/product-detail-DC11.php>

[4] Technology Promotion Association (Thailand–Japan), “SKD11 hardening,” 2020. [Online]. Available: https://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?bookID=1818&pageid=85

[5] Montri Kawsuk, Y., “Influence of parameters on surface hardness and residual stress of ball-burnishing process,” *M.Eng. thesis*, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 2018.

[6] A. A. Ibrahim, S. M. Abd Rabbo, and A. A. Ebied, Y., “Center rest balls burnishing parameters adaptation of steel components using fuzzy logic”, *Journal of materials processing technology*, vol. 209, pp. 2428–2435, 2009.

[7] M. Rao, J. N., C. K. Reddy, A. and Rama Rao, P. V., Y., “The effect of roller burnishing on surface hardness and surface roughness on mild steel specimens”, *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 1, no. 4, pp. 777–785., 2011.

- [8] M. Okada, S. Suenobu, K. Watanabe, Y. Yamashita and N. Asakawa, Y., “Development and burnishing characteristics of roller burnishing method with rolling and sliding effects”, *Mechatronics*, vol. 29, pp. 110–118, 2015.
- [9] N. H. Loh and S. C. Tam, “Effects of ball burnishing parameters on surface finish A literature survey and discussion”, *Precision Engineering*, vol. 10, no. 4, pp. 215-220, 1988.
- [10] L. N. López de Lacalle, A. Lamikiz, J. Mun˜oa and J. A. Sánchez, “Quality improvement of ballend milled sculptured surfaces by ball burnishing”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 45, 2005, pp. 1659–1668, 2005.
- [11] L. Luca, S. Neagu-Ventzel and I. Marinescu, “Effects of working parameters on surface finish in ball-burnishing of hardened steels” , *Precision Engineering*, vol. 29, pp. 253–256, 2005.
- [12] P. Kumar and P. G K, Design and Development of Ball Burnishing Tool, Proc. of Int. Conf. on Advances in Mechanical Engineering, *AETAME*, vol. 6, no. 6, pp. 733-738, 2013.
- [13] D. Mahajan and R. Tajane, “A Review on Ball Burnishing Process” , *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 3, pp. 1-8, 2013.
- [14] S. Torsakul, “A Study of mechanical properties from fine rolling process using finite element simulation method,” *Department of Industrial Engineering*, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 2008.
- [15] L. Hiegemann, C. Weddeling and A. E. Tekkaya, “Analytical contact pressure model for predicting roughness of ball burnished surfaces,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 232, pp.63–77, 2016.
- [16] T. Zhang, N. Bugtai and I. D. Marinescu, “Burnishing of aerospace alloy: A theoretical–experimental approach,” *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 37, pp. 472–478, 2015.
- [17] A. Rodríguez, L.N. López de Lacalle, A. Celaya, A. Lamikiz and J. Albizuri, “Surface improvement of shafts by the deep ball-burnishing technique,” *Surface & Coatings Technology*, vol. 206, pp. 2817–2824, 2012.