

อิทธิพลของอะลูมิเนียมผสมที่ส่งผลต่อขนาดรูปทรงอิสระและรูปทรงเรขาคณิต ที่ผ่านกระบวนการกัดขึ้นรูป CNC

บดินเดช จูมณี¹ พัชนะ กัญจนกาญจน์¹ เฉลิม ขุนเอียด¹ รวิณธ์ธนต์ ทิพย์เสนา^{2*} และวรรณนิศา นุชคุ้ม³
brodindech.j@rmutsb.ac.th¹, patchara.k@rmutsb.ac.th¹ chalerk.k@rmutsb.ac.th¹
rawintanath.t@rmutsb.ac.th^{2*} and wannisa.nu@rmuti.ac.th³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ ศูนย์เทคโนโลยีแม่พิมพ์ (TDTC) คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

² สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

³ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Received: December 7, 2023 Revised: May 17, 2024 Accepted: May 27, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษา อิทธิพลวัสดุที่แตกต่างกันของอะลูมิเนียมทั้ง 4 เกรด ได้แก่ Al5058, Al6061, Al6063, Al7075 ที่ส่งผลต่อขนาดรูปทรงอิสระและรูปทรงเรขาคณิตหลังกระบวนการกัดขึ้นรูป (CNC) ซึ่งกำหนดความเร็วรอบในการตัดเฉือน รอบ/นาที (RPM) และอัตราป้อนของโต๊ะงาน มิลลิเมตร/นาที (mm/min) ที่เท่ากัน และ เครื่องมือในการตัดเฉือน (Cutting Tool) ที่ใช้ตัดเฉือน ก็เป็นชนิดเดียวกัน คือ (Carbide Endmill TiAlN-COATED) พร้อมเปลี่ยน เครื่องมือในการตัดเฉือน ทุกครั้งที่ทำการเปลี่ยน เกรดอะลูมิเนียมและทำการตรวจวัดขนาดโดยเครื่องสแกนประเภท Structured Light Scanner (SLS) แบบไม่สัมผัสชิ้นงานยี่ห้อ (GOM ATOS) ซึ่งนำไฟล์ (Point Clouds) ที่ได้จากการสแกนของอะลูมิเนียม ทั้ง 4 เกรด เทียบกับไฟล์ 3 มิติ (CAD File) เดิม เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลวัสดุที่แตกต่างกันของอะลูมิเนียมหลังกระบวนการตัดเฉือน (Machining) ซึ่งการวัดขนาดอะลูมิเนียมเกรด Al7075 หลังกระบวนการตัดเฉือนทั้ง 8 ตำแหน่ง มีค่าใกล้เคียงกับไฟล์ 3 มิติ เดิมมากที่สุด ซึ่งตำแหน่งทรงกลมที่ 1, 2, 3 (Spherer1, 2, 3) มีค่าเท่ากับ 20.000, 20.000, 7.500 mm. ตำแหน่งเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 1, 2, 3 (Diameter 1, 2, 3) มีค่าเท่ากับ 47.506, 5.000, 7.500 mm. ตำแหน่งกรวยที่ 1 (Cone1) มีค่าเท่ากับ 5.017 mm. และ องศากรวยที่ 1 (Angle 1) ที่ค่าเท่ากับ 20.556 mm.

คำสำคัญ: เครื่องมือในการตัดเฉือน กระบวนการตัดเฉือน ไฟล์ 3 มิติ สแกนนิ่ง

The Influence of Aluminum Alloy Effects on Freeform and Geometry after the CNC Milling Process.

Brodindech Joommanee¹, Patchara Kunjanakarn¹, Chalerm Khunead¹

Rawintanath Thipsena^{2*} and Wannisa Nutkhum³

brodindech.j@rmutsb.ac.th¹, patchara.k@rmutsb.ac.th¹, chalerm.K@rmutsb.ac.th¹

rawintanath.t@rmutsb.ac.th^{2*} and wannisa.nu@rmuti.ac.th³

¹Department of Tool and Die Engineering, Tool and Die Technology Center (TDTC), Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

²Department of Manufacturing Engineering Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

³Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan

Received: December 7, 2023 Revised: May 17, 2024 Accepted: May 27, 2024

Abstract

This research study Influence of different material of Al5058, Al6061, Al6063, and Al7075 on the freeform and geometry after the CNC milling process. The cutting speed (RPM) and table feed rate (mm/min) are determined equivalent and the cutting tool remains the same, which is a (Carbide Endmill TiAlN-COATED). It is necessary to change the cutting tool for every grade of aluminum. Then, Dimensions have been measured using a Structured Light Scanner (SLS), specifically the GOM ATOS, which is a non-contact type of scanner. Point cloud files from the aluminum 4 grade have been compared with the original CAD. To compare the influence of different materials after the machining process, the size measurements of Al7075 grade aluminum at all 8 locations after machining are kept as close to the original 3D file as possible. The dimensions of spheres 1, 2, and 3 are 20.000 mm, 20.000 mm, and 7.500 mm, respectively. The diameters of spheres 1, 2, and 3 are 47.506 mm, 5.000 mm, and 7.500 mm, respectively. The dimension of cone 1 is 5.017 mm, and the angle 1 measures 20.556 mm.

Keywords: Cutting tool, Machining, File 3D, Scanning

1. บทนำ

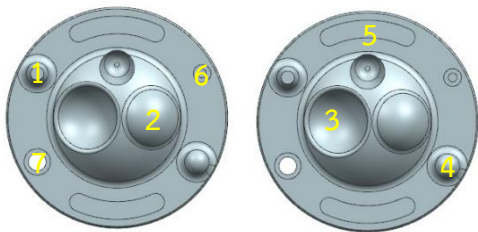
ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์ในปัจจุบันมีความหลากหลายของวัสดุที่ใช้ในการผลิตและรูปทรงของชิ้นส่วนที่มีความอิสระซับซ้อน (Freeform) ซึ่งการวัดขนาดของรูปทรงอิสระดังกล่าวเป็นไปด้วยความยากลำบากและมีข้อจำกัดในด้านเครื่องมืออุปกรณ์ และอิทธิพลวัสดุที่ส่งผลต่อขนาดชิ้นส่วนนั้นๆ การวัดขนาดชิ้นงานในปัจจุบันคือพื้นฐานที่สำคัญในการผลิตสมัยใหม่ เป็นข้อกำหนดเพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนนั้นๆมีคุณภาพ และกระบวนการตัดเฉือนยังเป็นส่วนสำคัญในการผลิตชิ้นส่วนที่เป็นโลหะซึ่งส่งผลโดยตรงรูปทรงความแม่นยำหลังกระบวนการผลิต [1] ซึ่งมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้กระบวนการผลิตนั้นมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงาน [2] แนวโน้มล่าสุดในอุตสาหกรรมการผลิตได้มุ่งเน้นเทคนิคการวัดโดยวัดบนเครื่องจักรซึ่งลดข้อบกพร่องและข้อผิดพลาดหลังกระบวนการผลิตและลดการใช้ทรัพยากรให้น้อยที่สุด การวัดบนเครื่องจักร ชิ้นส่วนยังวางอยู่บนเครื่องแต่กระบวนการตัดเฉือนหยุดลง [3] วิธีการวัดบนเครื่องจักรยังไม่เพียงพอ เพียงแต่เป็นการช่วยตรวจสอบข้อบกพร่องเท่านั้น แต่ยังไม่สามารถระบุสาเหตุที่แท้จริงของข้อผิดพลาดได้ โดยวิธีการเปรียบเทียบแบบ ไฟล์ 3 มิติ ระหว่าง ไฟล์คลาวด์พอยต์และไฟล์ (3D Modeling) เป็นการวัดผลเพื่อรวบรวมข้อมูลกระบวนการมากกว่าข้อมูลผลิตภัณฑ์ซึ่งช่วยควบคุมคุณภาพและเพิ่มประสิทธิภาพ [4]

ในไม่กี่ปีที่ผ่านมา คอมพิวเตอร์ช่วยในการตรวจสอบ Computer Aided Inspection (CAI) ของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลโดยใช้ซอฟต์แวร์มาตริยาสำหรับการวัดแบบ Coordinate Measuring Machine (CMM) แม้ว่าความละเอียดจาก (3D Scanning) ยังไม่สามารถเทียบเท่ากับ (CMM) ได้ แต่ในปัจจุบันการวัดแบบไม่สัมผัสชิ้นงาน เพิ่มความรวดเร็วในการวัดด้วยการเพิ่มจำนวนจุดของ ไฟล์คลาวด์พอยต์ โดยมีความคลาดเคลื่อนของการวัดชิ้นส่วนอยู่ที่ระดับ 1 μm หรือ 0.001 mm ดังนั้นจึงนิยมการวัดแบบเปรียบเทียบไฟล์ 3 มิติ ชิ้นส่วนที่มีรูปร่างอิสระซับซ้อน [5]

มีการศึกษาเปรียบเทียบการวัดขนาดรูปทรงอิสระด้วยเครื่องสแกนทั้งหมด 4 ประเภทได้แก่ Laser Line Scanner (LLS), Structured Light Scanner (SLS), Photogrammetric Scanning System With Rotary Table (PSSRT) และ Aser Acanning Arm (LSA) เพื่อเปรียบเทียบขนาดความคลาดเคลื่อนของเครื่องสแกนแต่ละประเภท หาข้อบกพร่องพร้อมจุดดีจุดด้อย และมีความสนใจในการศึกษาความแตกต่างของวัสดุและสีที่ส่งผลต่อขนาดรูปร่างของชิ้นงานนั้นๆ [6] นอกจากการเปรียบเทียบการวัดขนาดจากเครื่องสแกนแต่ละประเภทยังมีการเปรียบเทียบข้อแตกต่างข้อดีข้อเสียและข้อจำกัดของ ซอฟต์แวร์ที่ช่วยในการวัดขนาด ทั้งหมด 6 ซอฟต์แวร์ได้แก่ 3D Reshaper V.7.1, Geomagic Qualify V.12, GOM Inspect V.7.5, Point Master V.5.3.3, Poly works Inspector V.12, Rapid Form XOV2 [7-8] การเปรียบเทียบอิทธิพลความเข้มข้นของแสงจากเครื่องสแกน Structured Light Scanner (SLS) ที่ส่งผลต่อการคลาดเคลื่อนของการวัดขนาดชิ้นงาน [9] เปรียบเทียบการวัดขนาดรูปทรงเรขาคณิตที่แตกต่างกันโดยใช้ CMM, Optical Scanner, Computed Tomography 3D [10] การศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการแปลงไฟล์คลาวด์พอยต์หรือไฟล์ดิจิทัลและความแม่นยำ [11] แต่เป็นการทดสอบอะลูมิเนียมเพียงชนิดเดียว ในทางตรงกันข้ามชนิดของอะลูมิเนียมที่มีอยู่หลากหลายในท้องตลาด เช่น AL5058, AL6061, AL6063 และ AL7075 ตามลำดับ

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นไม่มีบทความใดให้ความสำคัญในเรื่องอิทธิพลของวัสดุอะลูมิเนียมหลังกระบวนการผลิต เกี่ยวเนื่องจากความหลากหลายของอะลูมิเนียมและการเพิ่มขึ้นของชนิดอะลูมิเนียมที่นำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม การผลิตชิ้นส่วนเครื่องมือและแม่พิมพ์ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาอิทธิพลของวัสดุอะลูมิเนียมทั้ง 4 เกรด ได้แก่ AL5058, AL6061, AL6063 และ AL7075 ตามลำดับ ที่แตกต่างกัน ซึ่งอะลูมิเนียมทั้ง 4 เกรดสามารถหาได้ในประเทศและเป็นที่นิยมนำมาเป็นชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ในหลากหลายอุตสาหกรรมเช่น อุตสาหกรรมการออกแบบและผลิต

อุปกรณ์การจับยึดซึ่งมีการเปลี่ยนรูปแบบอย่างรวดเร็วในปัจจุบันจึงทำให้อะลูมิเนียมเป็นวัสดุทดแทนในตระกูลเหล็กเนื่องจากง่ายต่อการตัดเฉือนใช้เวลาในการตัดเฉือนน้อย เพื่อเข้าใจถึงผลกระทบของวัสดุที่แตกต่างกัน ต่อขนาดหลังกระบวนการผลิตของอะลูมิเนียม ทำให้สามารถเลือกใช้อะลูมิเนียมให้มีความเหมาะสมกับงานที่ต้องการและเป็นการเพิ่มความแม่นยำในการทำอุปกรณ์จับยึดและชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ พร้อมควบคุมค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตลดต้นทุนเพิ่มมูลค่า



1. Cone1, 2. Sphere 1, 3. Sphere 2, 4. Sphere 3
5. Diameter 1, 6. Diameter 2, 7. Diameter 3

รูปที่ 1 ชิ้นงาน 3D จุดที่ต้องการเช็คขนาดรูปทรงอิสระและรูปทรงเรขาคณิต เส้นผ่านศูนย์กลาง กรวยทรงกลม

2. วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบการวัดขนาดรูปทรงอิสระและรูปทรงเรขาคณิตหลังกระบวนการตัดเฉือนด้วยเครื่องกัด 3 แกน ดังรูปที่ 1 ได้ทำการออกแบบชิ้นงานให้มีรูปทรงอิสระและรูปทรงเรขาคณิต พร้อมออกแบบ เส้นทางเดินของพูล (Tool pate) ความเร็วรอบในการตัดเฉือน รอบ/นาที และอัตราป้อนของโต๊ะงาน มิลลิเมตร/นาที ที่เท่ากัน และ เครื่องมือในการตัดเฉือนที่ใช้ในการตัดเฉือน ก็เป็นชนิดเดียวกัน คือ (Carbide Emdmill TiAlN-COATED)

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

อะลูมิเนียม 4 เกรด Al 5058, Al 6061, Al 6063, Al 7075 พร้อมเปลี่ยนเครื่องมือในการตัดเฉือน ทุกครั้งที่ทำการเปลี่ยน เกรดอะลูมิเนียม

เมื่อทำการตัดเฉือนเสร็จเรียบร้อยแล้วทำการเก็บข้อมูลทางกายภาพของอะลูมิเนียมแต่ละเกรดด้วยเครื่องสแกน จากการเปรียบเทียบเครื่องสแกนทั้งหมด 4 ประเภท Laser Line Scanner (LLS), Structured Light Scanner (SLS), Photogrammetric Scanning System With Rotary Table (PSSRT) และ Aser Acanning Arm (LSA) ได้แสดงให้เห็นว่าเครื่องสแกนประเภท Structured Light Scanner (SLS) ให้ค่าที่มีความเที่ยงตรงมากที่สุด [5] จึงเลือกเครื่องสแกนประเภท Structured Light Scanner (SLS) ในขั้นตอนการปฏิบัติเลือกใช้เครื่องสแกนเนอร์ที่ใช้แสงสีน้ำเงิน (Blue light) [6] แบบไม่สัมผัสชิ้นงานยี่ห้อ (GOM ATOS) รุ่น (Optical Measuring Techniques โดยใช้เลนส์ขนาด 200 X 200 mm³ ในการทดลองครั้งนี้ ส่วนไฟล์ที่ได้จากการสแกนคือ STL (Stereolithography) เพื่อทำการเปรียบเทียบขนาดรูปทรงอิสระและรูปทรงเรขาคณิตหลังกระบวนการตัดเฉือน

2.2 ขั้นตอนการสแกน



รูปที่ 2 อะลูมิเนียมทั้ง 4 เกรดหลังผ่านกระบวนการตัดเฉือน

นำอะลูมิเนียมทั้ง 4 เกรดทำการตัดเฉือนขึ้นรูปด้วยเครื่องกัด 3 แกน ตามรูปที่ 2 ทำการสแกนชิ้นงานทั้ง 4 ชิ้นด้วยเครื่องสแกน (GOM ATOS) การสแกนจะใช้ประโยชน์จากวัตถุที่มีอยู่แล้ว การสร้างวัตถุอื่นคล้ายกับวัตถุที่มีอยู่แล้วโดยอาศัยการได้รับข้อมูลทางกายภาพจากวัตถุนั้นๆ [12] รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับรูปร่างขนาดของวัตถุที่สแกน ขึ้นรูปกับเทคโนโลยีที่สามารถบันทึกได้และข้อมูลเกี่ยวกับสีหรือการสะท้อนกลับของแสงในวัตถุนั้นๆ ข้อมูลที่ได้จากการสแกนเรียกว่า (Point Clouds) [13] จุดมุ่งหมายหลักวิศวกรรมย้อนกลับ (Reverse engineering) คือการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องที่ได้รับจากแบบจำลองเป็นแบบจำลองที่ต่อเนื่องโดยกำหนดตามพื้นผิวของชิ้นงานโดยปกติข้อมูลจะแสดงเป็นจุด (X Y Z) ซึ่งคือรูปแบบไฟล์ดิจิทัลลักษณะสุ่ม [14] ระบบการสแกนแบบ (3D Optical Scanning) ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการเปรียบเทียบ [15-17] ระหว่างไฟล์ (3D Modeling) กับ ไฟล์ (Point Clouds) จากเครื่องสแกน เพื่อวัดความแตกต่างของ ไฟล์ 3 มิติที่ได้ทำการออกแบบพร้อมเก็บข้อมูลทางกายภาพหลังผ่านกระบวนการตัดเฉือน

ตารางที่ 1 ขนาดทรงกลม,เส้นผ่านศูนย์กลาง,ขนาดองศาทรงกรวยของชิ้นงานจากไฟล์ 3 มิติ ก่อนกระบวนการตัดเฉือน

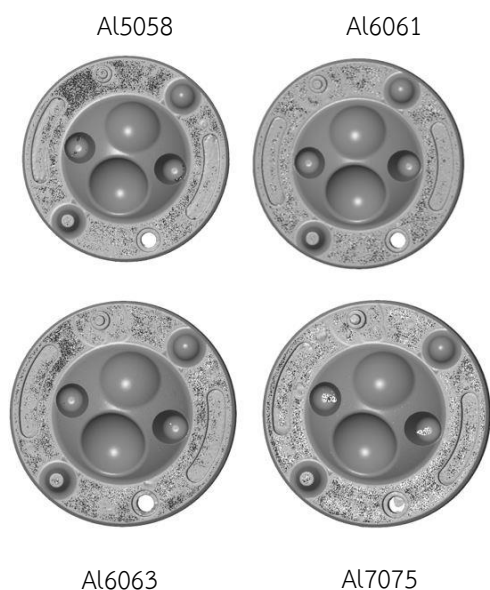
ขนาดทรงกลม (Sphere)	Radius (mm)
Sparer1	20.000
Sphrer2	20.000
Sphrer3	7.500
เส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter)	Radius (mm)
Diameter1	47.500
Diameter2	5.000

Diameter3	7.500
องศาทรงกรวย (Cone)	Radius (mm)
Cone1	5.000
Angle	20.556



รูปที่ 3 การสร้างจุดอ้างอิงที่มีตำแหน่งเดียวกันและจำนวนเท่ากันก่อนทำการ (Scanning)

โดยกำหนดจำนวน ไฟล์ (Point Clouds) ที่ได้จากเครื่องสแกนของอะลูมิเนียมทั้ง 4 เกรดให้มีจำนวนเท่ากันคือ 300,000 Point ดังรูปที่ 4 และกำหนดจุดอ้างอิงที่มีตำแหน่งเดียวกันจำนวนจุดอ้างอิงเท่ากัน ดังรูปที่ 3 เพื่อความเที่ยงตรงแม่นยำในการวัดขนาดโดยพื้นผิวชิ้นงานก่อนการสแกนไม่ได้พ่นหรือเคลือบสารใดเพื่อวิเคราะห์ข้อจำกัดของวัสดุนั้นๆ



รูปที่ 4 ไฟล์ (Point Clouds) ที่ได้จากเครื่องสแกนของ อะลูมิเนียมทั้ง 4 เกรด 300,000 Point

3. ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ผลระหว่างไฟล์ (3D Modeling) กับ ไฟล์ (Point Clouds) มีการใช้อย่างแพร่หลายในการเปรียบเทียบ [10,15-17] การตรวจสอบและวิเคราะห์ผลลัพธ์ด้วยซอฟต์แวร์ GOM inspect software ซึ่งความไม่แน่นอนของเครื่องสแกนแบบ (Optical scanner) คำนวณตามวิธีการของ PUMA [17] ประกอบไปด้วยส่วนประกอบดังนี้

Uc ข้อผิดพลาดจากการสอบเทียบ

Up ข้อผิดพลาดจากการวัด

Ub ข้อผิดพลาดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

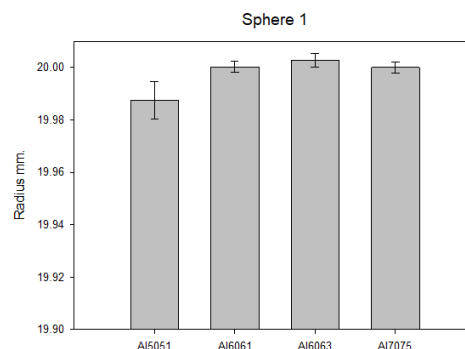
Uw ข้อผิดพลาดจากการแปรปรวนจากการติดตั้ง

$$U = K * \sqrt{U_c^2 + U_p^2 + U_b^2 + U_w^2} \dots (1)$$

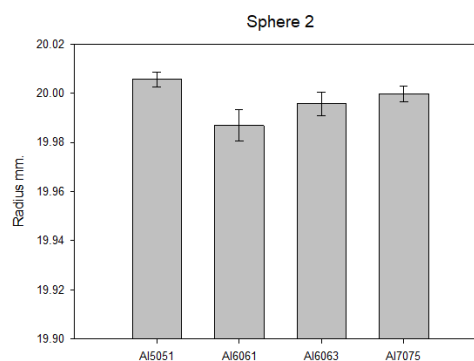
K ปัจจัยครอบคลุมตั้งค่าเป็น 2 สำหรับช่วงความเชื่อมั่น 95 %

3.1 การวัดขนาดทรงกลม

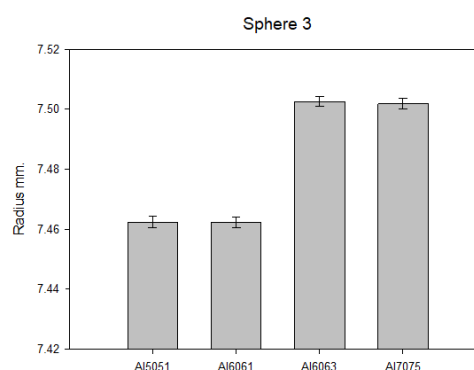
1) ผลการวัดขนาดทรงกลม ในรูปที่ 5-7 แสดงให้เห็นถึงค่าที่ได้จากการวัดขนาดทรงกลม ของ อะลูมิเนียมแต่ละเกรด เมื่อเทียบกับขนาดไฟล์ 3 มิติ ก่อนกระบวนการตัดเฉือน



รูปที่ 5 การวัดขนาดทรงกลม Sphere 1 ของ อะลูมิเนียมแต่ละเกรด



รูปที่ 6 การวัดขนาดทรงกลม Sphere 2 ของ อะลูมิเนียมแต่ละเกรด



รูปที่ 7 การวัดขนาดทรงกลม Sphere 3 ของ อะลูมิเนียมแต่ละเกรด

ซึ่ง AL5058 แสดงให้เห็นถึงค่า Error หลังกระบวนการตัดเฉือนมากที่สุดในการวัดขนาดทรงกลม Sphere 1, Sphere 2, Sphere 3 ซึ่ง AL7075 ให้ค่าการวัดหลังกระบวนการตัดเฉือนมีความเที่ยงตรงและใกล้เคียงกับขนาดไฟล์ 3 มิติ ก่อนกระบวนการตัดเฉือนมากที่สุด ในส่วนการวัดขนาดทรงกลม ซึ่งการวัดขนาดทรงกลมและกรวย ไม่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือวัดพื้นฐานเช่น เวอร์เนียคาลิเปอร์ หรือไมโครมิเตอร์จึงใช้วิธีดังกล่าว

2) ผลการทดสอบเชิงสถิติของการวัดขนาดทรงกลม จากนั้นนำข้อมูล Sphere 1, Sphere 2 และ Sphere 3 ทำการทดสอบทางสถิติ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ดังรูปที่ 8-10

WORKSHEET 1
One-way ANOVA: resp versus Sphere 1

Method

Null hypothesis All means are equal
Alternative hypothesis Not all means are equal
Significance level $\alpha = 0.05$
Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Sphere 1	4	AI5051, AI6061, AI6063, AI7075

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Sphere 1	3	0.000718	0.000239	14.04	0.000
Error	16	0.000273	0.000017		
Total	19	0.000991			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0041292	72.47%	67.30%	56.98%

รูปที่ 8 การทดสอบทางสถิติ Sphere 1

WORKSHEET 1

One-way ANOVA: resp 2 versus Sphere 2

Method

Null hypothesis All means are equal
Alternative hypothesis Not all means are equal
Significance level $\alpha = 0.05$
Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Sphere 2	4	AI5051, AI6061, AI6063, AI7075

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Sphere 2	3	0.000933	0.000311	14.98	0.000
Error	16	0.000332	0.000021		
Total	19	0.001266			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0045580	73.74%	68.82%	58.97%

รูปที่ 9 การทดสอบทางสถิติ Sphere 2

WORKSHEET 1

One-way ANOVA: resp 3 versus Sphere 3

Method

Null hypothesis All means are equal
Alternative hypothesis Not all means are equal
Significance level $\alpha = 0.05$
Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Sphere 3	4	AI5051, AI6061, AI6063, AI7075

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Sphere 3	3	0.007962	0.002654	884.64	0.000
Error	16	0.000048	0.000003		
Total	19	0.008010			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0017321	99.40%	99.29%	99.09%

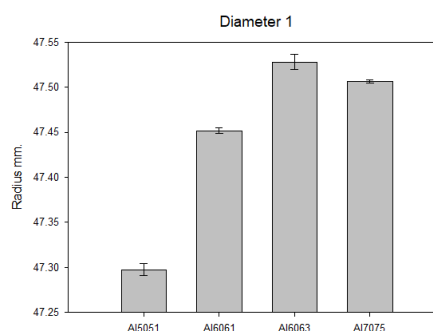
รูปที่ 10 การทดสอบทางสถิติ Sphere 3

จากการทดสอบทางสถิติ ของข้อมูล Sphere 1, Sphere 2 และ Sphere 3 พบว่า ค่า P-Value =

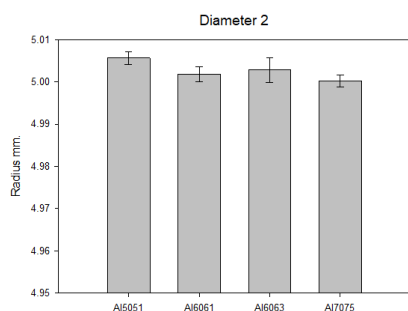
0.000 น้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ดังนั้น ชนิดของเกรตอะลูมิเนียม ส่งผลต่อการวัดขนาดทรงกลม Sphere 1, Sphere 2 และ Sphere 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นได้ว่า ชนิดของอะลูมิเนียมมีผลต่อ Sphere 1, Sphere 2 และ Sphere 3 ตามลำดับ แต่อะลูมิเนียมชนิด AL7075 มีผลที่ดีกว่าชนิดอื่นๆ เพราะโครงสร้างของวัสดุมีความแข็งแรงสูงทนการสึกหรอและทนการกัดกร่อนได้ดีคือ คุณสมบัติเด่นของอะลูมิเนียมชนิดนี้ [18] และหากจะพิจารณาเพียงทรงกลมอย่างเดียวอาจจะไม่สมบูรณ์จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อไป

3.2 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

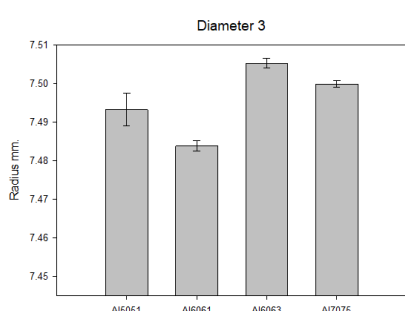
1) ผลการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ในรูปที่ 11-13 แสดงให้เห็นถึงค่าที่ได้จากการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอะลูมิเนียม แต่ละเกรต เมื่อเทียบกับขนาดไฟล์ 3 มิติ ก่อนกระบวนการตัดเฉือน ในส่วนของ Diameter 1 กับ Diameter 2 AL5058 แสดงให้เห็นถึงค่า Error หลักกระบวนการตัดเฉือนมากที่สุด ซึ่ง AL7075 แสดงความเที่ยงตรงและใกล้เคียงกับขนาดไฟล์ 3 มิติ ก่อนกระบวนการตัดเฉือนมากที่สุด ส่วน Diameter 3 AL6063 แสดงให้เห็นถึงค่า Error หลักกระบวนการตัดเฉือนมากที่สุด และ AL7075 แสดงถึงความเที่ยงตรงหลังกระบวนการตัดเฉือนมากที่สุดในส่วนของ Diameter 3 แสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 11 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Diameter 1 ของ อะลูมิเนียม แต่ละเกรต

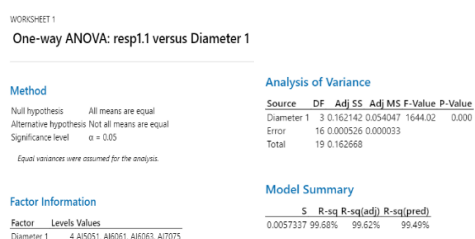


รูปที่ 12 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Diameter 2 ของ อะลูมิเนียม แต่ละเกรด

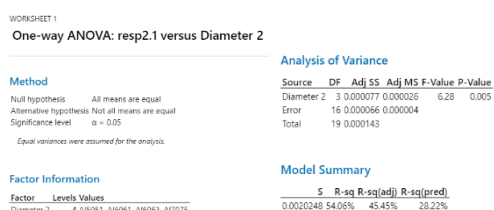


รูปที่ 13 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Diameter3 ของ อะลูมิเนียมแต่ละเกรด

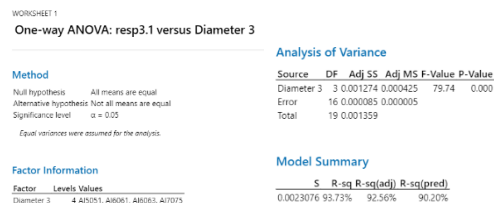
2) ผลการทดสอบเชิงสถิติของการวัดขนาดทรงกลม จากนั้นนำข้อมูล Diameter 1 ,Diameter 2 และ Diameter 3 ทำการทดสอบทางสถิติ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ดังรูปที่ 14-16



รูปที่ 14 การทดสอบทางสถิติ Diameter 1



รูปที่ 15 การทดสอบทางสถิติ Diameter 2

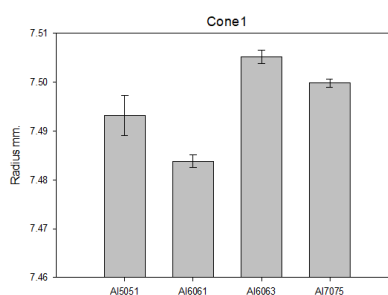


รูปที่ 16 การทดสอบทางสถิติ Diameter 3

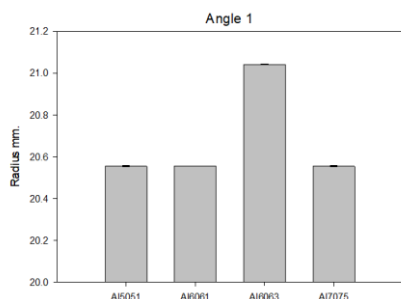
จากการทดสอบทางสถิติ ของ Diameter 1 ,Diameter 2 และ Diameter 3 พบว่า ค่า P-Value = 0.000 น้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ดังนั้น ชนิดของ เกรดอะลูมิเนียม ส่งผลต่อการวัดขนาด Diameter 1 ,Diameter 2 และ Diameter 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าลักษณะของการวัดไม่ว่าจะทรงกลมและเส้นผ่านศูนย์กลาง AI7075 มีผลที่ดีกว่าอย่างชนิดอื่นๆ เพราะว่า วัสดุมีโครงสร้างทดการกัดกร่อนแข็งแรงสูงและทนต่อการสึกหรอ [18] ในทางตรงกันข้ามหากพิจารณาเพียงทรงกลมและเส้นผ่านศูนย์กลางนั้นในงานอุตสาหกรรมยังมีการทำงานที่วัดขนาดที่มีความซับซ้อนเล่นทางกรวยและมุมต่างๆ

3.3 การวัดขนาดกรวยและมุม

1) ผลการวัดขนาดกรวยและมุม ในรูปที่ 17-18 แสดงให้เห็นถึงค่าการวัดขนาดกรวย Cone 1 และ Angle 1 ของอะลูมิเนียม แต่ละเกรด ซึ่ง AI6063 หลังกระบวนการตัดเฉือน แสดงให้เห็นค่า Error มากที่สุดในทางกลับกัน AI7075 แสดงขนาดหลังกระบวนการตัดเฉือนที่ดีที่สุด

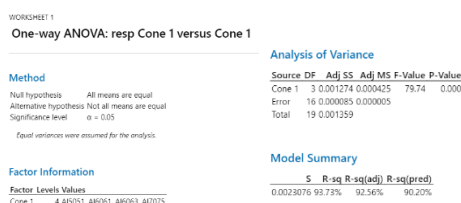


รูปที่ 17 การวัดขนาดกรวย Cone 1 ของอะลูมิเนียมแต่ละเกรด



รูปที่ 18 การวัดขนาดของสกรวย Angle ของ Al แต่ละเกรด

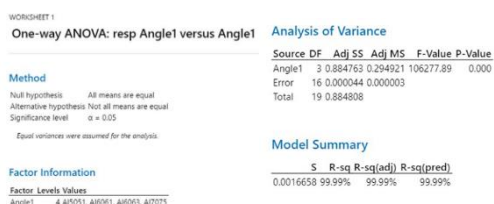
2) ผลการทดสอบเชิงสถิติของขนาดกรวยและมุม จากนั้นนำข้อมูล Cone 1 ทำการทดสอบทางสถิติ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 การทดสอบทางสถิติ Cone 1

จากการทดสอบพบว่า ค่า P-Value = 0.000 น้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ดังนั้น ชนิดของเกรดอะลูมิเนียม ส่งผลต่อการวัดขนาด Cone 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากนั้นนำข้อมูล Angle 1 ทำการทดสอบทางสถิติ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 การทดสอบทางสถิติ Angle 1

จากการทดสอบพบว่า ค่า P-Value = 0.000 น้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ดังนั้น ชนิดของเกรดอะลูมิเนียม ส่งผลต่อการวัดขนาด Angle 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

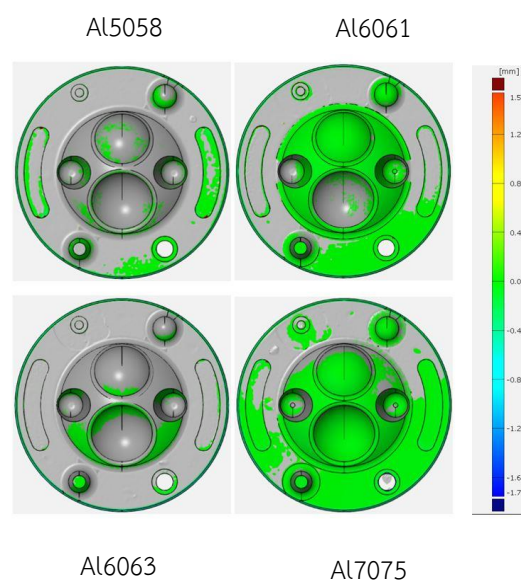
จากผลการทดลองทั้งหมดอาจกล่าวได้ชนิดของอะลูมิเนียมนี้มีผลต่อ 1) Sphere 1, 2) Sphere 2, 3) Sphere 3, 4) Diameter 1, 5) Diameter 2, 6) Diameter 3, 7) Cone และ 8) Angle ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ โดย Al7075 ให้ผลที่ดีที่สุด

4. อภิปรายผล

อิทธิพลวัสดุที่แตกต่างกันของอะลูมิเนียมเกรด Al5058, Al6061, Al6063, Al7075 ส่งผลอย่างมากต่อขนาดรูปทรงอิสระและรูปทรงเรขาคณิตหลังกระบวนการตัดเฉือน จากการตรวจสอบโดยเครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงสูง พบว่าการวัดขนาดโดยเปรียบเทียบไฟล์ 3 มิติก่อนกระบวนการตัดเฉือนกับไฟล์ Point Clouds หลังกระบวนการตัดเฉือนที่ได้จากเครื่องสแกนให้ผลที่เที่ยงตรงแม่นยำเพราะไม่เกิดการสัมผัสกับชิ้นงาน จากรูปที่ 5 แสดงการวัดขนาดทรงกลม Sphere1 ของอะลูมิเนียมแต่ละเกรด ซึ่ง Al7075 ให้ผลการวัดที่ดียิ่ง เมื่อเทียบกับไฟล์ 3 มิติ เดิมคือ R 20.000 mm. และผลการวัดที่ได้คือ R 20.000 mm. ส่วน Al5058 แสดงผลการวัดที่แย่ที่สุดคือ 19.987 mm. จากรูปที่ 6 แสดงการวัดขนาดทรงกลม Sphere2 ของอะลูมิเนียมแต่ละเกรด ซึ่ง Al7075 ให้ผลการวัดที่ดียิ่ง เมื่อเทียบกับไฟล์ 3 มิติ เดิม ซึ่ง ไฟล์ CAD R 20.000 mm. ผลที่วัดได้คือ R 20.000 mm. Al6061 แสดงผลการวัดที่แย่ที่สุดคือ R 19.985 mm. จากรูปที่ 7 แสดงการวัดขนาดทรงกลม Sphere3 ของอะลูมิเนียมแต่ละเกรด ซึ่ง Al7075 ให้ผลการวัดที่ดียิ่งที่สุดคือ R 7.500 mm. เทียบกับไฟล์ 3 มิติ เดิมคือ R 7.500 mm. ส่วนการแสดงผลการวัดที่แย่ที่สุดคือ Al5051, Al6061 คือ R 7.462 mm. จากรูปที่ 11 แสดงการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Diameter1 ของอะลูมิเนียมแต่ละเกรด ซึ่ง Al7075 ให้ผลการวัดที่ดียิ่งที่สุดคือ R 47.506 mm. เมื่อเทียบกับไฟล์ CAD เดิม

คือ R 47.500 mm. ส่วน AL5058 ให้ผลการวัดที่แย่ที่สุดคือ R 47.297 mm. จากรูปที่ 12 แสดงการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Diameter2 ของ อะลูมิเนียมแต่ละเกรด ซึ่ง AL7075 ให้ผลการวัดที่แม่นยำที่สุด R 5.000 mm. เมื่อเทียบกับไฟล์ 3 มิติ เดิม ส่วน AL5058 ให้ผลการวัดที่แย่ที่สุดคือ R 5.006 mm. จากรูปที่ 13 แสดงการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Diameter 3 ของ อะลูมิเนียมแต่ละเกรด ซึ่ง AL7075 ให้ผลการวัดที่แม่นยำที่สุดคือ R 7.500 mm. ส่วน AL6063 ให้ผลการวัดที่แย่ที่สุดคือ R 7.486 mm. จากรูปที่ 17-18 แสดงการวัดขนาดกรวย Cone 1 ของ อะลูมิเนียมแต่ละเกรดและการวัดขนาดดองศากรวย Angle 1 ของ อะลูมิเนียมแต่ละเกรด ซึ่ง AL7075 ให้ผลการวัดที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับไฟล์ 3 มิติเดิม

จากเปรียบเทียบขนาดรูปทรงอิสระและรูปทรงเรขาคณิตของ อะลูมิเนียมหลังกระบวนการตัดเฉือนด้วยการเก็บข้อมูลทางกายภาพของแต่ละเกรดด้วยเครื่องสแกนประเภท Structured Light Scanner (SLS) แบบไม่สัมผัสชิ้นงานยี่ห้อ (GOM ATOS) แล้วนำไฟล์ Point Clouds ที่ได้มาเปรียบเทียบกับไฟล์ 3 มิติ ก่อนกระบวนการตัดเฉือน ผลพบว่า อิทธิพลของวัสดุที่แตกต่างกันส่งผลต่อขนาดรูปทรงอิสระและรูปทรงทางเรขาคณิตเห็นได้อย่างชัดเจนอย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 21 AL5058 แสดงการเปรียบเทียบ Point Clouds กับไฟล์ 3 มิติว่าขนาดหลังกระบวนการตัดเฉือน Error ค่อนข้างมาก เนื่องจากสีเขียวเกิดขึ้นน้อย ซึ่งต่างจาก AL6061 AL7075 ที่พบสีเขียวจำนวนมาก เมื่อพบสีเขียวจำนวนมากแสดงว่าไฟล์ Point Clouds มีค่าใกล้เคียงกับไฟล์ 3 มิติ หรือมีค่าที่ Error ± 0.001 mm. ซึ่ง AL7075 หลังกระบวนการตัดเฉือน มีค่าใกล้เคียงกับไฟล์ต้นแบบหรือไฟล์ 3 มิติมากที่สุด



รูปที่ 21 การเปรียบเทียบไฟล์ 3 มิติ ก่อนทำการ ตัดเฉือนกับไฟล์ Point Clouds ของอะลูมิเนียมทั้ง 4 เกรดหลังกระบวนการตัดเฉือน

5. สรุปผล

อิทธิพลของวัสดุอะลูมิเนียมหลังกระบวนการกัดขึ้นรูป (CNC) 3 แกน โดยกำหนดความเร็วรอบรอบ/นาที และอัตราป้อนโต๊ะงาน มิลลิเมตร/นาที ที่เท่ากัน พร้อมเครื่องมือในการตัดเฉือนชนิดเดียวกัน ซึ่งอิทธิพลของวัสดุที่เป็นอะลูมิเนียมมีผลต่อขนาดรูปทรงอิสระและรูปทรงเรขาคณิตหลังกระบวนการตัดเฉือน โดยผลการวัดขนาดอะลูมิเนียมเกรด AL7075 หลังกระบวนการตัดเฉือนทั้ง 8 ตำแหน่ง มีค่าใกล้เคียงกับไฟล์ 3 มิติ เดิมมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากคุณสมบัติเด่นของวัสดุอะลูมิเนียมชนิดนี้ทนการกัดกร่อนต่อการสึกหรอและโครงสร้างมีความแข็งแรงสูง [18] ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์และเลือกใช้วัสดุอะลูมิเนียม ในการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์แม่พิมพ์ที่มีความเที่ยงตรงสูงและความละเอียดสูง ที่ส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงานในด้านขนาดรูปทรงอิสระและรูปทรงเรขาคณิตหลังกระบวนการตัดเฉือน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และ
สถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
สุวรรณภูมิ และสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือเครื่องจักร

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Barcelos M.B, De Almeida D.T, Tusset F, Scheuer C.J. Performance analysis of conventional and high-feed turning tools in machining the thermally affected zone after plasma arc cutting of low carbon manganese-alloyed steel. *Journal of Manufacturing Processes*. 2024;115:18-39
- [2] Paisan T, Siricai T, Phanphong K, Prajak A. The influence of cutting tool geometry in a dry turning operation of carbon steel (S50C) in automotive parts production. *Journal of Engineering, RMUTT*. 2019;17(2):163-71. (in-Thai)
- [3] Quinsat Y, Dubreuil L, lartigue C. A novel approach for in-situ detection of machining defects. *The International Journal of Advanced Manufacturing*. 2017;90:1625-38.
- [4] Kiraci E, Franciosa P, Turley G.A, Olifent A, Attridge A, Williams M. Moving towards In-lineMetrology: evaluation of a laser radar System for In-line dimensional inspectionfor automotive assembly systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing*. 2017;91: 69–78.
- [5] Savio E, De Chiffre L, Schmitt R. Metrology of freeform shaped parts *CIRP Annals-Manufacturing Technology*. 2007;56(2):810–30.

- [6] Guerraa M.G, Lavecchiaa F, Maggipintob G, Galantucci L.M. Measuring techniquesuitable for verification and repairing of industrial components: A *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2019;27:114–23.
- [7] Susana M, Eduardo C, Sara G, Joaquín B. New procedure for qualification of structured light 3d scanners using an optical Feature-based gauge. *Optics and Lasers in Engineering*. 2018;110:193–206
- [8] Minetola P, Iuliano L, Calignano F. A customer oriented methodology for reverse engineering software selection in the computer aided inspection scenario. *Computers in Industry*. 2015;67:54–71.
- [9] Li F, Stoddart D, Zwierzaka I. A performance test for a fringe projection scanner in various ambient light conditions. In: *Procedia CIRP*. 10th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering. 2017;62:400-4.
- [10] Gapinska B, Wieczorowska M, Marciniak-Podsadna L, Dybala B, Ziolkowskib G. Comparison of different method of measurement geometry using CMM, optical scanner and computed tomography 3D. *International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. Procedia Engineering*. 2014;69:255-62.
- [11] Ramos Barbero B, Santos Ureta E. Comparative study of different digitization techniques and their accuracy. *Computer-Aided Design*. 2011;43:188-206.
- [12] Paulic M, et al. Reverse engineering of parts with optical scanning and additive manufacturing. *International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. Procedia Engineering*. 2014;69: 795–803.

- [13] Tóth T, Živčák J. A comparison of the outputs of 3D scanners. International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. Science Direct Procedia Engineering. 2014;69:393-401.
- [14] Chen F, Brown G.M, Song M. Overview of three-dimensional shape measurement using optical methods. Optical Engineering. 2000;39: 10-22.
- [15] Intwala A.M, Magikar A. A review on process of 3D model reconstruction. International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT) and Electronic Technologies. 2016;2851-5.
- [16] Geng Z, Bidanda B. Review of reverse engineering systems–current state of the art. Virtual and Physical Prototyping. 2017;12:161-72.
- [17] EN ISO 14253-3:2011. Geometrical product specifications (GPS)-inspection by measurement of workpieces and measuring equipment–part 3: guidelines for achieving agreements on measurement uncertainty state-ments. 2011.
- [18] Guan-fei XIAO, Ju-fu JIANG, Ying WANG, Ying-ze LIU, Ying ZHANG, Bao-yong GUO, Zhen HE, Xi-rui XIAN. Microstructure and mechanical properties of 7075 aluminum alloy part formed by semi-solid thixoextrusion. Trans. Nonferrous Met. Soc. China 2023;33:3235-49.