วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.04.001

บทความวิจัย

การประยุกต์ใช้วิธีทากูชิสำหรับกระบวนการกดขัดผิวเรียบอะลูมิเนียมผสม 5052 โดยการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของเครื่องจักรในการผลิต

สุริยา น้ำแก้ว[1] และ สุริยา ประสมทอง[2*]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยนครพนม
[*] ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: Suriya.p@npu.ac.th

วันที่รับบทความ: 21 ธันวาคม 2563; วันที่ทบทวนบทความ: 5 มีนาคม 2564; วันที่ตอบรับบทความ: 9 มีนาคม 2564
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 5 เมษายน 2564

บทคัดย่อ: กระบวนการกดขัดผิวถูกพัฒนาและออกแบบสำหรับการตกแต่งผิวชิ้นงานเพื่อลดเวลาในการผลิต การวิจัยนี้ทำการศึกษาการกดขัดผิวบนอะลูมิเนียมผสม AA5052 ที่ส่งผลต่อความเรียบผิว โดยใช้วิธีทากูชิเพื่อหาปัจจัย (ความเร็วรอบ อัตราป้อน และแรงในการกดขัดผิว) ที่เหมาะสมของกระบวนการผลิต จากการทดลองพบว่าปัจจัยการกดขัดผิวเรียบที่เหมาะสม คือ การปรับความเร็วรอบ 200 rev/min ที่ความเร็วเดิน 0.5 mm/rev และ แรงในการกดขัดผิวเรียบ 200 N ให้ค่าเฉลี่ยความเรียบผิวต่ำสุดที่ 0.47 ไมโครเมตร อัตราส่วน S/N อยู่ที่ 6.53 ในการทดลองซ้ำยืนยันพบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองครั้งแรกด้วยการคำนวณโดยวิธีทากูชิถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้โดยการปรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าร้อยละ 98.14 ดังนั้นวิธีการทากูชิสามารถนำมาออกแบบกระบวนการกดขัดผิวเรียบอะลูมิเนียมผสม AA5052 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: วิธีทากูชิ; การกดขัดผิวเรียบ; อะลูมิเนียมผสม

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.04.001

บทความวิจัย

Application of Taguchi Method for Burnishing Process of AA5052 Aluminum Alloy by Studying the Optimization of Production Machining Parameters

Suriya Namkaew[1] and Suriya Prasomthong[2*]

[1] Division of Industrial Engineering, Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

[2] Division of Industrial Technology, Faculty of industrial Technology, Nakhon Phanom University

[*] Corresponding author, E-mail: Suriya.p@npu.ac.th

Received: 21 December 2020; Revised: 5 March 2021; Accepted: 9 March 2021
Online Published: 5 April 2021

Abstract: The burnishing process was developed and designed for the finishing of the workpiece to reduce the production time. This research was to study the burnishing on AA5052 aluminum alloy which affects the surface roughness. The Taguchi method was used to determine the appropriate factors (speed, feed and burnishing Force) for optimization of production processes. From the experiment, the results showed that the condition of the burnishing process was the speeds 200 rev/min, the feeds 0.5 mm/rev and burnishing force 200 N, which had the average surface roughness as low as 0.47 μm and the S/N ratio was found to be 6.53. In the repeated trials, it was found that the values were closed to the first experiment by calculating via the Taguchi method, which was considered acceptable by estimated model coefficients of 98.14%. Therefore, the Taguchi method could be used to design an efficient burnishing process for AA5052 aluminum alloy.

Keywords: Taguchi method; Burnishing process; Aluminum alloy

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.04.001

บทความวิจัย

1. บทนำ

อะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในงานอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเรือ อุตสาหกรรมอากาศยาน ฯลฯ เนื่องจากมีน้ำหนักเบา และมีสัดส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง การผลิตชิ้นส่วนจากอะลูมิเนียมส่วนใหญ่มักใช้กระบวนการตัดเฉือน อาทิ การกลึงปลอกผิว การกัดลดขนาด การเจาะ เป็นต้น โดยกระบวนการตัดเฉือนเหล่านี้มักส่งผลต่อคุณภาพผิวสุดท้ายของวัสดุ เช่น ความเรียบผิว ขนาดชิ้นงาน และเป็นที่ทราบกันดีว่าวัสดุกลุ่มอะลูมิเนียมไม่สามารถตกแต่งผิวสุดท้ายด้วยกระบวนการเจียระไนได้ ดังนั้น กระบวนการกดขัดผิวเรียบ (Burnishing Process) จึงเป็นทางเลือกให้กับวัสดุเหล่านี้ โดยกระบวนการกดขัดผิวเรียบนั้นมีองค์ประกอบของกระบวนการที่ส่งผลต่อคุณภาพผิวสุดท้ายของชิ้นงาน ได้แก่ ความเร็วรอบ แรงในการกดขัด และอัตราป้อน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มักเป็นตัวกำหนดคุณภาพของชิ้นงาน Gharbi, et al. [1] ศึกษากระบวนการกดขัดผิวต่อคุณภาพผิว และโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI1010 พบว่าแรงในการกดขัดผิวส่งผลต่อความเรียบผิวและความแข็งของชิ้นงานมากสุดรองลงมาเป็นความเร็วรอบ และอัตราป้อนมีผลต่อชิ้นงานน้อยสุด Hamadache, et al. [2] ทำการปรับปรุงคุณภาพผิวของเหล็กผสมสูงด้วยการกดขัดผิวเรียบพบว่าแรงในการกดขัดผิวเรียบส่งผลต่อความเรียบผิวและความแข็งของชิ้นงานมากกว่าปัจจัยในการผลิตอื่น และยังมีรายงานว่ากระบวนการกดขัดผิวเรียบนอกจากจะช่วยปรับปรุงคุณภาพผิวแล้วยังสามารถเพิ่มความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อน และความเค้นบริเวณผิวชิ้นงานสูงขึ้น [3-4]

จากงานวิจัยที่กล่าวมาพบว่าการกดขัดผิวเรียบสามารถปรับปรุงผิวของชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในการศึกษาจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการตรวจสอบปัจจัยกระบวนการกดขัดผิวเรียบของอะลูมิเนียมผสม AA5052 เนื่องจากยังไม่มีการกล่าวถึงมากนักในการศึกษา สำหรับงานวิจัยใช้เทคนิคการออกแบบด้วยวิธีทากูชิ [5-9] มาช่วยในการวิเคราะห์ตรวจสอบค่าความเรียบผิวเพื่อลดจำนวนปัจจัยที่ไม่ส่งผลต่อกระบวนการในการผลิต เนื่องจากวิธีทากูชิสามารถลดต้นทุนในการทดลอง เปอร์เซ็นต์จำนวนครั้งในการทดลอง และความเชื่อมั่นในทางสถิติสูงเพราะวิธีทากูชิอาศัยหลักการวิเคราะห์ด้วย ANOVA ร่วมกับ S/N Ratio ส่งผลให้มีความน่าเชื่อมั่นกว่าวิธีอื่น [10-11] การศึกษาทำการตรวจสอบปัจจัยควบคุม ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราป้อน และแรงในการกดขัดผิวเรียบ เพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้จากกระบวนการกดขัดผิวเรียบด้วยเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต โดยงานวิจัยนี้คาดหวังว่าวิธีทางทากูชิจะสามารถออกแบบกระบวนการกดขัดผิวเรียบได้อย่างมีประสิทธิภาพ และหวังว่าจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ผลิตและผู้ที่สนใจศึกษาด้านการกดขัดผิวเรียบต่อไป

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

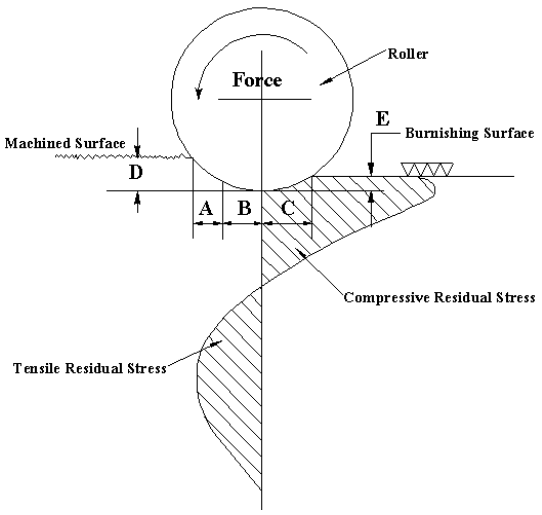
2.1 การกดขัดผิวเรียบ (Burnishing Process)

กระบวนการกดขัดผิวเรียบ เป็นการทำให้ชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือนมาแล้วมีผิวเรียบและแข็งขึ้น ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ได้กับทุกวัสดุ โดยลูกรีดจะถูก

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.04.001

กดลงบนผิวงานด้วยกลไกที่มีความแม่นยำสูง [12-14] เมื่อลูกรีดกดสัมผัสกับผิวชิ้นงานจะถูกหมุนด้วยความเร็วรอบและเคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามอัตราการเคลื่อนที่ที่ถูกกำหนดจากเครื่องจักร ซึ่งการกดขัดผิวเรียบเป็นวิธีการปรับขนาด ตกแต่งชิ้นงานที่รวดเร็ว ผิวชิ้นงานสะอาด มีประสิทธิภาพสูง และประหยัดเวลาในการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เนื่องจากชิ้นงานไม่ต้องถูกถอดออกจากเครื่องจักรเดิมสามารถทำงานให้แล้วเสร็จภายในเครื่องจักรเดียวจึงส่งผลให้ประหยัดเวลาและแรงงานในการผลิต [15-18] ต่อมามีการใช้กระบวนการกดขัดผิวอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมยานยนต์เนื่องจากมีข้อได้เปรียบกว่ากระบวนการอื่น ๆ ประโยชน์ของกระบวนการกดขัดผิวเรียบ คือ สามารถควบคุมขนาดที่แม่นยำมาก (ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.0005นิ้ว หรือดีกว่าขึ้นอยู่กับประเภทวัสดุและปัจจัยอื่น ๆ) พื้นผิวสำเร็จที่ดี (โดยทั่วไประหว่าง 1 ถึง 10 Ra) ความแข็งผิวเพิ่มขึ้น (มากถึง 5-10 % หรือมากกว่า) รอบเวลาในการผลิตที่ลดลง ผิวชิ้นงานสะอาดกว่าวิธีการอื่น ๆ และสามารถขจัดกระบวนการผลิตผิวสำเร็จของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ล่าช้า และลดค่าใช้จ่ายของกระบวนการ เช่น ไม่ต้องมีการเจียระไนหรือขัดผิวสำเร็จ

รูปที่ 1 แสดงกลไกของกระบวนการกดขัดผิวเรียบ เมื่อลูกรีดกดลงบนผิวชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมผิวที่ยังมีความเรียบผิวต่ำ (Ra>80) หรือผิวเดิมแสดงยังพื้นที่ D (Machined Surface) ลักษณะผิวเดิมมีค่าความสูงต่ำของผิว เมื่อลูกรีดกดสัมผัสกับผิวด้วยแรงที่เหมาะสมและคงที่ตลอดการเคลื่อนที่ที่สม่ำเสมอ ลูกรีดทำการกดที่ผิวส่งผลให้เกิดการไหลตัวของวัสดุจากบริเวณยอดผิวสู่พื้นผิวด้านล่าง (บริเวณพื้นผิวต่ำ) ทำให้ความเรียบผิวมีความสม่ำเสมอหรือผิวงานสุดท้ายมีความเรียบผิวสูงขึ้นดังแสดงในจุด E (Burnishing Surface) และในขณะที่มีแรงกดจากลูกรีดทำให้บริเวณที่เกิดการไหลของวัสดุเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (Plastic Deformation) และเกิดความเค้นอัดตกค้าง (Compressive Residual Stress) บริเวณพื้นผิวที่ถูกกดสัมผัส ซึ่งในทำนองเดียวกันพื้นผิวภายในเนื้อวัสดุที่ได้รับอิทธิพลจากแรงกดของลูกรีดภายนอกทำให้เกิดการตกค้างของความเค้นดึงภายในเนื้อวัสดุ (Tensile Residual Stress) ส่งผลให้วัสดุมีความแข็งขึ้นจากการสะสมของความเค้นจากภายนอกที่มากระทำ ในทำนองเดียวกันเมื่อบริเวณการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรมักมีการเพิ่มขึ้นของดิสโลเคชั่นจำนวนมากจึงทำให้ดิสโลเคชั่นเกิดอันตรกริยาซึ่งกันและกัน ความแข็งและความแข็งแรงบริเวณพื้นผิวดังกล่าวจึงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น 5-10 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่า



รูปที่ 1 แสดงกลไกกระบวนการกดขัดผิวเรียบ [6]

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.04.001

2.2 การทดลองการกดขัดผิวเรียบ

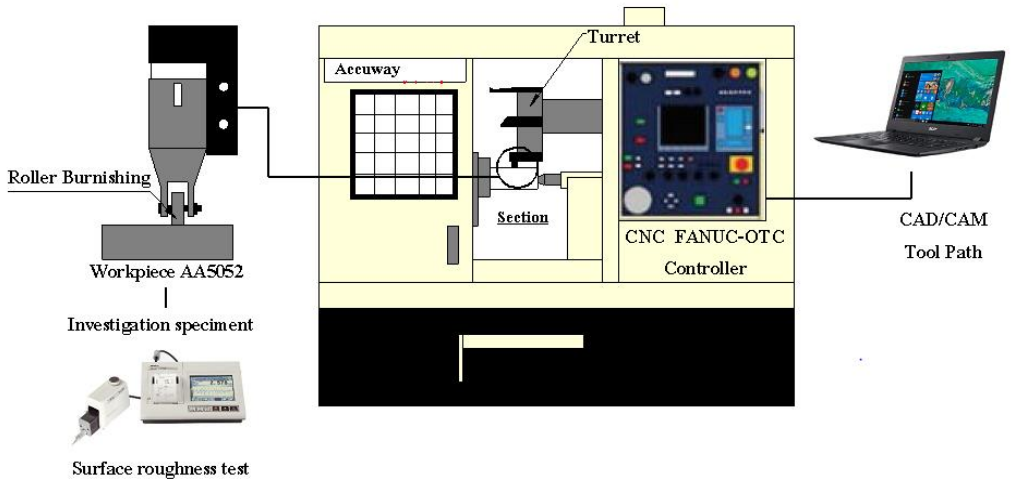
การทดลองกดขัดผิวเรียบทำการศึกษาปัจจัยของเครื่องจักรในการผลิต ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราป้อน และแรงกดขัดผิวเรียบ เนื่องจากปัจจัยทั้งสามมักส่งผลต่อคุณภาพผิวของชิ้นงาน [1-2] บนเครื่องกลึงอัตโนมัติ CNC ที่สามารถควบคุมความเร็วรอบและการเคลื่อนที่ของเครื่องมือกดคงที่ ระยะความลึกในการกด 0.25 มิลลิเมตร ทำการกดขึ้นรูปครั้งเดียว เครื่องมือกดผิวเป็นลูกรีดวงกลม โดยเครื่องมือในการกดถูกออกแบบให้สามารถวัดแรงในการกดใช้สปริงเป็นตัวกำหนดระยะโดยหมุนปรับระยะเกลียวซึ่งมีเกจวัดแรงดันเป็นตัววัดแรงในการกดขัดผิวเรียบ ซึ่งลักษณะการทดลองแสดงดังรูปที่ 2 หลังจากนั้นนำชิ้นงานมาทำการวัดความเรียบผิวด้วยเครื่องมือวัดแบบเคลื่อนที่สัมผัส และนำค่าความเรียบผิวเฉลี่ยมาทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกระบวนการทดลอง ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.3 วัสดุในการทดลอง

วัสดุในการทดลองใช้อะลูมิเนียมผสม AA5052 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 mm ยาว 120 mm ส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสม AA5052 ดังตารางที่ 1 ทำการปลอกผิวหยาบก่อนการกดขัดผิวเรียบโดยมีค่าความเรียบผิวเฉลี่ย 4.20 μm หัวกดขัดผิวเรียบทำจากเหล็กเครื่อง SKD11 ทำการเพิ่มความแข็งด้วยกระบวนการชุบแข็งด้วยน้ำมันจากนั้นทำการกดขัดผิวเรียบตามปัจจัยที่กำหนดก่อนทำการวัดความเรียบผิว

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกลของอะลูมิเนียม AA5052

Chemical composition								Mechanical Properties		
Al	Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Fe	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	Hardness, BHN
Bal.	0.48	0.24	0.12	0.95	0.21	0.23	0.45	89.6	195	47



รูปที่ 2 แผนภาพการดำเนินงานขั้นตอนการกดขัดผิวเรียบอะลูมิเนียมผสม AA5052

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.04.001

2.4 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพ

2.4.1 ตัวแปรในการทดลอง

การศึกษาทำการออกแบบการทดลองจำนวนของปัจจัยควบคุม (Control Factor) และระดับของปัจจัยควบคุม (Control Factor Level) ที่ได้ออกแบบไว้โดยนำค่าทั้งสองนี้มาทำการพิจารณาเลือกใช้ชนิด Orthogonal Array (OA) การใช้ OA ซึ่งจะทำให้สามารถหาอิทธิพลของปัจจัยที่มีหลายปัจจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพในการกำหนดปัจจัยควบคุมหรือตัวแปรที่ได้ออกแบบไว้ใน OA อย่างเหมาะสม ดังขั้นตอนต่อไปนี้พิจารณาตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการกดขัดผิวเรียบซึ่งประกอบด้วย 3 ตัวแปร 3 ระดับ โดยปัจจัยและระดับปัจจัยถูกกำหนดด้วยขั้นตอนการผลิตของเครื่องจักร [19] แสดงดังตารางที่ 2 ส่วนตัวแปรที่ไม่ได้กำหนดวิธีการควบคุมตัวแปรเนื่องจากปัจจัยภายนอกเกิดขึ้นน้อยที่สุด เช่น สภาพอากาศ ผู้ปฏิบัติงาน ฯลฯ

2.4.2 วิธีทางทากูชิ [20]

ทากูชิเป็นเทคนิคสำหรับการออกแบบและทำการทดลองจนเป็นกระบวนการค้นหาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นที่ได้จากปัจจัยในการนำมาทำการทดลอง วิธีการทากูชิ คือสิ่งที่ต้องการการออกแบบซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายโดยได้ทำการกำหนดสมรรถนะที่ดีที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด เครื่องมือที่ใช้สำหรับวิธีทากูชิ คือ OA เป็นระบบเมตริกซ์ของจำนวนข้อกำหนดในระดับแถวและคอลัมน์ วิธีการทากูชิคือการใช้อัตราส่วนแบบ Signal-to-Noise (S/N) จะหาจำนวนของตัวแปรที่มีอยู่ S/N คือค่าเฉลี่ยที่ใช้วัดของผลกระทบของปัจจัย Noise ตามลักษณะของสมรรถนะของตัวแปร และจะทำการวัดค่าทั้งสองคือ S/N ของจำนวนตัวแปรในข้อมูลของผลตอบและเพื่อให้เข้าใกล้ค่าเฉลี่ยของผลตอบของเป้าหมายที่ต้องการมากที่สุด

ทากูชิได้เสนอ 8 ขั้นตอนมาตรฐานดังนี้

1. จำแนกการดำเนินงานหลัก ซึ่งจะส่งผลกระทบข้างเคียงแลโหมดความเสียหายที่จะเกิดขึ้น
2. จำแนกปัจจัย Noise ภายใต้เงื่อนไขของการทดสอบ และลักษณะเฉพาะของคุณภาพ
3. จำแนกเป้าหมายของการดำเนินงานจนได้ค่าที่ดีที่สุด
4. จำแนกปัจจัยควบคุมและระดับต่าง ๆ
5. เลือกการทดลองแบบเมตริกซ์แบบ OA
6. ดำเนินการทดลองแบบเมตริกซ์
7. วิเคราะห์ข้อมูล ทำนายผลในระดับที่คาดหวังและสมรรถนะกระบวนการที่ดีที่สุด
8. ดำเนินการทดลองเพื่อพิสูจน์หาความจริงและวางแผนการดำเนินงานในอนาคต

ตารางที่ 2 ปัจจัยและพารามิเตอร์ในการทดลอง

Experimental Factors	Experimental Level			Surface Roughness (μm); Ra
	-1	0	1	
Speeds (rev/min)	200	500	800	-
Feeds (mm/ rev)	0.1	0.3	0.5	-
Burnishing Force (N)	100	150	200	-

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.04.001

ตารางที่ 3 อัตราส่วน S/N-Ratio ของค่าความเรียบผิวจากการทดลองทั้ง 9 Run โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

Run	Speeds (rev/min)	Feeds (mm/ rev)	Burnishing Force (N)	Test-1 (μm)	Test-2 (μm)	Test-3 (μm)	SN-Ratio	Mean
1	200	0.1	100	1.05	1.12	1.08	-0.70	1.08
2	200	0.3	150	0.75	0.82	0.74	2.26	0.77
3	**200**	**0.5**	**200**	**0.42**	**0.52**	**0.47**	**6.53**	**0.47**
4	500	0.1	150	1.26	1.18	1.22	-1.73	1.22
5	500	0.3	200	0.51	0.46	0.48	6.31	0.48
6	500	0.5	150	1.91	1.86	1.95	-5.61	1.91
7	800	0.1	200	0.74	0.66	0.72	3.01	0.71
8	**800**	**0.3**	**100**	**2.40**	**2.52**	**2.38**	**-7.73**	**2.43**
9	800	0.5	150	2.35	2.40	2.38	-7.52	2.38
						Average =	-0.58	1.27

2.4.3 การคำนวณ [23]

หลังจากทำการเลือกข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยในการคำนวณอัตราส่วน S/N โดยที่อัตราส่วน S/N-Ratio เป็นความเข้าใจทางคุณภาพที่มุ่งเน้นไปที่ผลกระทบสำหรับการเปลี่ยนแปลงโดยค่าตัวแปรของกระบวนการในสมรรถนะของกระบวนการหรือผลผลิตที่ได้จากการประเมิน ดังนั้นข้อกำหนดการปรับการวัดเรียกว่า Signal-to-Noise อัตราส่วน S/N ซึ่งเป็นการเข้ารวมกันระหว่างค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการวัดค่าของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ด้วยการออกแบบ Robust ซึ่งคุณลักษณะของ อัตราส่วน S/N-Ratio สำหรับการศึกษานี้เลือกเป้าหมายของการทดลองสำหรับสมการแบบ Smaller-is-Better ดังแสดงในสมการที่ 1 เนื่องจากผลลัพธ์คือความเรียบผิวต่ำสุดของชิ้นงาน ปัจจัยการทดลองแสดงดังตารางที่ 2 ใช้ OAs แบบ L-9 (3^3) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อยืนยันผลการทดลอง ดังนั้นจึงทำการทดลองเท่ากับ 27 run ซึ่งการจัดลำดับแบบ OAs แบบ L-9(3^3) ที่ใช้ในการศึกษาและผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3

$$S/N_s = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^2\right) \qquad (1)$$

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

การศึกษาประสิทธิภาพการกดขัดผิวเรียบเมื่อทำการทดลองการกดขัดผิวเรียบและนำไปทำการตรวจสอบค่าความเรียบผิวของชิ้นงานตามสภาวะที่ได้ทำการออกแบบโดยวิธีทากูชิทั้ง 9 การทดลองแล้วพบว่าค่าความเรียบผิวต่ำสุด คือ การทดลองที่ 3 โดยปัจจัยที่ให้ค่าความเรียบผิวต่ำสุดได้แก่ความเร็วรอบที่ 200 rev/min อัตราป้อน 0.5 mm/rev และแรงในการกดที่ 200 N ให้ความเรียบผิวต่ำสุดเท่ากับ 0.47 μm

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.04.001

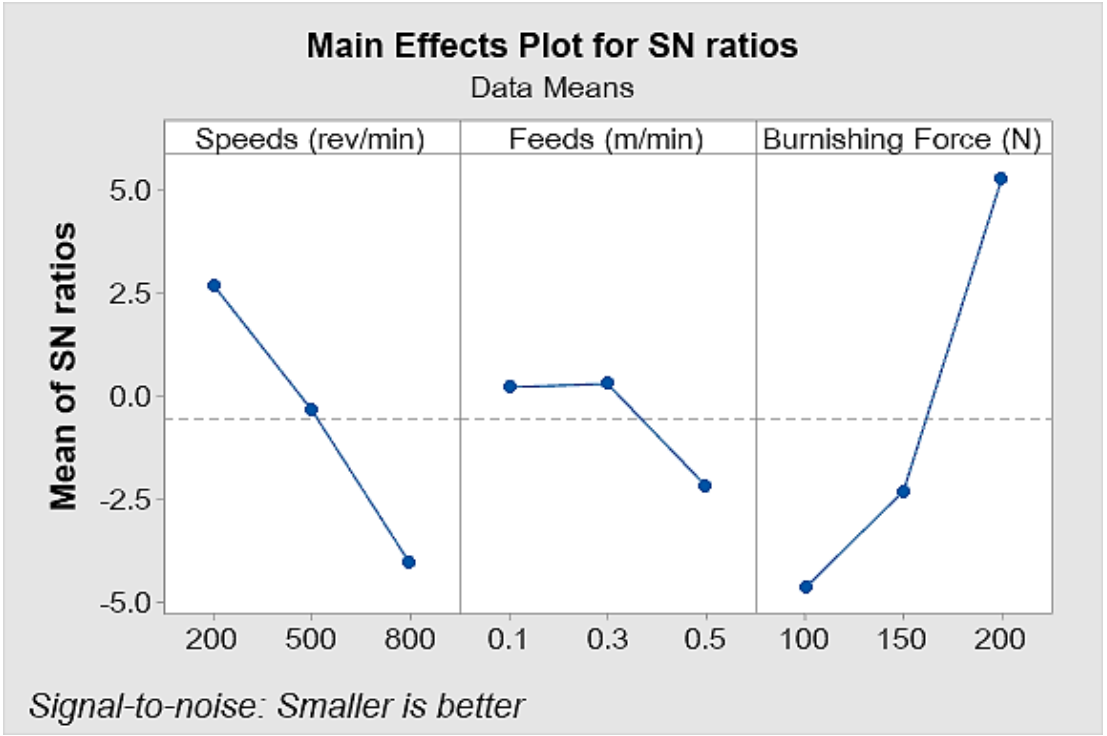
ส่วนค่าความเรียบผิวชิ้นงานสูงสุดของการทดลองอยู่ที่ระดับการทดลองที่ 8 ให้ค่าความเรียบผิวของชิ้นงานเฉลี่ยเท่ากับ 2.43 µm ที่ความเร็วรอบ 800 rev/min อัตราป้อน 0.3 mm/rev และแรงในการกด 100 N ส่วนลำดับการทดลองอื่นของแต่ละปัจจัยแสดงดังตารางที่ 3 จากผลการทดลองซ้ำในตารางที่ 3 ผลลัพธ์จากการทดลองซ้ำมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองเดิมซึ่งจากการสังเกตมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยของกระบวนการ โดยผลต่างของผลลัพธ์จากการทดลองซ้ำอาจเกิดจากการควบคุมการทดลองและผู้ปฏิบัติงานจึงส่งผลให้ค่าที่ได้จากการทดลองไม่คงที่แต่ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก โดยเฉพาะการตั้งค่าเครื่องมือในการกดขัดผิวเรียบอาจมีการคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งเดิม และผลจากการทดสอบค่าความเรียบผิวอยู่ในช่วง 0.42-2.52 µm และ อัตราส่วน S/N-Ratio ของค่าความเรียบผิวอยู่ระหว่าง -7.73-6.53 โดยมีค่าเฉลี่ยของ S/N-Ratio ที่ -0.58

การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยโดยอาศัยค่า S/N-Ratio เฉลี่ยของค่าความเรียบผิวถ้าค่า S/N-Ratio เฉลี่ยของปัจจัยควบคุมใดมีค่ามากหมายความว่าปัจจัยควบคุมนั้นจะมีผลทำให้คุณภาพงานออกมาดี โดยได้ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย S/N-Ratio ของค่าความเรียบผิวดังแสดงในตารางที่ 4 จากการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยค่า S/N-Ratio ถูกนำมาหาระดับของปัจจัยจากผลต่างของค่าของระดับปัจจัยที่สูงสุด (Max) และปัจจัยที่มีค่าต่ำสุด (Min) จากนั้นทำการวิเคราะห์ร้อยละของอิทธิพลหลัก (% Main Effect) ของแต่ละปัจจัยพบว่าแรงในการกดขัดผิว เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่า S/N-Ratio เฉลี่ยของค่าความเรียบผิวของชิ้นงานมากสุดคิดเป็นร้อยละ 51.82 รองลงมาคือความเร็วรอบในการขัดผิวมีค่าร้อยละ 35.28 และปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเรียบผิวต่ำสุด คือ อัตราป้อนมีค่าร้อยละ 12.90 จากผลในตารางที่ 4 สามารถสร้างกราฟผลตอบสนองของ S/N-Ratio โดยขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยที่ถูกคำนวณสำหรับแต่ละระดับของปัจจัยในรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าความเร็วรอบ และแรงกด มีผลต่อค่า S/N-Ratio ของค่าความเรียบผิวมากแต่เมื่อเปรียบเทียบกับระดับของอัตราป้อนมีผลต่อค่า S/N-Ratio ของค่าความเรียบผิวชิ้นงานต่ำมากเมื่อเทียบกับทั้งสองปัจจัย โดยสรุปจากกราฟหากต้องการให้ได้ค่าความเรียบผิวชิ้นงานต่ำสุดควรกำหนดความเร็วรอบที่ 200 rev/min, อัตราป้อน 0.3 mm/rev และแรงในการกดขัดผิวที่ 200 N

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยหลักโดยอาศัยค่า S/N-Ratio เฉลี่ยของค่าความเรียบผิว

Factors	Average of S/N-Ratio			Max	Min	Max-Min	% Main effect
	Level-1	Level-2	Level-3				
Speeds (rev/min)	2.70	-0.34	-4.08	2.7	-4.08	6.78	35.28
Feeds (mm/rev)	0.19	0.28	-2.20	0.28	-2.20	2.48	12.90
Burnishing Force (N)	-4.68	-2.33	5.28	5.28	-4.68	9.96	51.82
					Average =	19.22	100.00

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.04.001



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของระดับปัจจัยหลัก

การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนเพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้อง การทดลองนี้กำหนดระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (α = 0.05) ผลการทดลองหุ่นจำลองสำประสิทธิ์สำหรับอัตราส่วน S/N-Ratio ดังแสดงในตารางที่ 5 ค่า P-Value ผลลัพธ์สัมประสิทธิ์สำหรับอัตราส่วน S/N-Ratio ของกระบวนการกดขัดผิวเรียบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ ปัจจัยที่ 1 ความเร็วรอบ (200 rev/min) ผลลัพธ์การประมาณค่าหุ่นจำลองสัมประสิทธิ์ S/N-Ratio ซึ่งมีค่า P-Value ที่ไม่เกินระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่ามีผลต่อค่า S/N-Ratio (มีนัยสำคัญ) ส่วนปัจจัยที่ 2 อัตราป้อน (0.1 และ 0.3 mm/rev) ผลลัพธ์การประมาณค่าหุ่นจำลองสัมประสิทธิ์ S/N ซึ่งมีค่า P-Value เกินระดับนัยสำคัญที่ 0.05 สรุปว่าไม่มีผลต่อค่า S/N-Ratio และ ปัจจัยที่ 3 แรงในการกด (100 และ 150 N) พบว่ามีค่า P-Value ที่ไม่เกินระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่ามีผลต่อค่า S/N-Ratio (มีนัยสำคัญ) ในตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า S/N-Ratio ซึ่งมีค่า P-Value ที่ไม่เกิน 0.05 คือ ปัจจัยที่ 1 (ความเร็วรอบ) และปัจจัยที่ 3 (แรงในการกด) ส่งผลต่อค่า S/N-Ratio (มีนัยสำคัญ) ส่วนปัจจัยที่ 2 (อัตราป้อน) ไม่ส่งผลต่อค่า S/N-Ratio (ไม่มีนัยสำคัญ) โดยปัจจัยที่ 1 คือ ความเร็วรอบมีค่า P-Value เท่ากับ 0.02 และปัจจัยที่ 3 คือ แรงในการกด มีค่า P-Value เท่ากับ 0.01 มีระดับนัยสำคัญ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.04.001

ที่ไม่เกิน 0.05 สรุปว่ามีผลต่อค่ารูปแบบการประมาณค่าสัมประสิทธิ์สำหรับค่าเฉลี่ย (มีนัยสำคัญ) ส่วนปัจจัยอื่นที่มีค่าเกินระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่าไม่มีผลต่อค่ารูปแบบการประมาณค่าสัมประสิทธิ์สำหรับค่าเฉลี่ย (ไม่มีนัยสำคัญ) และการปรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจร้อยละ 98.14 แสดงให้ถึงความน่าเชื่อถือของกระบวนการที่ดี ส่วนสมการสัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับอัตราส่วน S/N-Ratio การกดขัดผิวเรียบเพื่อตรวจสอบความเรียบผิวน้อยสุดแสดงดังสมการที่ 2

$$S/N = -0.58 + 3.27(S200) + 0.23(S500) + 0.77(F0.1) - 0.86(F0.3) - 4.10(f100) - 1.75(f150) \quad (2)$$

ตารางที่ 5 หุ่นจำลองสำประสิทธิ์สำหรับอัตราส่วน S/N-Ratio

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.58	0.25	-2.29	0.15
Speeds (200 rev/min)	3.27	0.36	9.21	0.01
Speeds (500 rev/min)	0.23	0.36	0.65	0.58
Feeds (0.1 mm/rev)	0.77	0.36	2.16	0.16
Feeds (0.3 mm/rev)	0.86	0.36	2.41	0.14
Burnishing force (100 N)	-4.10	0.36	-11.55	0.01
Burnishing force (150 N)	-1.75	0.36	-4.94	0.04
S = 0.7536 R-Sq = 99.54 % R-Sq(adj) = 98.14 %				

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ S/N-Ratio ของความเรียบผิว

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Speeds (rev/min)	2	69.12	69.12	34.56	60.85	0.02
Feeds (mm/rev)	2	11.89	11.89	5.94	10.47	0.09
Burnishing force (N)	2	162.55	162.55	81.27	143.11	0.01
Residual Error	2	1.14	1.14	0.57		
Total	8	244.69				

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.04.001

4. สรุปผลการทดลอง

การประยุกต์ใช้วิธีทากูชิสำหรับกระบวนการกดขัดผิวอะลูมิเนียมผสม AA5052 โดยการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของเครื่องจักรในการผลิต สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

สภาวะการกดขัดผิวเรียบที่เหมาะสม คือ ลำดับการทดลองที่ 3 การปรับความเร็วรอบ 200 rev/min ที่อัตราป้อน 0.5 mm/rev และ แรงในการกด 200 N ให้ค่าเฉลี่ยความเรียบผิวต่ำสุดที่ 0.47 μm อัตราส่วน S/N อยู่ที่ 6.53 ในการทดลองซ้ำยืนยันพบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองครั้งแรกด้วยการคำนวณโดยวิธีทากูชิ ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ ผลการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงอาจเกิดจากการปรับตั้งค่าเครื่องจักรในการทดลองทำให้ค่าที่ได้มีความแตกต่างกันแต่ไม่มีความแตกต่างกันมากนักถือว่ายอมรับได้ ดังนั้นวิธีการทากูชิสามารถนำมาออกแบบกระบวนการกดขัดผิวเรียบอะลูมิเนียมผสม AA5052 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์ร้อยละของอิทธิพลหลักของแต่ละปัจจัยพบว่าแรงในการกดขัดผิวเรียบ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่า S/N-Ratio เฉลี่ยของค่าความเรียบผิวต่ำสุด รองลงมาคือความเร็วรอบ และปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเรียบผิวต่ำสุดคืออัตราป้อนในการกดขัดผิว

ปัจจัยในกระบวนการผลิตของเครื่องจักรส่งผลต่อค่าความเรียบผิวของชิ้นงานอย่างชัดเจน กล่าวคือ ถ้าความเร็วรอบในการขัดผิว และแรงในการกดขัดผิวสูงหรือต่ำมากเกินไปมักส่งผลต่อความเรียบผิว และมักนำไปสู่ความล้มเหลวในกระบวนการกดขัดผิวเรียบ

จากการทดลองการกดขัดผิวเรียบพบว่าสามารถเพิ่มคุณภาพผิวให้กับอลูมิเนียมผสม AA5052 และแนวโน้มของความแข็งบริเวณผิวชิ้นงานสูงขึ้น อาจกล่าวได้ว่ากระบวนการกดขัดผิวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มคุณภาพผิวให้กับอะลูมิเนียมผสมทั้งในด้านการผลิตและการศึกษาต่อไป

5. ข้อเสนอแนะ

การนำเอาวิธีการทากูชิมาช่วยในการออกแบบการทดลองเป็นวิธีการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพสำหรับการหาค่าที่ดีมี่สุดที่ต้องการเข้าใกล้ค่าตัวแปรที่ได้ออกแบบไว้อย่างเหมาะสม การปรับบางค่าตามเงื่อนไขของข้อกำหนดและการตัดสินใจเพื่อพิจารณาปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อกระบวนการทดลอง การออกแบบทากูชิเป็นเครื่องมือที่สำคัญและให้คำแนะนำอย่างง่ายและเป็นวิธีที่เป็นระบบจนสามารถนำไปสู่สมรรถนะที่ดีมีประสิทธิภาพ ลดต้นทุนและคุณภาพของกระบวนการผลิตสูงขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 ที่ให้ทุนสนับสนุนการจัดทำงานวิจัยโครงการ “การศึกษาปัจจัยการผลิตพื้นผิวสำเร็จ ด้วยเทคนิคการกดขัดผิวเรียบเพื่อลดขั้นตอนและต้นทุนการผลิตของผู้ประกอบการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลสำหรับรองรับการผลิตในอุตสาหกรรมแห่งอนาคต” ขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.04.001

7. เอกสารอ้างอิง

[1] F. Gharbi, S. Sghaier, K.J. Al-Fadhalah and T. Benameur, Effect of ball burnishing process on the surface quality and microstructure properties of AISI 1010 steel plates, Journal of materials engineering and performance, 2011, 20(6), 903-910.

[2] H. Hamadache, Z. Zemouri, L. Laouar, and S. Dominiak, Improvement of surface conditions of 36 Cr Ni Mo 6 steel by ball burnishing process. Journal of Mechanical Science and Technology, 2014, 28(4), 1491-1498.

[3] H. Yilmaz and R. Sadeler, Effect of ball burnishing treatment on the fatigue behavior of 316L stainless steel operating under anodic and cathodic polarization potentials. Metallurgical and Materials Transactions A, 2018, 49(11), 5393-5401.

[4] A. Sova, C. Courbon, F. Valiorgue, J., Rech, and Ph. Bertrand, Effect of turning and ball burnishing on the microstructure and residual stress distribution in stainless steel cold spray deposits. Journal of Thermal Spray Technology, 2017, 26(8), 1922-1934.

[5] H. Luo, J. Liu, L. Wang and Q. Zhong, Investigation of the burnishing process with PCD tool on non-ferrous metals, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005, 25, 454-459.

[6] L.N. López de Lacalle, A. Lamikiz, J. Muñoa and J.A. Sánchez, Quality improvement of ball-end milled sculptured surfaces by ball burnishing, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2005, 45(15), 1659-1668.

[7] F.J. Shiou, S.J. Huang, A.J. Shih, J. Zhu and M. Yoshino, Fine surface finish of a hardened stainless steel using a new burnishing tool, Procedia Manufacturing, 2017, 10, 208-217.

[8] U. Esme, Use of grey based Taguchi method in ball burnishing process for the optimization of surface roughness and microhardness of AA 7075 aluminum alloy, Materiali in tehnologije, 2010, 44(3), 129-135.

[9] S.R. Thorat and A.G. Thakur, Optimization of burnishing parameters by taguchi based GRA method of AA 6061 aluminum alloy, Materials Today: Proceedings, 2018, 5(2), 7394-7403.

[10] J.D. Kechagias, K.E. Aslani, N.A. Fountas, N.M. Vaxevanidis and D.E. Manolakos, A comparative investigation of Taguchi and full factorial design for machinability prediction in turning of a titanium alloy. Measurement, 2020, 151, 107213.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2021.04.001

[11] A. Rafidah, A. Nurulhuda, A. Azrina, Y. Suhaila, I.S. Anwar, and R.A. Syafiq, Comparison design of experiment (doe): Taguchi method and full factorial design in surface roughness. Applied Mechanics and Materials, 2014, 660, 275-279.

[12] W.Labuda, R.Starosta and R. Dyl, Estimation of the influence of burnishing parameters on steel X5CrNi1810 surface layers strengthening and roughness changes, Journal of KONES, 2008, 15, 259-267.

[13] V. Chomienne, F. Valiorgue, J. Rech and C. Verdu, Influence of ball burnishing on residual stress profile of a 15-5PH stainless steel, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2016, 13, 90-96.

[14] Y.C. Yen, P. Sartkulvanich, and T.Altan, Finite element modeling of roller burnishing process, CIRP annals, 2005, 54(1), 237-240.

[15] A.M. Hassan, and A.S. Al-Bsharat, Influence of burnishing process on surface roughness, hardness, and microstructure of some non-ferrous metals, Wear, 1996, 199(1), 1-8.

[16] A.M. Hassan and S.Z. Al-Dhifi, Improvement in the wear resistance of brass components by the ball burnishing process, Journal of Materials Processing Technology, 1999, 96(1-3), 73-80.

[17] Y.C. Lin, S.W. Wang and H.Y. Lai, The relationship between surface roughness and burnishing factor in the burnishing process, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2004, 23(9), 666-671.

[18] H. Basak, , S. Özkan and A. Taskesen, Application of burnishing process on friction stir welding and investigation of the effect of burnishing process on the surface roughness, hardness and strength, Experimental Techniques, 2011, 35, 8-16.

[19] S. Swirad and R. Wdowik, Determining the effect of ball burnishing parameters on surface roughness using the Taguchi method, Procedia Manufacturing, 2019, 34, 287-292.

[20] K.L. Tsui, An overview of Taguchi method and newly developed statistical methods for robust design, IIE Transactions, 1992, 24(5), 44-57.