การออกแบบและสร้างเครื่องขัดชิ้นงานแบบจานคู่
Design and Construction the Double Disc Polishing Machine

ธนากร เกียรติขวัญบุตร[1*] และสุชาติ จันทรมณีย์[1]
Tanakorn Kiatkhwanbot[1*] and Suchart Chantaramanee[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องขัดชิ้นงานแบบจานคู่ โดยออกแบบโครงสร้างภายนอกที่ทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม มีกำลังขับของมอเตอร์ คือ 0.55 kW มีแรงดันไฟฟ้า คือ 380 V และเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดจานขัด คือ 205 mm นอกจากนี้ การใช้งานสามารถปรับความเร็วรอบสูงสุดจากชุดควบคุมได้ 500 rpm ซึ่งระนาบและความเร็วรอบจานขัดของเครื่องขัดชิ้นงานที่ได้วิจัยนี้เปรียบเทียบกับเครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P> 0.05) จากการศึกษาพบว่าโครงสร้างจุลภาคจากการขัดผิวชิ้นงานจากเครื่องขัดชิ้นงานแบบจานคู่ที่วิจัยทำการทดสอบด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) และกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM) สามารถมองเห็นโครงสร้างจุลภาคได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้เครื่องขัดผิวชิ้นงานที่วิจัยสามารถลดงบประมาณ ค่าบำรุงรักษา และประหยัดเวลาให้แก่หน่วยงานได้
คำสำคัญ: เครื่องขัดชิ้นงานแบบจานคู่ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

Abstract

This research aims to design and build the double disc polishing machine. This machine was ned the external structure made of stainless steel and equipped with a motor power of 0.55 kW, the voltage of 380 V, and the diameter of the disc polishing machine of 205 mm. Additionally, the function of the control board can reach the maximum speed at 500 rpm. The plane and speed of this disc polishing machine was compared with the polishing machine purchased from abroad, and the result showed that they were not significantly different (P > 0.05). The study found that the microstructures of the polishing work using this investigated disc polishing machine was clearly seen by Scanning Electron Microscope (SEM) and Optical Microscope (OM). Also, this disc polishing machine can reduce the budget, lower the maintenance cost, and save time for the organization.
Keywords: double disc polishing machine, scanning electron microscope, optical Microscope

บทนำ

การเรียนการสอน งานวิจัย บริการวิชาการ และทะนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม เป็นพันธกิจหลักสำคัญอย่างหนึ่งของการศึกษาระดับอุดมศึกษา โดยเฉพาะทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ในสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุของภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ด้จัดการเรียนการสอนทางด้านโลหะ (Metal) พอลิเมอร์ (Polymer) เซรามิก (Ceramic) และวัสดุผสม (Composite) ซึ่งในแต่ละด้านต้องอาศัยวัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้ผลของงานการเรียนการสอนและงานวิจัยที่ถูกต้องตามหลักวิชาการและมาตรฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาทางด้านวัสดุที่เป็นกลุ่มโลหะ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญของสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุที่ต้องอาศัยเครื่องมือ อุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการเรียนการสอน โครงงาน งานวิจัย ด้วยเช่นกัน เครื่องขัดผิวชิ้นงานเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่มีความจำเป็นและสำคัญมากต้องใช้ในการศึกษาทางด้านโลหะวิทยา เนื่องจากเครื่องขัดผิวชิ้นงานนำมาใช้สำหรับขัดเตรียมผิวของชิ้นงานให้ราบเรียบก่อนนำชิ้นงานไปทำการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ในขั้นตอนต่อไป ปัจจุบัน

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110
[1] Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90110
*Corresponding author: e-mail: tanakorn.k@psu.ac.th
Received: *May 7, 2021*, Accepted: *August 22, 2021*, Published: *September 15, 2021*

สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุมีจำนวนนักศึกษาที่เพิ่มมากขึ้นซึ่งประกอบด้วย การศึกษาระดับปริญญาตรี ปริญญาโท และปริญญาเอก โดยมีการเรียนในรายวิชาวิทยานิพนธ์ งานวิจัย การบริการวิชาการ และการเรียนการสอน ดังที่กล่าวมาแล้วจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องขัดผิวชิ้นงาน ดังตัวอย่าง เช่น หัวข้อวิจัยเรื่อง อิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการทางความร้อนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและโครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียมผสม 6061 ที่ได้จากการขึ้นรูปกึ่งของแข็งโดยใช้แก๊สและหัวข้อวิจัยเรื่อง Microstructure and Properties of Semisolid 7075 Al Alloy of for Heat Treatment เป็นต้น อีกทั้งยังมีรายวิชาโครงงานวิศวกรรมวัสดุรหัสวิชา 237-371 รายวิชา Materials Engineering Lab I รหัสวิชา 237-301 (จำนวนนักศึกษาที่ลงทะเบียนเทอมละ 40-50 คน) และรายวิชา Materials Engineering Lab II รหัสวิชา 237-201 ทำให้เครื่องขัดผิวชิ้นงานภายในภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุที่มีอยู่มีจำนวนไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ชำรุดและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษามีราคาสูง จึงส่งผลกระทบต่องานวิจัย การเรียนการสอน วิทยานิพนธ์ ของนักศึกษา อาจารย์ และบุคลากร จึงทำให้เกิดความล่าช้าขึ้น ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องขัดผิวชิ้นงานขึ้นมาเพื่อเป็นสิ่งประดิษฐ์พื้นฐานในการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการเตรียมตัวอย่างก่อนที่จะนำไปศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่าง เพื่อการเตรียมตัวอย่างที่ดีมีคุณภาพและยังสามารถให้นักศึกษาเข้าใจถึงขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานที่ถูกต้อง เครื่องขัดผิวชิ้นงานในปัจจุบันที่ใช้มีอยู่หลายแบบหลายชนิด เช่น เครื่องขัดผิวชิ้นงานชนิดจานคู่และเครื่องขัดผิวชิ้นงานชนิดจานเดี่ยวแต่ที่นิยมใช้กันมากคือ เครื่องขัดผิวชิ้นงานแบบจานคู่ เพราะสามารถขัดผิวชิ้นงานได้ครั้งละ 2 คนพร้อมกันและอย่างต่อเนื่องได้ในเวลาเดียวกัน ทำให้เกิดความสะดวก รวดเร็ว จากการศึกษาการวิจัยและโครงงานวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่า ได้มีการศึกษาการสร้างเครื่องขัดผิวชิ้นงานโดยกฤตกร และคณะ (2542) ได้สร้างเครื่องขัดผิวชิ้นงานทดสอบเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบโครงสร้างของโลหะซึ่งมีจานขัด 2 จาน โดยแต่ละชิ้นใช้เวลาในการขัด 10-15 นาที ต่อกระดาษทรายหนึ่งเบอร์และต้องขึ้นอยู่ความชำนาญของผู้ขัดด้วย ต่อมา ยงศักดิ์ และคณะ (2546) ได้ศึกษาสร้างเครื่องขัดผิวชิ้นงานทดสอบแบบกึ่งอัตโนมัติ มีหัวจับชิ้นงาน 2 หัว สามารถปรับความเร็วรอบ 180-450 rpm ซึ่งง่ายต่อการขัดชิ้นงาน ล่าสุด โชคลิขิต และคณะ (2551) ได้ศึกษาออกแบบเครื่องขัดชิ้นทดสอบโครงสร้างจุลภาคแบบจานคู่ โดยมีแขนจับชิ้นงานได้จำนวน 2 ชิ้น มีจานขัดชิ้นงาน 2 จาน ใช้มอเตอร์ 1 HP สามารถปรับความเร็วรอบได้ 7-300 rpm จากการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องขัดผิวชิ้นงานแบบจานคู่ขึ้น อีกทั้งยังเป็นการพัฒนางานของนักวิจัยซึ่งทำให้สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุได้เครื่องขัดผิวชิ้นงานแบบจานคู่ที่พัฒนาขึ้นโดยไม่ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศที่มีราคาสูง ค่าบำรุงรักษา ชิ้นส่วนและอะไหล่แพง ทำให้เป็นการประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อประจำปี

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องขัดผิวชิ้นงานแบบจานคู่เพื่อใช้เตรียมตัวอย่างชิ้นงานสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคได้

2. เพื่อให้สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มีเครื่องขัดผิวชิ้นงาน ในการใช้เตรียมตัวอย่างชิ้นงานสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค สำหรับรายวิชาโครงงานนักศึกษาระดับปริญญาตรี วิชาวิทยานิพนธ์นักศึกษาบัณฑิตศึกษา การเรียนการสอน งานวิจัย และบริการวิชาการ

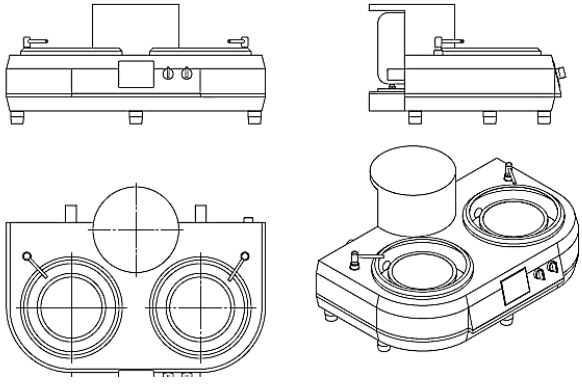
ระเบียบวิธีวิจัย

การออกแบบและสร้างเครื่องขัดผิวชิ้นงานแบบจานคู่ ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักดังนี้

1. เครื่องขัดผิวชิ้นงานแบบจานคู่สามารถปรับความเร็วรอบของจานขัดที่ควบคุมด้วยชุดควบคุมได้หลายระดับ โดยความเร็วรอบสูงสุด 500 rpm
2. จานขัดของเครื่องขัดผิวชิ้นงานแบบจานคู่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 205 mm
3. โครงสร้างเครื่องขัดผิวชิ้นงานแบบจานคู่ภายนอกเป็นวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)
4. เครื่องขัดผิวชิ้นงานแบบจานคู่ใช้กระแสไฟฟ้าขนาด 220 Volt 50 Hz 1 Phase
5. มีระบบน้ำหล่อเย็นขณะขัดชิ้นงาน

1. การออกแบบโครงสร้างเครื่องขัดผิวชิ้นงาน

โครงสร้างของเครื่องขัดจานคู่ออกแบบเป็นโครงสร้างวัสดุเหล็กคาร์บอนต่ำชนิดแผ่น ความหนา 9.5 mm มีการเชื่อมดุมสำหรับติดตั้งชุดจานขัดจำนวน 2 ชุด พร้อมเจาะรูเพื่อติดตั้งมอเตอร์และชุดปรับความตึงสายพาน ด้านล่างเชื่อมขา 5 ขา สำหรับวางเครื่องขัด ดังแสดงในภาพที่ 1 โครงสร้างภายนอกได้ออกแบบเป็นชิ้นส่วน 2 ชิ้น ประกอบด้วย ฝาครอบด้านบนและฝาครอบด้านล่าง ทำด้วยวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อความสวยงามและไม่เกิดเป็นสนิม



ภาพที่ 1 ภาพการออกแบบเครื่องขัดชิ้นงานแบบจานคู่

2. การเลือกมอเตอร์

พิจารณาการเลือกมอเตอร์จากคู่มือการเตรียมผิวชิ้นงานโครงสร้างจุลภาคตัดขวาง (Bjerregaard et al, 2002) แรงกด (Force) ในการขัด (Grinding) และการขัดมัน (Polishing) ที่ได้แสดงไว้ระหว่าง 50-300 N จากจำนวนตัวอย่าง 6 ตัวอย่าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm กำหนดขนาดของจานขัดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 205 mm มอเตอร์ที่ใช้เป็นตัวขับของเครื่องขัดคำนวณจากคู่มือมอเตอร์

ค่าโมเมนต์บิดของมอเตอร์ $T = FxR$

โดย T = โมเมนต์บิด (kg.m)

F =แรงที่เกิดขึ้น (N)

R = รัศมีมากสุด (mm)

ค่าโมเมนต์บิดของมอเตอร์จากการคำนวณ T= 1.75 N.m ค่าโมเมนต์บิดของมอเตอร์จากคู่มือ T= 3.83 N.m กำลังของมอเตอร์ที่เลือกใช้คือมอเตอร์ 3 Phase Motor Power 0.55 Kw, Type 4 Pole Flange mount (http://www.se-fan.com)

3. การคำนวณหาขนาดเพลาจานขัด

กำหนดให้ วัสดุทำเพลาชนิดเหล็กเหนียว (Steel) เกรด U St 42-1 ความแข็งแรงสูงสุด (σ_{UTS}) 490 N/mm^{2}กำลังคราก (Yield Strength, σ_y) 255 N/mm^2 (บรรเลง และประเสริฐ์, 2530)

จากสมการ $\sqrt[3]{\frac{16T}{\pi\tau_{ball}}}$

โดยที่ d =ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลา

T= โมเมนต์บิดที่หน้าตัดวิกฤต

τ_{ball} = ความเค้นดัด

ขนาดของเพลาจานขัดเล็กสุดจากการคำนวณที่สามารถทนได้ d = 11.3 mm แต่จากการเลือกใช้ตามขนาดของเพลามอเตอร์ d = 19.0 mm

4. การเลือกสายพาน

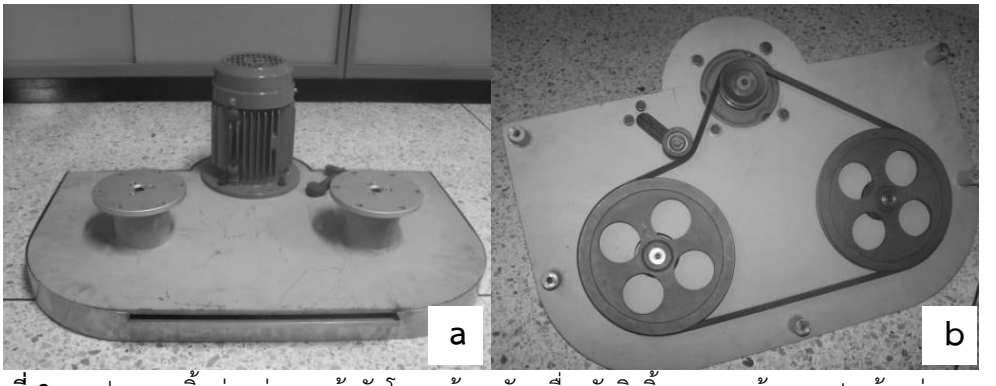
การออกแบบเครื่องขัดชิ้นงานแบบจานคู่ได้กำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อสายพานขับ 80 mm และล้อสายพานตาม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 234 mm จากการออกแบบได้เลือกสายพานลิ่มมาตรฐานของแบบ A (วรวิทธิ์ และชาญ, 2523) มีความยาว 1,761 mm เป็นอย่างน้อย

5. ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ และระบบน้ำหล่อเย็น

จากการคำนวณได้เลือกใช้มอเตอร์ 3 เฟส จึงพิจารณาเลือกชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เป็นแบบ INVERTOR “FRECON-IX” 1HP Input: 1 Phase 220 VAC Output 3 Phase 220 VAC แสดงผลที่หน้าปัดแบบ Keypad ปรับเลือกการหมุนมอเตอร์ได้ทั้งแบบ Forward/Reverse มีชุดฟิวส์ป้องกันไฟฟ้าลัดวงจร และมีระบบพัดลมระบายความร้อนของตู้ควบคุม ในส่วนระบบน้ำหล่อเย็นจะใช้น้ำประปาทั่วไป โดยก่อนน้ำเข้าเครื่องขัดชิ้นงานจะต้องผ่านระบบกรองน้ำเพื่อไปสู่วาล์วเปิด-ปิด และปรับแรงดันน้ำที่อยู่บนเครื่องขัดชิ้นงาน

6. การประกอบเครื่องขัดจานคู่

ประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ได้ออกแบบและสร้างเข้าด้วยกันโดยประกอบระบบส่งกำลัง และจานขัดบนโครงสร้างหลักของโครงเครื่องดังแสดงในภาพที่ 2 ชุดควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบ INVERTOR จะต่อกับมอเตอร์ระบบน้ำหล่อเย็น โดยใช้น้ำประปาผ่านระบบกรองน้ำ และต่อเข้ากับวาล์วเปิด-ปิดของเครื่องขัดชิ้นงานดังแสดงในภาพที่ 3

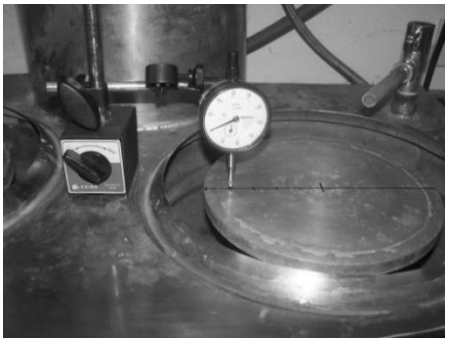


ภาพที่ 2 การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้ากับโครงสร้างหลักเครื่องขัดผิวชิ้นงาน, a: ด้านบน, b: ด้านล่าง

ภาพที่ 3 เครื่องขัดชิ้นงานที่สร้างขึ้น

7. การทดสอบความได้ระนาบของจานขัด

การทดสอบหาความได้ระนาบของจานขัดด้วยวิธีการวัดด้วย Dial Gauge จากเส้นผ่านศูนย์กลางห่างจากศูนย์กลางเท่ากับ 20, 40, 60 และ 80 mm ที่ความเร็ว 250 rpm ดังภาพที่ 4 ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ แล้วคำนวนค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบความได้ระนาบระหว่างเครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัยกับเครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศ โดยใช้โปรแกรม Excel Analysis Data



ภาพที่ 4 การทดสอบหาความได้ระนาบของจานขัดด้วยวิธีการวัดด้วย Dial Gauge จากเส้นผ่านศูนย์กลางห่างจากศูนย์กลาง

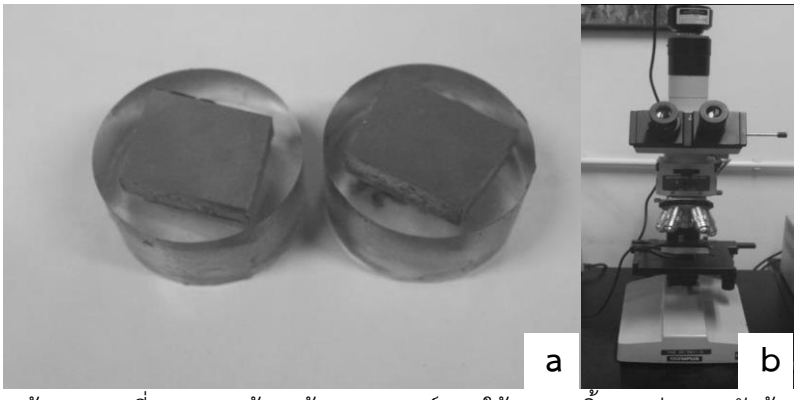
8. การทดสอบความเร็วรอบจานขัด

การทดสอบความเร็วรอบของจานขัด (Rotational Speed, rpm) เพื่อให้เหมาะสมกับการปฏิบัติงานจริงด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ DIGICON DT-250TP โดยวิธีการวัดด้วยเครื่องวัดความเร็วที่จานขัดโดยตั้งความเร็วรอบจากชุดควบคุมการปรับความเร็วที่ความเร็วดังนี้ 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 rpm ดังภาพที่ 5 ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ แล้วคำนวณค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบทางสถิติของความเร็วรอบระหว่างเครื่องขัดชิ้นงานวิจัยกับเครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศด้วยโปรแกรม Excel Analysis Data

ภาพที่ 5 การทดสอบความเร็วรอบของจานขัด

9. โครงสร้างจุลภาคชิ้นตัวอย่าง

การเตรียมชิ้นงานเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) โดยตัดชิ้นทดสอบตามแนวขวางให้มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์และนำชิ้นทดสอบไปขัดหยาบด้วยกระดาษทรายเบอร์ p180, p320, p600, p800, p1200 และ p2400 ตามลำดับ และขัดละเอียดด้วยผงอะลูมินาขนาด 5 μm และ 1 μm ตามลำดับและกัดกรดด้วย Keller's Reagent ซึ่งมีส่วนประกอบของน้ำกลั่น 95 mL กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 1.5 mL กรดไนตริก (HNO_3) 2.5 mL และกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) 1.0 mL ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 50x และ 100 x ดังภาพที่ 6 (อัจฉรา และคณะ, 2557)



ภาพที่ 6 โครงสร้างจุลภาคที่ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง a: ชิ้นงานผ่านการขัดด้วยเครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัยสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค, b: กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) (อัจฉรา และคณะ, 2557)

ผลการวิจัย

1. ผลการทดสอบความได้ระนาบของจานขัด

การทดสอบหาความได้ระนาบของจานขัดโดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัยและเครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศยี่ห้อ Pace Technologies Nano 2000T Grinder-Polisher ดังแสดงในตารางที่ 1 และผลการทดสอบที (t-Test) ของการทดสอบความได้ระนาบของจานขัด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1ผลการทดสอบความได้ระนาบของจานขัด

ความเร็วรอบจาก ชุดควบคุม (rpm)	ค่าความได้ระนาบของจานขัดที่วัดจากระยะห่างศูนย์กลาง, mm (เครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัย)				ค่าความได้ระนาบของจานที่วัดขัดจากระยะห่างศูนย์กลาง, mm (เครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศ)			
	20	40	60	80	20	40	60	80
250	±0.10	±0.15	±0.22	±0.27	±0.10	±0.12	±0.10	±0.16

ตารางที่ 2 การทดสอบที (t-Test) ของการทดสอบความได้ระนาบของจานขัด

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances		
ค่าทางสถิติ	เครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัย	เครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศ
Mean	0.19	0.12
Variance	0.0056	0.0008
Observations	4	4
Pooled Variance	0.0032	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	1.621	
P(T<=t) one-tail	0.078	
t Critical one-tail	1.943	
P(T<=t) two-tail	0.156	
t Critical two-tail	2.447	

2. ผลการทดสอบความเร็วรอบจานขัด (Rotational Speed, rpm)

ผลการทดสอบความเร็วรอบของจานขัดที่วิจัย และเปรียบเทียบการทดสอบความเร็วรอบของจานขัดของเครื่องที่ซื้อจากต่างประเทศดังแสดงในตารางที่ 3 และผลการทดสอบที (t-Test) ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 3 ผลการทอดสอบความเร็วรอบจานขัดของเครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัยและเครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศ

ความเร็วรอบจากชุดควบคุม (rpm)	ความเร็วรอบจานขัดด้านซ้าย (rpm)	ความเร็วรอบจานขัดด้านขวาง (rpm)
เครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัย		
150.0	140.2	139.8
200.0	187.7	187.4
250.0	235.3	234.4
300.0	282.6	281.8
350.0	330.2	329.1
400.0	377.2	376.6
450.0	425.2	423.8
500.0	472.9	471.5
เครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศ		
179.0	165.5	165.8
269.0	250.0	249.6
336.0	312.9	321.9
403.0	375.9	376.1
493.0	460.2	460.1

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบที (t-Test) ระหว่างความเร็วรอบจานขัดด้านซ้ายของเครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัยกับเครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศ

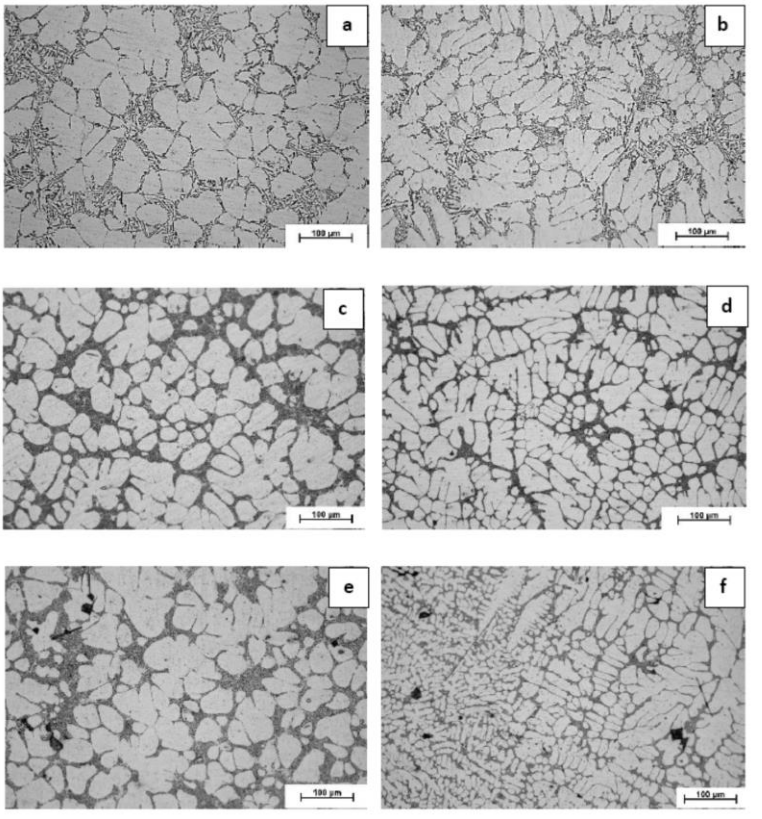
t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances		
ค่าทางสถิติ	**เครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัย**	**เครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศ**
Mean	306.41	312.9
Variance	13535.51	12837.37
Observations	8	5
Pooled Variance	13281.64	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	11	
t Stat	-0.10	
P(T<=t) one-tail	0.46	
t Critical one-tail	1.80	
P(T<=t) two-tail	0.92	
t Critical two-tail	2.20	

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบที (t-Test) ระหว่างความเร็วรอบจานขัดด้านขวาของเครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัยกับเครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศ

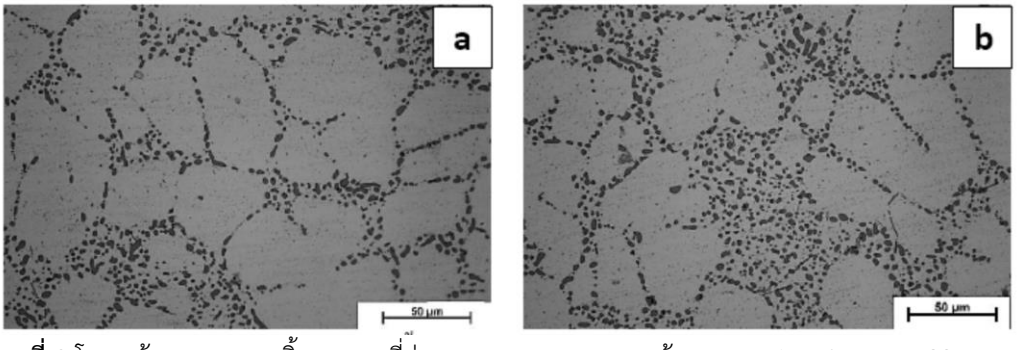
t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances		
ค่าทางสถิติ	**เครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัย**	**เครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศ**
Mean	305.9	314.7
Variance	13568.96	12843.05
Observations	8	5
Pooled Variance	13304.99	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	11	
t Stat	-0.13	
P(T<=t) one-tail	0.45	
t Critical one-tail	1.80	
P(T<=t) two-tail	0.90	
t Critical two-tail	2.20	

3. ผลโครงสร้างจุลภาค

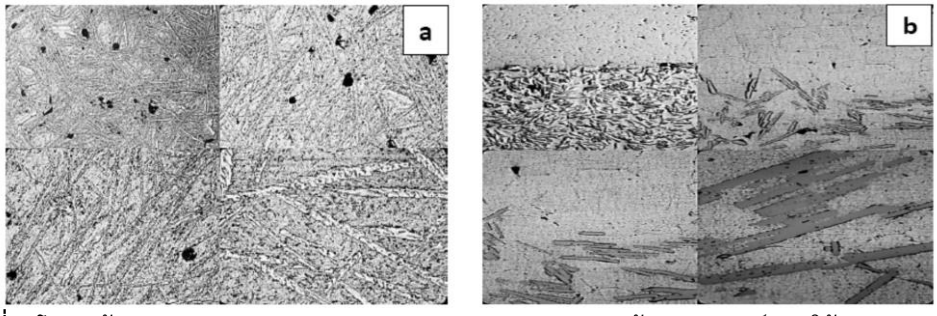
ผลของโครงสร้างจุลภาคจากการขัดผิวชิ้นงานด้วยเครื่องขัดชิ้นงานแบบจานคู่ เพื่อเตรียมตัวอย่างในการศึกษาโครงสร้างจุลภาค ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยของนักศึกษาในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในหัวข้อวิจัยเรื่อง อิทธิพลของสตอรอนเทียม เซอร์โคเนียม และสแกนเดียมที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติอะลูมิเนียมหล่อแบบกึ่งแข็ง A356 ดังภาพที่ 7-9 (อัจฉรา และคณะ, 2557)



ภาพที่ 7 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหล่อ a: 0wt%; SSM, b: 0wt%; CLC, c: 0.08wt%Sr; SSM, d: 0.08wt%Sr; CLC, e: 0.2wt%Sr; SSM, f: 0.2wt%Sr; CLC (อัจฉรา และคณะ, 2557)

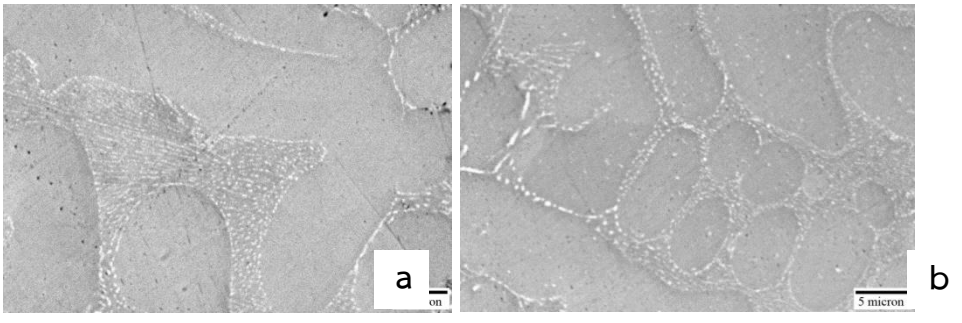


ภาพที่ 8 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนแบบ T6, a: 0wt%Zr; SSM, b: 0wt%Zr; CLC (อัจฉรา และคณะ, 2557)



ภาพที่ 9 โครงสร้างจุลภาคของอินกอต, a: Al-10%Sr, b: Al-10%Zr กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM) (อัจฉรา และคณะ, 2557)

ผลวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานการสังเคราะห์วัสดุผสมโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วกับท่อนาโนคาร์บอนด้วยวิธีอัลทราโซนิกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ของชิ้นงานที่ผ่านการขัดด้วยเครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 โครงสร้างจุลภาค, a: SAC305, b: SAC305-0.2 wt% SWCNTs (สุชาติ และคณะ, 2557)

สรุปผลการวิจัย

1. เครื่องขัดชิ้นงานแบบจานคู่โครงสร้างภายนอกทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม ใช้มอเตอร์ขนาด 0.55 kW 380 V ขนาดจานขัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 205 mm ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วย INVERTOR “FRECON-IX” 1HP Input: 1 Phase 220VAC Output 3 Phase 220 VAC สามารถปรับความเร็วรอบสูงสุดได้ 500 rpm ระบบน้ำหล่อเย็นด้วยน้ำประปา

2. ผลการทดสอบวัดค่าความได้ระนาบ และความเร็วรอบของจานขัด ของเครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัยกับเครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบด้วยการทดสอบที (t-Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. สามารถนำเครื่องขัดชิ้นงานแบบจานคู่ที่วิจัยขัดผิวชิ้นงานสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคสำหรับรายวิชาโครงงานนักศึกษาระดับปริญญาตรี วิชาวิทยานิพนธ์สำหรับนักศึกษาบัณฑิตศึกษา งานวิจัย การบริการวิชาการ และการเรียนการสอนภายในสาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุได้

4. เครื่องขัดผิวชิ้นงานที่วิจัยสามารถลดงบประมาณ ค่าบำรุงรักษา และประหยัดเวลาให้แก่หน่วยงานที่นำไปใช้ประโยชน์ได้

อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลเปรียบเทียบความได้ระนาบจานขัดเครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัยขึ้นกับเครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศจากตารางที่ 1 นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบที (t-Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าค่า t Stat (คำนวณ) = 1.621 มีค่าน้อยกว่าค่า t Critical (ตาราง) = 2.447 ดังนั้นความได้ระนาบจานขัดของเครื่องขัดที่วิจัยกับเครื่องขัดที่ซื้อจากต่างประเทศแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ทางสถิติซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วีรวัฒน์ และจำนง (2548) ได้ทดสอบความราบเรียบของจานขัดชิ้นงานด้วย Dial Gauge ของเครื่องขัดกระดาษทรายที่สร้างขึ้นโดยมีค่าสัมประสิทธ์ความผันแปร (CV) ร้อยละ 10.5 ซึ่งมีค่าต่ำ (ไม่เกินร้อยละ 15)

ผลการทดสอบความเร็วรอบจานขัดด้านซ้าย-ขวา ของเครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัยและผลการทดสอบความเร็วรอบจานขัดด้านซ้าย-ขวา ของเครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศดังแสดงในตารางที่ 3 เมื่อความนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบที (t-Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่าที (t-Test) ของความเร็วรอบจานขัดด้านซ้ายของเครื่องชิ้นงานที่วิจัยกับเครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศ พบว่าค่า t Stat (คำนวณ) = -0.10 มีค่าน้อยกว่าค่า t Critical (ตาราง) = 2.20 และในตารางที่ 5 การทดสอบค่าที (t-Test) ของความเร็วรอบจานขัดด้านขวาของเครื่องชิ้นงานที่วิจัยกับเครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศ พบว่าค่า t Stat (คำนวณ) = -0.13 มีค่าน้อยกว่าค่า t Critical (ตาราง) = 2.20 จึงสามารถสรุปว่าความเร็วรอบจานขัดด้านซ้าย-ขวาของเครื่องขัดที่วิจัยกับเครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลของโครงสร้างจุลภาคจากภาพที่ 7 และ8 เป็นภาพแสดงโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ภาพที่ 9 เป็นภาพแสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นตัวอย่างต่าง ๆ ที่ผ่านการขัดผิวชิ้นงานด้วยเครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัยด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM) จะเห็นว่าชิ้นงานที่ผ่านการขัดผิวด้วยเครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัยสามารถแสดงโครงสร้างจุลภาคได้อย่างชัดเจนสามารถนำมาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคทางด้านโลหะวิทยาได้อย่างเหมาะสมและเพียงพอเมื่อเปรียบเทียบกับของ สุชาติ และคณะ (2557) ดังภาพที่ 10 ซึ่งชิ้นงานผ่านการขัดด้วยเครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศ และเช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ นรารักษ์ และคณะ (2558) ได้เตรียมทดสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน Al-Bronze และ Si-Bronze ด้วยเครื่องขัดเตรียมชิ้นทดสอบสำหรับงานวัสดุ วิเคราะห์โครงสร้างจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10, 20, 50 และ 100 เท่า ซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างได้อย่างชัดเจนเช่นกัน

จากการเปรียบเทียบเครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัยกับเครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศ ในด้านงบประมาณ ค่าบำรุงรักษา เวลาในการสร้าง และจัดหา พบว่า เครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัยสามารถลดงบประมาณการสั่งซื้อเครื่องขัด ลดค่าบำรุงรักษา และยังสามารถลดเวลาการจัดหาเครื่องขัดเตรียมชิ้นงานได้อีกด้วย (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบเครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัยกับเครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศ

ข้อเปรียบเทียบ	เครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัย	เครื่องขัดชิ้นงานที่ซื้อจากต่างประเทศ
ด้านงบประมาณ	ไม่เกิน 100,000 บาท	200,000-300,000 บาท (ใบเสนอราคา)
ค่าบำรุงรักษา	ใช้งบประมาณน้อยกว่า เพราะชิ้นส่วนอะไหล่สามารถหาได้ภายในประเทศ	ใช้งบประมาณมากกว่าเพราะต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ
ประหยัดเวลา	การออกแบบและสร้างไม่เกิน 1 ปี ทำให้มีเครื่องขัดชิ้นงานเพิ่มขึ้น ลดการรอคอยการใช้งาน ผู้ใช้งานสามารถใช้เครื่องขัดได้พร้อมกันเพิ่มขึ้น	ต้องของบประมาณประจำปี (ใช้เวลาเกิน 1 ปี)

ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบและสร้างเครื่องขัดผิวชิ้นงานแบบจานคู่ เพื่อใช้สำหรับเตรียมชิ้นงานก่อนวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคเพื่อให้มีการพัฒนาควรเพิ่มชุดจับชิ้นงานแทนมือจับเพื่อลดเวลาในการขัดในกรณีที่มีชิ้นงานจำนวนมาก และเพื่อความสมบูรณ์ของงานวิจัยควรเพิ่มการประเมินผลการใช้งานเครื่องขัดชิ้นงานที่วิจัยจากผู้ใช้งานกลุ่มต่าง ๆ เช่น นักศึกษา และผู้ปฏิบัติงาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย และสาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ ที่ช่วยเหลือด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ทำงานวิจัย นอกจากนี้ ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ปลูกผล ให้คำข้อเสนอแนะทางวิชาการวิศวกรรมวัสดุ และ ดร.ชัยณรงค์ ศรีวะบุตร ในการตรวจทานไวยกรณ์ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กฤตกร โสภา ทวีกิจ พรล้ำฟ้า และศุภลักษณ์ มีนุชนารถ. 2542. เครื่องขัดผิวชิ้นงานทดสอบ. ปริญญานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพมหานคร. 104 หน้า.

โชคลิขิต สมบูรณ์ อำพล โสมาบุตร และรักพงษ์ มั่นยืน. 2551. เครื่องขัดชิ้นงานทดสอบโครงสร้างจุลภาคแบบจานคู่. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร. 54 หน้า.

นรารักษ์ บุตรชา สุรเชษฐ์ ช้อนกลิ่น สุรัตน์ วรรณศรี สุรินทร์ มณีศรี และธวัช วิวัฒน์เจริญ. 2558. เครื่องขัดเตรียมชิ้นทดสอบสำหรับงานวัสดุ. หน้า 1-7. *ใน*: รวบรวมบทความและบทคัดย่อ การประชุมวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี ครั้งที่ 6. วันที่ 11 กันยายน 2558 ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยบัณฑิตเอเชีย. จังหวัดขอนแก่น. [Online]. Available: http//www.Cheqa.rmuti.ac.th. (สืบค้นเมื่อ มิถุนายน 2564).

บรรเลง ศรนิล และประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์. 2530. ตารางงานโละ.โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพมหานคร. 234 หน้า.

ยงศักดิ์ เชตวรรณ์ พินิจ สุริยะเย็น ปิยะกมล เค้ากล้า และอดิเทพ เกิดสมจิตต์. 2546. เครื่องขัดผิวชิ้นงานทดสอบแบบกึ่งอัตโนมัติ. ปริญญานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพมหานคร. 93 หน้า.

วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน. 2523. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร. 456 หน้า

วีรวัฒน์ ทองงาม และจำนง ชูด้วง. 2548. สร้างและพัฒนาเครื่องขัดกระดาษทราย.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. ลำปาง. 32 หน้า.

สุชาติ จันทรมณีย์ ธวัชชัย ปลูกผล ศิริกุล วิสุทธิ์เมธางกูร และเล็ก สีคง. 2557. การสังเคราะห์วัสดุผสมโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วกับท่อนาโนคาร์บอนด้วยวิธีอัลทราโซนิก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 202 หน้า.

อัจฉรา แสงจันทร์ ศิริกุล วิสุทธิ์เมธางกูร ธวัชชัย ปลูกผล และเจษฎา วรรณสินธุ์. 2557. อิทธิพลของสตอรอนเทียม เซอร์โคเนียม และสแกนเดียมที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติอะลูมิเนียมหล่อแบบกึ่งแข็ง A356. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 124 หน้า.

Bjerregaard, L., Geels, K., Ottesen, B. and M. Ruckert. 2002. Metalog guide your guide to the perfect material graphic structure. Struers. Tech. Rodovre Denmark. 111 pages. [Online]. Available: http://www.se-fan.com/tips2.php. (Retrieved April, 2021).