

## ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 ในกระบวนการกดรีด

## Factors Influencing The Hardness of Aluminum

## Bronze H5114 in Ball-Burnishing Process

มานนท์ กองแดง<sup>1\*</sup> และณรงค์ศักดิ์ บุญช่วย<sup>2</sup>Manon Kongdang<sup>1\*</sup> and Narongsak Boonchuay<sup>2</sup><sup>1,2</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต สถาบันการอาชีวศึกษาภาคกลาง 4 วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี จังหวัดราชบุรี 70000<sup>1,2</sup>Production Technology, Institute of Vocational Education : Central Region 4,

Ratchaburi Technical College , Ratchaburi 70000

Received : November 27, 2022 Revised : December 14, 2022 Accepted : December 16, 2022

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 ในกระบวนการกดรีดในการกดรีดผิวเป็นกระบวนการเพิ่มความแข็งชั้นผิวของชิ้นงานด้วยลูกกลิ้งรีดผิว (Ceramic Ball) โดยการกลิ้งบนพื้นผิวของชิ้นงานอย่างอิสระ กระบวนการกดรีดผิวแข็งจะสร้างพื้นผิวที่ราบสามารถเพิ่มความแข็งของชิ้นงานให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน อย่างไรก็ตามการรีดผิวแข็งมีปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลต่อคุณภาพของผิวชิ้นงาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 ในการศึกษาที่ใช้วัสดุอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 ทำการทดลองรีดผิวแข็งด้วยแรงดัน ในการกดรีด 3 ระดับที่ 100, 200 และ 300 บาร์ ระยะป้อนลึก 1 ระดับที่ 0.5 มิลลิเมตร ความเร็ว 1,000 มิลลิเมตร/นาที อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตร/รอบ บอลเซรามิก ขนาด 6 มิลลิเมตร จากนั้นทำการวัดค่าความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 ซึ่งจากการทดลองภายใต้ตัวแปรที่กำหนดพบว่าโครงสร้างทางกายภาพของชิ้นงานที่ผ่านการกดรีดด้วยแรงดันที่สูง และระยะป้อนลึก 0.5 มิลลิเมตร ส่งผลต่อการเกิดการอัดตัวของโครงสร้างจุลภาคขนาดของเกรนที่มีการจัดเรียงตัวที่หนาแน่นขึ้น และลักษณะของเกรนที่เล็กลงส่งผลทำให้ได้ค่าความแข็ง

\*มานนท์ กองแดง

E-mail : machine.manont@gmail.com

ที่สูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งค่าที่เหมาะสมจากการทดลอง คือการกดรีดด้วยแรงดัน 300 บาร์ ที่ระยะป้อนลึก 0.5 มิลลิเมตร จากการวิเคราะห์ผลสรุปได้ว่าที่แรงดัน 300 บาร์ ระยะป้อนลึก 0.5 มิลลิเมตร ระยะความลึกของผิวที่ 0.02 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 มากที่สุดคือ 315.7 HV

**คำสำคัญ :** การกดรีดพื้นผิว, ค่าความแข็ง, แรงดันกดรีดพื้นผิว, ระยะป้อนลึกกดพื้นผิว

## Abstract

The objective of this research was to examine the factors affecting the hardness of aluminum bronze H5114 in the pressing process. In the surface pressing, it is a process to increase the hardness of the surface layer of the workpiece with a roller (Ceramic Ball) by rolling freely on the surface of the workpiece. The hard pressing process creates a flat surface. It can increase the hardness of the workpiece to suit the application. However, there are many factors involved in rolling hard surfaces. Therefore, this research aims to study the variables affecting the hardness of aluminum bronze H5114. In

this study, the aluminum bronze material H5114 was used for hard surface rolling experiments with quenching force in 3 presses at 100, 200 and 300 bar, 1 stage of feed at 0.5 mm. speed 1000 mm./min., feed rate 0.05 mm/rev. Ceramic ball size 6 mm. of Aluminum Bronze H5114.

From the experiments under the specified variables, it was found that the physical structure of the pressed workpiece with high pressure and the league feed distance of 0.5 mm. affects the compaction of the microstructure, the size of the grain with the dense arrangement. And the smaller grain characteristics resulted in higher hardness values as well. Optimal values from the experiment is to cut with a pressure of 300 bar at a distance of 0.5 mm. From the analysis, it was concluded that at a pressure of 300 bar, a depth of 0.5 mm, a surface depth of 0.02 mm, the hardness of aluminum bronze H5114 The most is 315.7 HV.

**Keywords :** Surface Pressing, Hardness Value, Surface Pressing Pressure, Depth of Feed Pressed to the Surface

## 1. บทนำ

ปัจจุบันโลหะกลุ่มทองแดงผสมได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตชิ้นส่วนทางวิศวกรรม ซึ่งจำเป็นจะต้องอาศัยสมบัติเฉพาะของโลหะผสมที่มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับสภาพการใช้งาน สำหรับการปรับปรุงเพื่อให้ได้สมบัติตามที่ต้องการนั้นกระทำได้หลายวิธี แต่วิธีหนึ่งที่มีความนิยมกันอย่างแพร่หลายในภาคการผลิตนั้นคือการใช้เทคนิคการผสมธาตุที่มีอิทธิพลต่อโลหะกลุ่มทองแดงผสมลงไป เพื่อควบคุมให้ได้สมบัติตรงตามที่ต้องการ (บพิตร ทศเทพพิทักษ์. มปป.) สำหรับใบจักร Voith Schneider (VEP) เป็นใบจักรแนวตั้งที่ผลิตจากวัสดุแมงกานีสอลูมิเนียมบรอนซ์ใบจักรชนิดนี้มีคุณลักษณะเด่น

ในการให้ความคล่องตัวในการขับเคลื่อนเรือแม่เหล็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งทนต่อการผุ ทนต่อการสึกกร่อน ถึงแม้จะอยู่น้ำทะเลและมีคุณสมบัติต่อการขึ้นรูปทางเครื่องมือกล อลูมิเนียมบรอนซ์หรือทองเหลืองด้านทานแรงดึงสูงเป็นวัสดุทางวิศวกรรมอีกชนิดหนึ่งที่มีความนิยมนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งเหมาะกับงานที่ต้องการความแข็งแรงสูง ทนทานต่อการผุกร่อนการกัดกร่อนจากน้ำทะเล และทนต่อการเสียดสีสูงจึงมักนิยมนำมาผลิตใช้ในการทำเฟือง แบร็งก์ ทองเหลือง บ่าวาล์ว แกนวาล์ว กาบเพลาล้อเฟืองตัวหนอน และชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่าง ๆ เป็นต้น (ภาณุวัฒน์ ตรียางกูรศรี, 2563) และในการปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิวของชิ้นส่วนทางกลสามารถกระทำได้หลายกระบวนการการกดรีด (Burnishing) (L.N. Lo'pez de Lacalle, A. Lamikiz, J. Mun'oa and J.A. Sa'nchez, 2018, Tao Zhang, NiloBugtai and Ioan D. Marinescu, 2018, การวัดความแข็ง, 2561) เป็นกระบวนการหนึ่งปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิวเมื่อต้องการใช้ขั้นตอนการกดรีดผิวแข็งด้วยบอลที่ประสบความสำเร็จต้องมีการประเมินผลกระทบของพารามิเตอร์ คุณสมบัติของพื้นผิว เช่น ขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางบอลกดรีดความเร็วในการเคลื่อนที่กดรีด ความเร็วในการเคลื่อนที่กดรีดผิวแข็ง อัตราป้อน แรงดันของการกดรีด จำนวนรอบการกดรีดซ้ำ เป็นต้น เป้าหมายหลักของกระบวนการกดรีดผิวด้วยบอลจึงมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มความแข็งแรงของผิวชิ้นงาน และลดความหยาบผิว (Feed, Design Engineer Life, 2018, วีระชัย ลามอ, 2563) ในงานนี้วิธีการตอบสนองพื้นผิวถูกใช้เพื่อเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมขั้นตอนการกดรีดจะใช้กับเครื่องจักรกลแบบเดียวกับที่พื้นผิวถูกตัดเฉือน โดยใช้บอลเซรามิกกดรีดชิ้นงานร่วมกับเครื่องจักรกลซีเอ็นซี (Computer Numerical Control, CNC) ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่มีความเที่ยงตรงสูง ความแม่นยำ รวดเร็ว มีประสิทธิภาพสามารถผลิตชิ้นงานซ้ำ ๆ ได้ตลอดโดยคุณภาพและมาตรฐานเดียวกัน กระบวนการแปรรูปชิ้นงานใช้เครื่องกัด CNC เป็นตัวควบคุมความเร็ว (Speed) อัตราป้อน (Feed Rate) ระยะป้อนลึก (Depth) ในกรณีนี้บอลจะกลิ้งบนผิวชิ้นงานเพื่อกดรีดผิวแข็งโดยดำเนินการบนเครื่องกัด CNC

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนากระบวนการขึ้นรูปทางกายภาพ เพื่อการเพิ่มขึ้นของสมบัติเชิงกลความแข็งผิว (Surface Hardness) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของพื้นผิวชิ้นงานจากกระบวนการกัดผิวแข็ง ผลจากการศึกษาจะนำไปสู่การพัฒนากระบวนการเตรียมพื้นผิวชิ้นงาน สำหรับงานที่ต้องการความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114

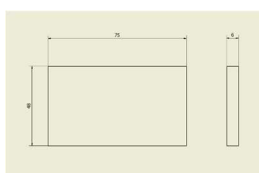
## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้

2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 ในกระบวนการกัด

2.2 เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114

## 3. ขอบเขตของการวิจัย

3.1 วัสดุที่นำมาทำการทดลองจะเป็นอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 ขนาดกว้าง 48 มิลลิเมตร ยาว 75 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร



ภาพที่ 1 ภาพแสดงขนาดชิ้นงานของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114

ตารางที่ 1 ตารางแสดงส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114

| Composition<br>(wt.%) | Zn    | Pb    | Sn    | P     | Mn    | Fe    | Ni    | Si    | Al    | As      | Cd      | Bi      | Mg     | Cr     | Co     | Se     | Cu                     |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|------------------------|
| ผล                    | 4.710 | 0.246 | 0.291 | 0.083 | 1.320 | 4.790 | 4.660 | 0.157 | 7.660 | <0.0004 | 0.00150 | 0.00087 | <0.005 | 0.0296 | 0.0204 | 0.0123 | 76.0800<br>(Remainder) |

4.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองการกัดชิ้นงานด้วยเซรามิกบอลโดยใช้เครื่องกัดอัตโนมัติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (CNC) ยี่ห้อ FANUC รุ่น V700 ประกอบไปด้วยแรงดันลักษณะเป็นเข็มหน้าปัดมีหน่วยเป็นบาร์ ลูกบอลเซรามิก (Ceramic Ball) ตำแหน่งส่วนปลายสุดเป็น

3.2 หัวกัดรีดบอลเซรามิกขนาดความโต เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร

3.3 กรรมวิธีการกัดรีด (Burnishing) ด้วยบอลเซรามิก โดยใช้เครื่องกัดอัตโนมัติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (CNC) ยี่ห้อ FANUC รุ่น V700

3.4 อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตร/รอบ

3.5 ความเร็วเคลื่อนที่กัดรีดผิว 1,000 มิลลิเมตร/นาทีวาล์วแรงดัน (Valve Pressure) ทำหน้าที่ปรับแรงดันน้ำมันไฮดรอลิกส์ เกจวัดความดัน (Pressure Gauge) แสดงผล

3.6 จำนวนรอบการกัดรีด 1 รอบ

3.7 ระยะป้อนลึก 0.5 มิลลิเมตร

3.8 แรงดันที่ใช้ใช้ในการรีด 100 200 และ 300 บาร์

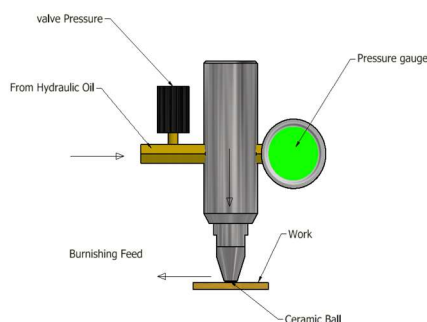
## 4. วิธีการดำเนินการวิจัย

### 4.1 วัสดุ

4.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 ขนาดกว้าง 48 มิลลิเมตร ยาว 75 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร แสดงดังภาพ 1 และมีส่วนผสมทางเคมี มาตรฐาน JIS/Japan Subgroups : H5114 แสดงดังตารางที่ 1

จุดที่สัมผัสกับชิ้นงานอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 ทดลองวางในแนวระนาบทำมุมตั้งฉากกับชุดอุปกรณ์ทางเข้าน้ำมันไฮดรอลิกส์ (From Hydraulic Oil) ส่งจากเครื่องปั๊มแรงดันเข้าอุปกรณ์ผ่าน Valve Pressure ปรับแรงดันน้ำมันไฮดรอลิกส์ Pressure Gauge

แสดงผลแรงดัน Ceramic Ball กดลงบนผิวชิ้นงาน เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงโดยอัตราความเร็วควบคุม Burnishing Feed แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ภาพส่วนประกอบการทดลอง

#### 4.2 วิธีการทดลอง

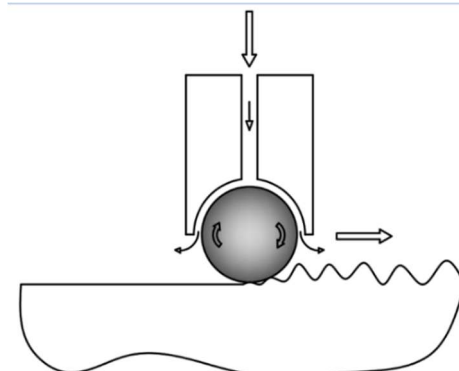
4.2.1 นำชิ้นงานมาติดตั้งเข้าสู่ชุดอุปกรณ์จับยึด หัวบอลเข้ากับฐาน Spindle กระบวนการกดรีดอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 การกดรีดผิวแข็งด้วยบอลเซรามิกขนาด 6 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องกัดอัตโนมัติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (CNC) เพื่อให้ค่าที่ถูกต้องในการทดลองใช้ FANUC รุ่น V700 ต่อเข้ากับเครื่องปั้มน้ำมันไฮดรอลิกส์ความสามารถเครื่องสร้างแรงดันสูงสุด 700 บาร์ อัตราการไหลของปั้มที่สูงประมาณ 1.4 ลิตร/นาที จำนวนรอบของปั้ม 1,420 รอบ/นาที แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ภาพชุดอุปกรณ์จับยึดหัวบอล

4.2.2 ขั้นตอนการกดรีดผิวหน้าชิ้นงาน ด้วยบอล (Ball Burnishing) เป็นบอลเซรามิกประกอบด้วยไนไตรด์เซรามิก (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 4 โดยกำหนดความเร็วเคลื่อนที่ 1000

มิลลิเมตร/นาที อัตราป้อน 0.05 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกกด 0.5 มิลลิเมตร โดยใช้แรงดัน 100 200 และ 300 บาร์ ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5



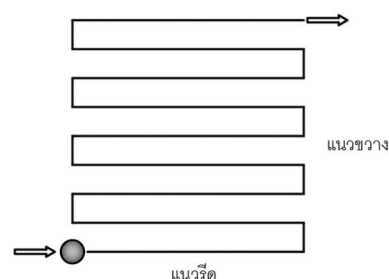
ภาพที่ 4 ภาพแสดงกระบวนการกดรีดชิ้นงานของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114



ภาพที่ 5 ภาพแสดงขนาดกระบวนการกดรีดชิ้นงานของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114

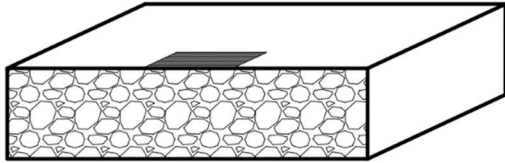
#### 4.3 ทดสอบแรงค่าความแข็งชิ้นงาน

นำชิ้นงานเพื่อทดสอบความแข็งบอลสำหรับกดรีดผิวเป็นเซรามิกเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร กำหนดค่าแรงดัน 100, 200 และ 300 บาร์ ความเร็วกดรีด 1,000 มิลลิเมตร/นาที ระยะความลึกการกดรีด 0.5 มิลลิเมตร จำนวนรอบการกดรีด 1 รอบ แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ภาพแสดงจำนวนรอบการกดรีด 1 รอบ

โดยชิ้นงานจะถูกตัดขวางด้วยเครื่องตัด (Micro Cutting Machine) แสดงดังภาพที่ 7 โดยทดสอบความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 ตามระยะห่างระหว่างผิวจำนวน 6 ระยะ คือ 0.00, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.10 ตามลำดับ และนำมาทดสอบหาค่าความแข็งผิวชิ้นงานด้วยเครื่อง Microvic - Vickers Hardness Tester ยี่ห้อ Struers แสดงดังภาพที่ 7 และภาพที่ 8



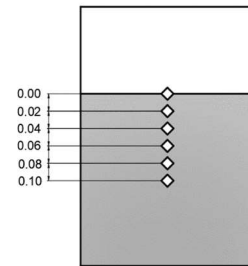
ภาพที่ 7 ภาพแสดงชิ้นงานจะถูกตัดขวาง



ภาพที่ 8 ภาพแสดงเครื่อง Microvic - Vickers Hardness Tester ยี่ห้อ Struers

การทดสอบหาค่าความแข็งของผิวหน้าชิ้นงานทดลองในการทดลองในครั้งนี้ MV 0.01 kg-0.2 kg ตามมาตรฐาน ASTM E140 - 07 ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ซึ่งอ่านค่าผลการทดสอบได้โดยตรงเมื่อทำการทดสอบเรียบร้อยแล้วเพราะมีค่าตัวเลขแบบดิจิทัลให้อ่านค่าได้ชัดเจน ซึ่งหัวกดที่ใช้ทดสอบเป็นหัวกดเพชรและการทดสอบความแข็งบนพื้นผิวชิ้นงานก่อนการกัดกร่อนในการทดสอบหาค่าความแข็งผิวดำเนินการ 2 ขั้นตอนคือก่อนการกัดกร่อน และหลังการกัดกร่อนตามมาตรฐาน ASTM E140 - 07 ขั้นตอนที่ 1 ผลการทดสอบหาค่าความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ เกรด H 5114 ก่อนการกัดกร่อนผิวแข็งโดยดำเนินการทดสอบกดวัดค่าความแข็งผิว

จำนวน 5 ครั้ง และขั้นตอนที่ 2 การทดสอบหาค่าความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H 5114 หลังการกัดกร่อนตามมาตรฐาน ASTM E140 - 07 การกัดกร่อนใช้แรงดันระบบไฮดรอลิก (Burnishing Pressure) ด้วยแรงดันขนาด 100, 200 และ 300 บาร์ ระยะความลึกของการกัดกร่อนผิวแข็ง (Depth of Burnishing) อยู่ที่ระยะ 0.5 มิลลิเมตร โดยดำเนินการทดสอบหาค่าความแข็งผิวได้แก่ การหาค่าความแข็งผิวด้านใน (ทดสอบผิวด้านข้างจำนวน 6 จุดโดยแต่ละจุดห่างกันเท่า ๆ กันแล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อทำการเปรียบเทียบหาค่าเฉลี่ยแสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ภาพแสดงการทดสอบความแข็งบนพื้นผิวชิ้นงานก่อนการกัดกร่อนจำนวน 6 จุด โดยแต่ละจุดห่างเท่า ๆ กัน

#### 4.4 ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคทางการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคทางโลหะวิทยาด้วยเครื่อง Optical Microscopy แสดงดังภาพที่ 10 จะใช้การตรวจสอบแบบจุลภาคโดยชิ้นงานจะถูกตัดขวางด้วยเครื่องตัด (Micro Cutting Machine) ส่วนผสมของกรดที่ใช้กัดชิ้นงานนี้ คือ  $\text{FeCl}_3$  (g) :  $\text{HCl}$  (mL) :  $\text{H}_2\text{O}$  (mL) โดยทดสอบความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 ตามระยะห่างระหว่างผิวจำนวน 5 ระยะ คือ 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.10 ตามลำดับ



ภาพที่ 10 ภาพแสดงเครื่อง Optical Microscopy

## 5 ผลการทดลอง

### 5.1 ผลการทดสอบความแข็งผิว

ตารางที่ 2 ตารางแสดงการทดสอบหาค่าความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 ก่อนการทำการกระบวนกรการกรัดด้วยเซรามิกบอล

| ทดสอบความแข็งบนพื้นผิวที่ไม่ผ่านการกรัด |                  |       |       |       |       |           |
|-----------------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| วัสดุ                                   | ค่าความแข็ง (HV) |       |       |       |       | ค่าเฉลี่ย |
| อลูมิเนียมบรอนซ์ H5114                  | 1                | 2     | 3     | 4     | 5     | 302.86    |
|                                         | 289.9            | 319.4 | 292.6 | 298.7 | 313.7 |           |

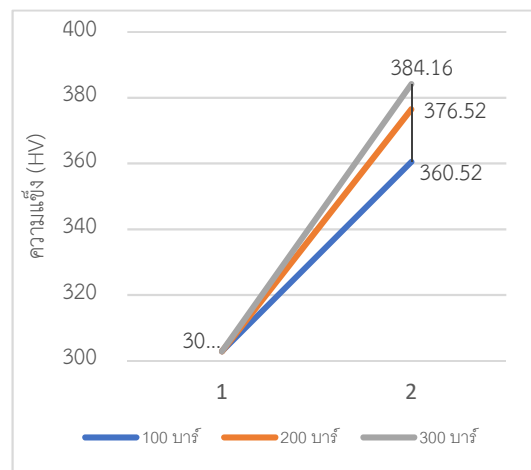
จากตารางที่ 2 พบว่าก่อนการทำการกระบวนกรการกรัดด้วยเซรามิกบอล (Ceramic Ball) อลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 มีความแข็งผิวที่ไม่ผ่านการกรัดเฉลี่ยเท่ากับ 302.86 HV

ตารางที่ 3 ตารางแสดงการทดสอบหาค่าความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114

| หลังผ่านการกรัดผิวแข็งด้านใน |                      |                  |          |          |
|------------------------------|----------------------|------------------|----------|----------|
| ลำดับที่                     | ระยะระหว่างผิว (มม.) | ความแข็งผิว (HV) |          |          |
|                              |                      | 100 บาร์         | 200 บาร์ | 300 บาร์ |
| 1                            | 0.00                 | 360.52           | 376.52   | 384.16   |
| 2                            | 0.02                 | 280.8            | 285.2    | 315.7    |
| 3                            | 0.04                 | 274.7            | 277.7    | 300.2    |
| 4                            | 0.06                 | 270.3            | 271.7    | 280.8    |
| 5                            | 0.08                 | 260.4            | 268.8    | 274.7    |
| 6                            | 0.10                 | 250.2            | 255      | 263.1    |

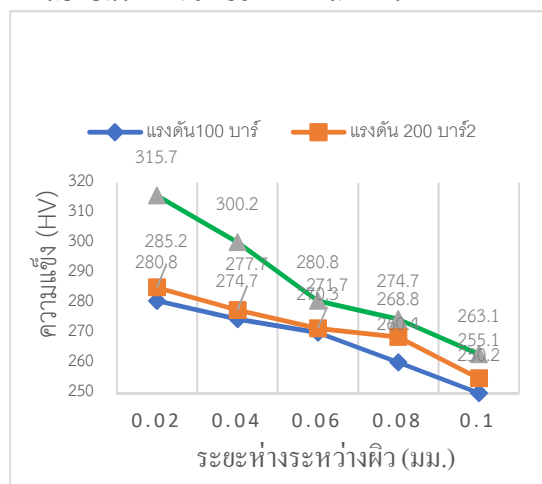
จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าที่ระดับความดัน 100 200 และ 300 บาร์ ที่ระยะของผิว 0.00 มิลลิเมตร มีค่าความแข็ง 360.52, 376.52 และ 384.16 HV ที่ระยะของผิว 0.02 มิลลิเมตร มีค่าความแข็ง 280.8, 285.2 และ 315.7 HV ที่ระยะของผิว 0.04 มิลลิเมตร มีค่าความแข็ง 274.7, 277.7 และ 300.2 HV ที่ระยะของผิว 0.06 มิลลิเมตร มีค่าความแข็ง 270.3, 271.7 และ 280.8 HV ที่ระยะของผิว 0.08 มิลลิเมตร มีค่าความแข็ง 260.4, 268.8 และ 274.7 HV ที่ระยะของผิว 0.10 มิลลิเมตร มีค่าความแข็ง 250.2, 255 และ 263.1 HV

263.1 HV จะเห็นว่าที่ระดับความดัน 300 บาร์ ค่าความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 จะมีค่าความแข็งมากที่สุดที่ 315.16 HV จะมีค่าความแข็งมากที่สุดที่ 315.16 HV ที่ระยะผิว 0.02 มิลลิเมตร และน้อยที่สุดที่ 263.1 HV ที่ระยะผิว 0.10 มิลลิเมตร



ภาพที่ 11 ภาพแสดงกราฟทดสอบความแข็งก่อน-หลังการกรัดของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114

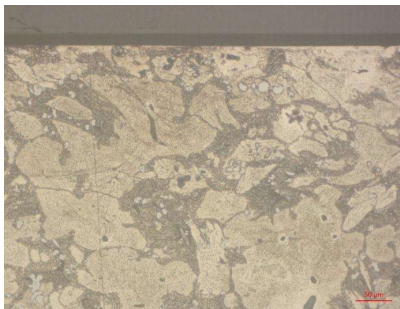
จากภาพแสดงกราฟทดสอบความแข็ง ก่อน - หลังการกรัดของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 พบว่าค่าความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 ระยะผิว 0.0 มิลลิเมตรที่ความดัน 100, 200 และ 300 บาร์ คือ 360.52, 376.52 และ 384.16 HV ตามลำดับ มีค่าความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 มากกว่าทุก ๆ ค่าความดันเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยก่อนกรัดที่ 302.86 HV แสดงดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ภาพแสดงกราฟทดสอบความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114

จากภาพที่ 12 กราฟทดสอบความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 โดยจะสังเกตเห็นว่าที่หลังการกดรีดที่ผิวด้านใน พบว่าทุก ๆ ระยะที่ 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.10 ที่แรงดันขนาด 100 200 และ 300 บาร์ ด้วยระยะความลึกของการกดรีด 0.5 มิลลิเมตรนั้น พบว่าระยะที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H 5114 ลดลง ตามลำดับ โดยที่ระยะ 0.02 ความดัน 300 บาร์ ค่าความแข็งสูงที่สุด 315.7 HV

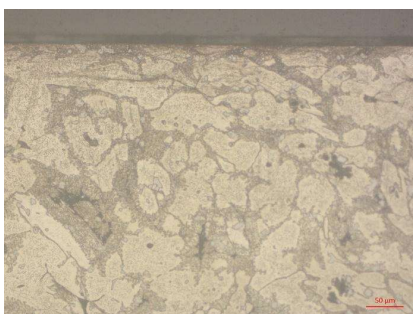
## 5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลโครงสร้างจุลภาค



รูป ก 100 บาร์



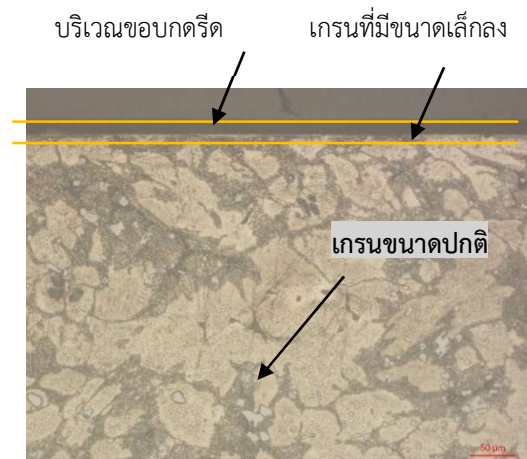
รูป ข 200 บาร์



รูป ค 300 บาร์

ภาพที่ 13 ภาพแสดงโครงสร้างจุลภาคของวัสดุอลูมิเนียมบรอนซ์ เกรด H5114 กำลังขยาย 200 เท่า ขนาด 50 ไมโครเมตร

จากรูปแสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณพื้นที่ขอบรีดที่กำลังขยาย 200 เท่า มีขนาดเท่ากับ 50 ไมโครเมตร วัสดุอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 ที่ผ่านกระบวนการกดรีดที่ระยะป้อนลึก 0.5 มิลลิเมตร ด้วยแรงดัน 100, 200 และ 300 บาร์ พบว่าขนาดโครงสร้างของเกรนมีขนาดเล็ก มีการจัดเรียงตัวที่ชิดกัน และใหญ่ขึ้นตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 13 ที่ความดัน 300 บาร์ (ดังแสดงรูป ค) เกิดการอัดตัวของโครงสร้างจุลภาค ขนาดของเกรนที่มีการจัดเรียงตัวที่หนาแน่น และลักษณะของขนาดเกรนที่เล็กลงส่งผลให้ได้ค่าความแข็งที่สูงขึ้น ในขณะที่ระยะความลึกของผิวที่ 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.10 มิลลิเมตร ชั้นความลึกของผิวที่เพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของเกรนลดลง โครงสร้างของเกรนมีขนาดใหญ่ขึ้นตามลำดับ ทำให้ค่าความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 ลดลงตามลำดับ จึงแปรผกผันกันระหว่างขนาดโครงสร้างของเกรนกับค่าความแข็งของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 แสดงดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ภาพแสดงเปรียบเทียบขนาดและการจัดเรียงตัวของเกรนกำลังขยาย 200 เท่า มีขนาดเท่ากับ 50 ไมโครเมตร

## 6 สรุป

6.1 การทดสอบหาค่าความแข็งผิวของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 ก่อนการกัดกร่อนมีค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 302.86 HV หลังการกัดกร่อน ด้วยแรงดันขนาด 100, 200 และ 300 บาร์ กำหนดระยะป้อนลึกที่ 0.5 มิลลิเมตร ระยะห่างผิวที่ 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.10 มิลลิเมตร เพื่อหาแรงดันที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าความแข็งน้อยที่สุด คือ ขนาดแรงดัน 100 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิว 0.10 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งผิวของอลูมิเนียมบรอนซ์ H 5114 มีค่าเท่ากับ 250.2 HV และความดันที่มีค่าความแข็งมากที่สุด คือ ขนาดแรงดัน 300 บาร์ ระยะห่างระหว่างผิว 0.02 มิลลิเมตร มีค่าความแข็งผิวของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 เท่ากับ 315.7 HV

6.2 โครงสร้างในอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 ด้วยแรงดันขนาด 100, 200 และ 300 บาร์ กำหนดระยะป้อนลึกที่ 0.5 มิลลิเมตร ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 200 เท่า พบว่า ที่ค่าความดัน 100 บาร์ ขนาดของโครงสร้างของเกรนมีขนาดใหญ่ มีช่องว่างของการเรียงชิดกันระหว่างเกรน ทำให้ค่าความแข็งผิวของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 มีขนาดลดลง และในค่าความดัน 300 บาร์ ขนาดของโครงสร้างของเกรนมีขนาดเล็กลงมีช่องว่างของการเรียงชิดกันน้อยลงระหว่างเกรนทำให้ค่าความแข็งผิวของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 มีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความดันที่ 100 และ 200 บาร์

## 7. อภิปรายผล

เมื่อระยะห่างของผิวที่ 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.10 มิลลิเมตร ในระยะห่างของผิวที่เพิ่มขึ้นค่าความแข็งผิวของอลูมิเนียมบรอนซ์ H 5114 จะลดลง ที่ขนาดแรงดัน 300 บาร์ ค่าความแข็งผิวของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 จะมากกว่าแรงดันขนาด 200 และ 100 บาร์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าความแข็งผิวของอลูมิเนียมบรอนซ์ H5114 กับขนาดโครงสร้างจุลภาคพบว่าขนาดของเกรนที่เล็กลง มีการจัดเรียงตัวที่หนาแน่นขึ้น ที่แรงดัน 300, 200 และ 100 บาร์ จะมีค่าความแข็งลดลงตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับบทสรุปของบทวิทยานิพนธ์ (ม.ป.ป.) ที่ได้กล่าวถึงการใช้เทคนิค

การผสมธาตุที่มีอิทธิพลต่อโลหะกลุ่มทองแดงผสมลงไป เพื่อควบคุมให้ได้สมบัติตรงตามที่ต้องการ

## 8. ข้อเสนอแนะ

8.1 สามารถนำการทดลองกระบวนการกัดกร่อนผิวที่มีผลให้สมบัติเชิงกลด้านความแข็งผิวไปใช้ในกระบวนการผลิตกับวัสดุอื่นๆต่อไปได้

8.2 สามารถนำข้อมูลจากการวิเคราะห์ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอื่น ๆ ต่อไปได้

## 9. เอกสารอ้างอิง

- การคำนวณหาความเร็วรอบ Speed และอัตราป้อน Feed, Design Engineer Life, (online), 2018, Available : [designengineerlife.com/2015/07/speed-and-feed-defining](http://designengineerlife.com/2015/07/speed-and-feed-defining) (30 March 2018).
- การวัดความแข็ง, การอบชุบทางความร้อนของโลหะ (online), 2561, Available : [http://personal.sut.ac.th/heattreatment/context/Measurement\\_Of\\_Hardness.html](http://personal.sut.ac.th/heattreatment/context/Measurement_Of_Hardness.html) (1 มิถุนายน 2561)
- บทสรุป ทศเทพพิทักษ์. ม.ป.ป. “การผลิตและทดสอบใบจักรเรือแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32, มุกดาหาร, ประเทศ
- ภาณุวัฒน์ ตรียางกูรศรี, การหล่อทองแดงผสม, ข้อมูลจาก <http://library.dip.go.th/multim/edoc/01601688.pdf> (วันที่สืบค้นข้อมูล 14 พ.ค. 2563)
- ระชัย ลามอ, ความแข็ง (Hardness), ข้อมูลจาก [http://www.dss.go.th/images/starticle/pep\\_5\\_2550\\_hardness.pdf](http://www.dss.go.th/images/starticle/pep_5_2550_hardness.pdf) (วันที่สืบค้นข้อมูล 8 พฤษภาคม 2563).
- เสริมศักดิ์ ศรีศิริ, “การศึกษาอิทธิพลของปริมาณเหล็กในการผลิตบรอนซ์ แมงกานีสเหลือจาก Cartridge Brass และ Alloying Elements,” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548

- Khalid. S. Rababa and Mayas Mohammad Al-mahasne, "Effect of Roller Burnishing on the Mechanical Behavior and surface Quality of 01 Alloy Steel," *Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, vol. 3(3), 2011, pp. 227-233, Available : Maxwell Scientific Organization (3 April 2018)..
- L.N. López de Lacalle, A. Lamikiz, J. Muñozoa and J.A. Sánchez, "Quality improvement of ball-end milled sculptured surfaces by ball burnishing," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 45, 2005, pp. 1659–1668, Available: Elsevier Ltd (12 February 2018)
- Tao Zhang, NiloBugtai and Ioan D. Marinescu, "Burnishing of aerospace alloy : A theoreticalexperimentalapproach," *Journal of ManufacturingSystems*, vol.37, pp. 472 – 478 , Available : ScienceDirect (13 February 2018).