การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอน เรื่องเทคโนโลยีการผลิตชิ้นส่วนด้วยโลหะผง

The Construction of Instructional Package on Parts Manufacturing Technology Powder Metallurgy

พิทักษ์พงษ์ บุญประสม[1] และ สราวุฏฐ์ วรสุมันต์[2]
ภาควิชาวิศวกรรมการพิมพ์ สถาบันวิศวกรรมการพิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม[1]
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม[2]
38 ถนนเพชรเกษม บางหว้า ภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร[1, 2]
E-mail: pitagpong@siam.edu[1], saravudh@siam.edu[2]

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการสร้างและหาประสิทธิภาพ ชุดการสอน เรื่องเทคโนโลยีการผลิตชิ้นส่วนด้วยโลหะผง สำหรับนักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ในระดับปริญญาตรี วิธีดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้นำชุดการสอนที่สร้างขึ้นประกอบด้วย เอกสารประกอบการเรียนเรื่องเทคโนโลยีการผลิตชิ้นส่วนด้วยโลหะผง ชุดแม่พิมพ์โลหะผง สื่อวีดีทัศน์ แบบฝึกหัดและแบบทดสอบ นำไปทดลองใช้กับนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม จำนวน 30 คน ก่อนเข้าสู่บทเรียนได้ทดสอบพื้นฐานความรู้ของนักศึกษาด้วยแบบทดสอบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นแล้วสอนด้วยชุดการสอน ในระหว่างการเรียนการสอนผู้วิจัยให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดเมื่อจบบทเรียนแล้วให้นักศึกษาทำแบบทดสอบอีกครั้งหนึ่ง นำคะแนนที่ได้จากการทำแบบฝึกหัดและแบบทดสอบมาคำนวณหาประสิทธิภาพชุดการสอน ผลการวิจัยพบว่า ชุดการสอนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 88.41/85.50 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้

คำสำคัญ *:* ชุดการสอน, เทคโนโลยีการผลิตชิ้นส่วน, โลหะผง

Abstract

This paper represents construct and calculate efficiency of an Instructional Package on Parts Manufacturing Technology Powder Metallurgy for the Bachelor of Science in Mechanical Engineering and Industrial Engineering. The researcher has used the constructed instructional package consists of powder metallurgy technology manual, powder metallurgy mold, set video media, exercises and quizzes to tested the sampling group of thirty undergraduate who are the second year students in the department of Mechanical Engineering and Industrial Engineering Faculty Engineering, Siam University. The experimental process was done by using the pre-test to test their basic knowledge, and then teaching them with instructional package. During the learning process, they had to do the exercises which were

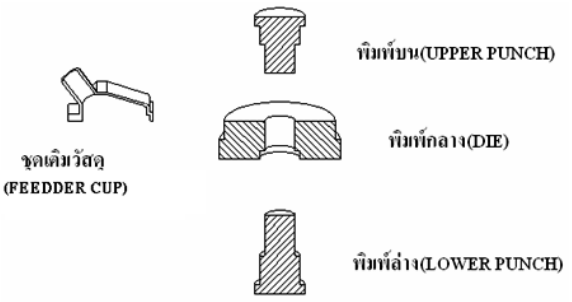
divided into theoretical part and practical part. After finishing each lesson, they were tasted both theoretical and practical tests again. Scores from the exercises and the tests were used to calculate the Instructional Package efficiency. The results in terms of efficiency of the Instructional Package shows 88.41/85.50 which is higher then the established Criteria of 80/80.

Keyword: instructional package, Parts Manufacturing Technology, Powder Metallurgy

1. บทนำ

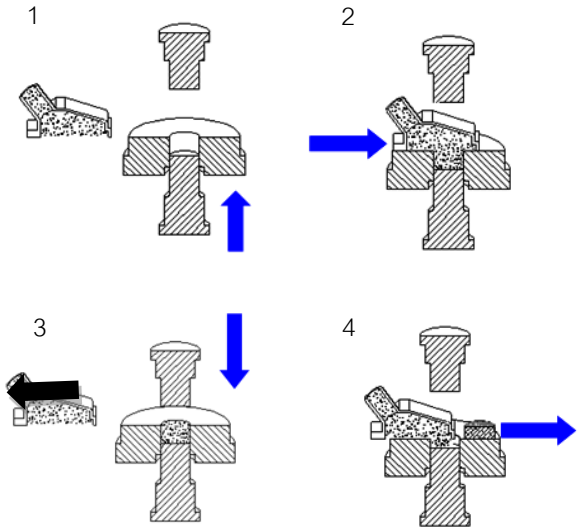
กรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนด้วยโลหะผง (Powder Metallurgy) เป็นกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานโดยมีวัสดุตั้งต้นเป็นผงนำมาอัด ให้ได้รูปทรงที่ต้องการแล้วนำไปให้ความร้อนโดยไม่มีการหลอมเหลวเรียกว่าซินเตอร์ริ่ง (Sintering) เพื่อให้ผงและส่วนผสมอื่นประสานติดกันเป็นชิ้นงานของแข็ง กรรมวิธีนี้ทำให้ประหยัดวัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วนเป็นอย่างมาก เมื่อเทียบกับการผลิตชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีกลึง, กัด, ตัดและไส ที่สำคัญคือประหยัดเวลาในการผลิตชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ยกตัวอย่างเช่น การผลิตเฟืองที่มีขนาดแอดเดนดั้ม (addendum) เท่ากับ 30 มิลลิเมตร และมีจำนวนฟันเฟือง 20 ฟัน มีความหนา 5 มิลลิเมตร ผลิตจำนวน 100,000 ชิ้น ด้วยกรรมวิธีหล่อขึ้นรูปแล้วนำไป กลึง กัดและไส ต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 2 เดือน แต่กรรมวิธีการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยโลหะผงจะใช้เวลาประมาณ 15 วัน โดยเริ่มจากทำแม่พิมพ์ อัดขึ้นรูปโลหะผงและอบประสาน เพื่อให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะนำไปใช้งาน

ส่วนประกอบของแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปโลหะผงที่สำคัญมีดังนี้



รูปที่ 1 ชุดแม่พิมพ์สำหรับการอัดขึ้นรูปโลหะผง

หลักการของแม่พิมพ์สำหรับการอัดขึ้นรูปโลหะผงขั้นตอนการทำงานของชุดแม่พิมพ์มีดังนี้

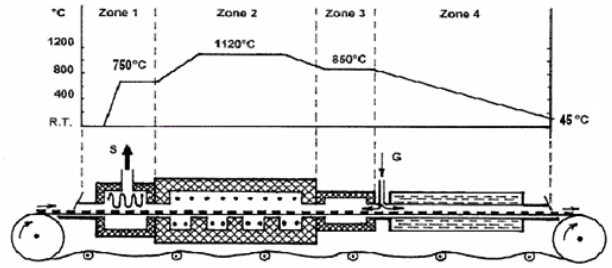


รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของชุดแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปโลหะผง

1) พิมพ์ล่าง (Lower Punch) เลื่อนขึ้นรองรับผงโลหะจากชุดเติมผงโลหะ (Feeder Cup) ที่เติมลงในพิมพ์กลาง (Die) โดยพิมพ์ล่างเข้ารองรับผงโลหะที่จะเติมลงในพิมพ์กลาง เมื่อเติมผงโลหะแล้ว 2) ชุดเติมผงโลหะจะเลื่อนกลับสู่ตำแหน่งเดิมเพื่อเติมผงโลหะในครั้งต่อไป 3)จากนั้นพิมพ์บน (Upper Punch) เลื่อนลงอัดผงโลหะที่อยู่ในพิมพ์กลาง ผงโลหะถูกอัดแน่นตาม

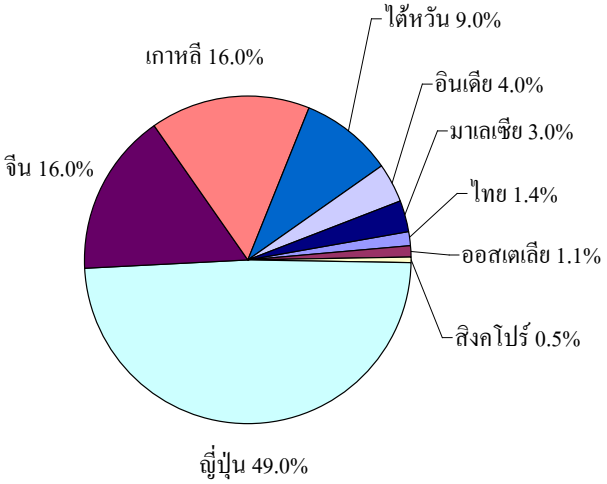
ลักษณะของชิ้นงาน 4)พิมพ์บนเลื่อนขึ้นเพื่อเตรียมการอัดขึ้นรูปชิ้นงานใหม่ พิมพ์ล่างเลื่อนขึ้นดันชิ้นงานให้พ้นจากพิมพ์กลางจากชุดเติมผงโลหะ จะเลื่อนเติมผงโลหะอีกครั้งพร้อมกับผลักชิ้นงานให้ออกมาจากแท่นเพื่ออัดขึ้นรูปชิ้นงานในครั้งต่อไป

ชิ้นงานที่ขึ้นรูปแล้วยังไม่มีความแข็งแรงต้องนำไปเข้าขบวนการอบประสานในเตาอบ ซินเตอร์ริ่ง (Sintering) เพื่อให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงทนต่อแรงกดหรือดึงในขณะใช้งานได้โดยไม่แตกหักโดยง่าย



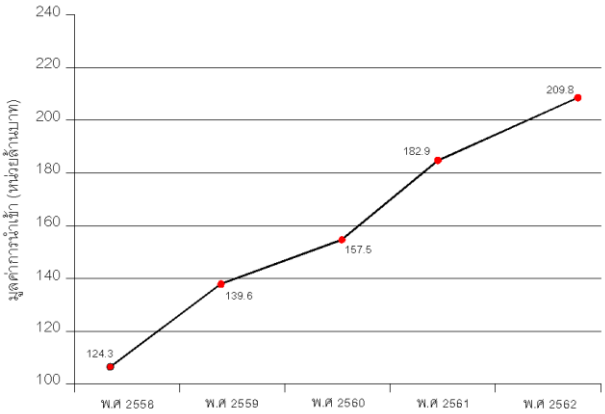
รูปที่ 3 เตาซินเตอร์ริ่ง (Sintering) ใช้อบประสาน

ปัจจุบันประเทศญี่ปุ่นเป็นผู้ใช้กรรมวิธีการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยโลหะผงมากที่สุดในเอเชียรองลงมาคือประเทศจีนและเกาหลีซึ่งทั้ง 3 ประเทศนี้ได้ผลิตชิ้นส่วนด้วยโลหะผงที่เป็นรายใหญ่ของเอเชีย ส่วนประเทศไทย เริ่มการผลิตชิ้นส่วนขึ้นรูปด้วยโลหะผงเพียง 1.4 % ดังในรูปที่ 4 และจากการสำรวจการนำเข้าผงโลหะของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ. 2562 พบว่า ปริมาณการนำเข้าของผงโลหะของประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุก ๆ ปี จากกราฟรูปที่ 5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผู้ประกอบการทางด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ เริ่มให้สนใจงานขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยโลหะผงและหันมาใช้ชิ้นส่วนที่ผลิตจากกรรมวิธีขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยโลหะผงที่ผลิตในประเทศไทยมากกว่านำเข้าจากต่างประเทศ หรือชิ้นส่วนที่ผลิตจากแหล่งอื่น ๆ



*(ที่มา : กรมศุลกากร / 7205210.009/KGM POWDERS,OF ALLOY STEEL)

รูปที่ 4 กราฟปริมาณการใช้ผงโลหะในอุตสาหกรรมของเอเชีย ปี พ.ศ. 2561



*(ที่มา : กรมศุลกากร / 7205210.009/KGM POWDERS,OF ALLOY STEEL)

รูปที่ 5 กราฟปริมาณการนำเข้าผงโลหะของประเทศไทยปี พ.ศ. 2558-2562

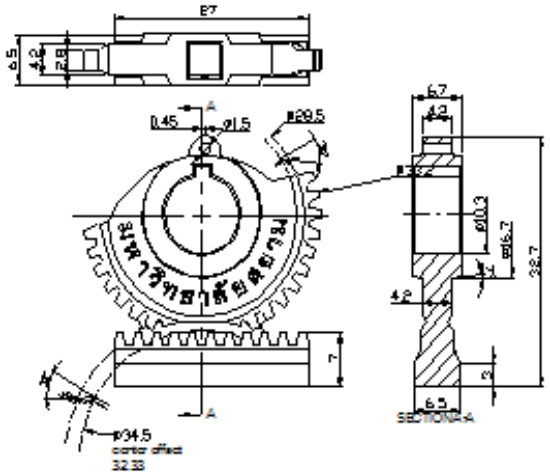
ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยโลหะผง จึงได้จัดสร้างสื่อการสอนเรื่องเทคโนโลยีการผลิตชิ้นส่วนด้วยโลหะผง เพื่อให้ผู้สนใจได้ศึกษาหลักการเบื้องต้นของการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยโลหะผงต่อไป

2. การออกแบบและสร้างเครื่องมือสำหรับการวิจัย

2.1 ขั้นตอนออกแบบแม่พิมพ์

2.1.1 เขียนแบบชิ้นงานเพื่อใช้สำหรับออกแบบแม่พิมพ์

การเขียนแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นพาลาเมตรติกโซลิดโมเดล (Parametric Solid Model) เพื่อหาปริมาตรของชิ้นงาน ได้ปริมาตร 3.2430 ลูกบาศก์เซนติเมตรและหาค่าโปรไฟล์แอเรีย (Profile Area) จะได้ค่าพื้นที่ 6.7168 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 6 แบบชิ้นงานที่ใช้สำหรับขึ้นรูปด้วยโลหะผง

2.1.2 คำนวณหาแรงพื้นฐาน

เมื่อ Profile Area = 6.7168 ตารางเซนติเมตร

แรงอัดจำเพาะวัสดุ = 5,000 กิโลกรัมฟอร์ค (kgf)

คำนวณหาแรงพื้นฐานจากสูตร

แรงพื้นฐาน = Profile Area × แรงอัดจำเพาะวัสดุ

= 6.7168 cm^2 × 5,000 kgf

= 33,584 cm2 kgf

นำค่าพื้นฐานที่ได้จากการคำนวณไปเลือกเครื่องอัดผงโลหะเลือกเป็นเครื่องอัดผงโลหะยีห้อ โยชิสุกะ รุ่น Y40 ซึ่งมีกำลังอัดสูงสุด 40 ตัน หรือ 40,000 kgf

2.1.3 คำนวณหาความสูงของช่องเติมผงโลหะ

สมการ $\frac{\rho_p}{A.P} = \frac{H_1}{H_2}$

$A.P$ = ความหนาแน่นของผงโลหะ (Apparent density) 2.87 g/cm^3

H_1 = ความสูงของช่องเติมผง

ρ_p = ความหนาแน่นของชิ้นส่วน

H_2 = ความสูงของชิ้นส่วน

เมื่อ ความหนาแน่นของผงโลหะ $(A.P)$ = 2.87 g/cm^3

ความหนาแน่นของชิ้นส่วน (ρ_p) = 6.40 g/cm^3

ความสูงของชิ้นส่วน (H_2) = 0.67 cm

แทนค่า $\frac{6.4 g/cm^3}{2.87 g/cm^3} = \frac{H_1}{0.67 cm}$

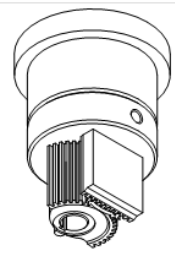
H_1 = 1.49 cm

∴ ช่องเติมผง Die = 1.49 cm

2.1.4 เขียนแบบชุดแม่พิมพ์

- พิมพ์บน (Upper punch)

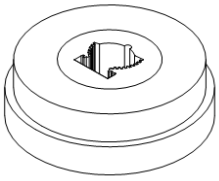
การเขียนแบบพิมพ์บนตามรูปแบบของเครื่องปั๊มโยชิสุกะ รุ่น Y40 โดยมีขนาดสูงทั้งหมด 90 mm ระยะใช้งาน 30 mm



รูปที่ 7 แบบพิมพ์บน

- พิมพ์กลาง (Die)

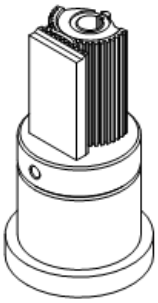
การเขียนแบบพิมพ์กลางตามแบบเครื่องปั๊มโยชิสุกะ รุ่น Y40 โดยมีขนาดช่องเติมผงโลหะสูงไม่น้อยกว่า 20 mm คำนวณจากความสูงของช่องเติมผง + ระยะประกอบตัวล่าง (Lower punch) 5 mm



รูปที่ 8 พิมพ์กลาง

- พิมพ์ล่าง (Lower punch)

การเขียนแบบพิมพ์ล่างตามแบบเครื่องปั๊มโยชิสุกะ รุ่น Y40 โดยมีความสูงรวม 90 mm ระยะใช้งาน 50 mm คำนวณจากระยะช่องเติมผงของพิมพ์กลาง (Die) + ระยะเผื่อ 5 mm



รูปที่ 9 แบบพิมพ์ล่าง

- แกนนำร่อง (Core)

การเขียนแบบแกนนำร่องตามแบบเครื่องปั๊มโยชิสุกะ รุ่น Y40 โดยมีความสูงรวม 230 mm ระยะใช้งาน 50 mm

รูปที่ 10 แบบแกนนำร่อง

2.2 การสร้างชุดแม่พิมพ์

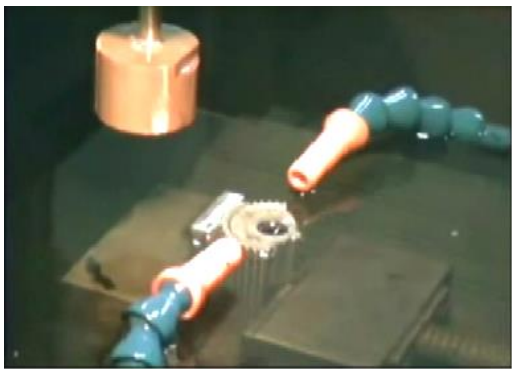
2.2.1 การเตรียมชิ้นงาน (Pre From) โดยการกลึงขึ้นรูปแม่พิมพ์ให้ได้ขนาดใกล้เคียงตามขนาดที่ต้องการ โดยทั่วไปจะมีขนาดโตกว่าขนาดจริงประมาณ 0.2 มิลลิเมตร ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วน ดังนี้ ฐานพิมพ์บน (Upper Punch) ฐานพิมพ์ล่าง (Lower Punch) พิมพ์กลาง (Die) แหวนประกอบพิมพ์บน และแหวนประกอบพิมพ์ล่าง

รูปที่ 11 งานกลึงเตรียมชิ้นงาน Pre-Form

2.2.2 งานชุบแข็ง (Hardening) นำแม่พิมพ์กลางฐานพิมพ์บน ฐานพิมพ์ล่างไปชุบแข็งที่ค่าความแข็ง 60 HRC เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและทนต่อการเสียดสีที่จะเกิดขึ้นขณะปั๊มชิ้นงาน

รูปที่ 12 งานชุบแข็งแม่พิมพ์กลาง บนและล่าง

2.2.3 งานกัดแม่พิมพ์ด้วยเครื่องกัดเนื้อโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์สูง (EDM: Electro Discharge Machining) คือ งานที่ใช้กระแสไฟฟ้ากัดเซาะเนื้อโลหะให้เป็นรูปร่างตามบล็อค (Block) ทองแดงที่ทำขึ้น พิมพ์บน และพิมพ์ล่าง จะเป็นฟันเฟืองและตัวอักษร ชื่อมหาวิทยาลัยสยามโดยที่แม่พิมพ์บนเป็นอักษรภาษาไทย ส่วน พิมพ์ล่าง จะเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ ตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 13 งานกัดแม่พิมพ์ด้วยเครื่อง EDM

2.2.4 งานตัดโลหะด้วยเส้นลวด (Wire Cut) ใช้หลักการเดียวกับงานเครื่องกัดเนื้อโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าความต่างศักย์สูง (EDM) ต่างกันที่ใช้เส้นลวดทองแดงขนาด 0.2 มิลลิเมตรที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นลวดทองแดง ตลอดการตัดชิ้นงาน โดยโต๊ะงานจะเคลื่อนที่ตามโปรแกรมที่ป้อนให้เป็นรูปแบบตามที่กำหนดไว้

รูปที่ 14 งานตัดโลหะด้วยเส้นลวด (Wire Cut)

2.2.5 ชุดแม่พิมพ์ที่ทำสำเร็จแล้วประกอบด้วย พิมพ์บน (Upper Punch) ซึ่งทำหน้าที่อัดผงโลหะจากด้านบนและขึ้นลวดลายชิ้นงานด้านบน โดยมีพิมพ์ล่าง (Lower Punch) ทำหน้าที่รับแรงกดจากพิมพ์ เพื่อขึ้นรูปชิ้นงานส่วนพิมพ์กลาง (Die) ทำหน้าที่ประคองผงโลหะเพื่ออัดขึ้นรูปแกนนำร่อง (Core) ทำหน้าที่เป็นตัวทำให้เกิดรูของชิ้นงานดังรูปที่ 15

รูปที่ 15 ชุดแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปโลหะผง

รูปที่ 16 ชิ้นงานปั๊มขึ้นรูปจากโลหะผงด้วยเครื่องปั๊มโลหะผง ขนาดกำลังอัดสูงสุด 40 ตัน

3. การดำเนินการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

ประชากร ได้แก่ นักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยได้เลือกแบบสุ่ม (Simple Random Sampling) จากนักศึกษาสาขาวิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรรมอุตสาหการ ระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 2 ภาคการศึกษาที่ 1 ประจำปีการศึกษา 2562 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม จำนวน 30 คน

โดยผู้วิจัยได้นำชุดการสอน ที่สร้างขึ้นไปทดลองใช้ในการเรียนการสอนในวิชากรรมวิธีการผลิต เรื่องเทคโนโลยีการผลิตชิ้นส่วนด้วยโลหะผง โดยก่อนเข้าสู่บทเรียนได้ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) ด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แล้วสอนด้วยชุดการสอนและในระหว่างการสอนแต่ละหน่วยเรียนให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัด เมื่อเรียนจบบทเรียนทั้งหมดแล้วให้นักศึกษาทำแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) เพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นนำคะแนนที่ได้จากการทำแบบฝึกหัดและแบบทดสอบของนักศึกษามาคำนวณหาประสิทธิภาพชุดฝึกการสอนและทดสอบหาค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของคะแนนทดสอบก่อนเรียนและคะแนนทดสอบหลังเรียน โดยใช้สถิติ t-test ทดสอบหาค่าความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ย

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

การหาประสิทธิภาพชุดการสอนใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

3.2.1 สูตรหาค่าคะแนนเฉลี่ย

$$\bar{x} = \sum x / N$$

เมื่อ X = คะแนนเฉลี่ย

$\sum x$ = ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N = จำนวนข้อมูล

3.2.2 สถิติ t – test สำหรับทดสอบแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของคะแนนทดสอบก่อนเรียนและคะแนนทดสอบหลังเรียน

$$t = \frac{\sum x}{\sqrt{\frac{n\sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}} \qquad df = n - 1$$

เมื่อ D = ความแตกต่างระหว่างคะแนนแต่ละคู่

n = จำนวนคู่

3.2.3 สูตรคำนวณหาประสิทธิภาพของชุดการสอน

$$E_1 = \frac{(\sum X/N)}{A} \times 100 \quad E_2 = \frac{(\sum F/N)}{B} \times 100$$

เมื่อ

E_1 = ประสิทธิภาพของกระบวนการที่วัดได้ในการสอนคิดเป็นร้อยละจากการทำแบบฝึกหัด

E_2 = ประสิทธิภาพของผลลัพธ์คิดเป็นร้อยละจากการทดสอบหลังเรียน

$\sum X$ = คะแนนรวมของผู้เรียนจากการทำแบบฝึกหัด

$\sum F$ = คะแนนรวมของผู้เรียนจากการทำแบบทดสอบหลังเรียน

N = จำนวนผู้เรียน

A = คะแนนเต็มของแบบฝึกหัด

B = คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียน

4. ผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์ผลแบบประเมินชุดการสอนของผู้เชี่ยวชาญ

นำชุดฝึกการสอนประกอบด้วย ใบเนื้อหา แบบฝึกหัด สื่อภาพวีดีทัศน์และอุปกรณ์ชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยโลหะผงให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจให้คะแนน แล้วนำมาวิเคราะห์ผลความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

ข้อคำถามความคิดเห็น	$\bar{X}$	SD	แปลความ
ด้านใบเนื้อหา			
1. เนื้อหาวิชาถูกต้อง	4.20	0.45	มาก
2. การจัดลำดับเนื้อหาเหมาะสมกับขั้นตอนการเรียนรู้	3.40	0.55	พอใช้
3. การเสนอเนื้อหาความรู้ก่อให้เกิดแรงจูงใจต่อการเรียน	3.80	0.84	มาก
4. ความสอดคล้องระหว่างรูปภาพกับคำบรรยาย	4.00	0.00	มาก
5. ความถูกต้องของรูปภาพ	3.80	0.45	มาก
6. ความเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน	4.60	0.55	มากที่สุด
รวม	3.97	0.47	มาก
ด้านแบบฝึกหัด			
1 คำถามมีความยากง่ายเหมาะสม	3.80	0.45	มาก
2 คำถามและคำตอบมีเป้าหมายที่ชัดเจน	3.90	0.45	มาก
รวม	3.80	0.45	มาก
ด้านสื่อการสอนเกี่ยวกับภาพวีดีทัศน์			
1. รูปภาพในวีดีทัศน์สัมพันธ์กับเนื้อหาในใบเนื้อหา	4.20	0.45	มาก
2. ขนาดภาพและตัวอักษรมีความเหมาะสม	4.20	0.84	มาก
3. คำบรรยายประกอบรูปภาพ กะทัดรัด ชัดเจน อ่านง่าย	4.20	0.45	มาก
4. มีความเร้าใจก่อให้เกิดแรงจูงใจต่อการเรียน	3.60	0.55	มาก
5. ขนาดของภาพที่แสดงในวีดีทัศน์มีความเหมาะสม	4.00	0.00	มาก
6. เวลาที่ใช้เหมาะสมกับเนื้อหาวิชา	4.40	0.55	มาก
รวม	4.10	0.47	มาก
ด้านสื่อการสอนเกี่ยวกับอุปกรณ์แม่พิมพ์โลหะผง			
1. มีความสัมพันธ์กับเนื้อหาวิชา	4.40	0.55	มาก
2. สามารถลดเวลาในการสื่อความหมายให้เข้าใจได้ดี	4.40	0.55	มาก
3. ดึงดูดความสนใจของผู้เรียนได้ดี	4.40	0.55	มาก
4. เกิดกิจกรรมการเรียนมากกว่าการเห็นเพียงอย่างเดียว	4.80	0.45	มากที่สุด
5. มีขนาดเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในห้องเรียนได้	4.60	0.55	มากที่สุด
รวม	4.52	0.53	มากที่สุด

ผลการวิเคราะห์รวมทั้งข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญจะนำไปปรับปรุงแก้ไขชุดการสอนก่อนที่จะนำไปทดลองใช้ โดยมีผู้เชี่ยวชาญที่ร่วมพิจารณาจำนวน 5 ท่าน จากตารางพบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นต่อชุดการสอน ด้านใบเนื้อหาวิชา ด้านแบบฝึกหัด ด้านสื่อการสอนเกี่ยวกับแผ่นภาพวีดีทัศน์ มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก และด้านสื่อการสอนเกี่ยวกับอุปกรณ์แม่พิมพ์มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด นั้นคือผู้เชี่ยวชาญยอมรับชุดการสอนที่สร้างขึ้น

4.2 การวิเคราะห์ผลคะแนนแบบฝึกหัด

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ผลคะแนนแบบฝึกหัด

รายการ	N	คะแนนเต็ม	$\sum X$	$\bar{X}$	ร้อยละ
แบบฝึกหัดบทที่ 1	30	5	140	4.67	93.3
แบบฝึกหัดบทที่ 2	30	9	236	7.87	87.4
แบบฝึกหัดบทที่ 3	30	8	210	7	87.5
แบบฝึกหัดบทที่ 4	30	10	254	8.47	84.7
แบบฝึกหัดบทที่ 5	30	10	274	9.1	91.3
รวม		42	1114	37.132	88.8

จากตาราง แสดงให้เห็นว่านักศึกษากลุ่มตัวอย่างในการทดลอง จำนวน 30 คน ทำแบบฝึกหัดทั้ง 5 แบบฝึกหัด มีคะแนนเกินร้อยละ 80 โดยคะแนนแบบฝึกหัดบทที่ 1 ได้คะแนนร้อยละ 93.3 คะแนนแบบฝึกหัดที่ 2 ได้คะแนนร้อยละ 87.4 คะแนนแบบฝึกหัดบทที่ 3 ได้คะแนนร้อยละ 87.5 คะแนนแบบฝึกหัดบทที่ 4 ได้คะแนนร้อยละ 84.7 คะแนนแบบฝึกหัดบทที่ 5 ได้คะแนนร้อยละ 91.3 ตามลำดับ

4.3 การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพชุดการสอน

การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดการสอนใช้เกณฑ์กำหนด 80/80

ตารางที่ 3 แสดงคะแนนจากการทำงานแบบฝึกหัดและแบบทดสอบหลังเรียน

ผู้เข้าสอบ	คะแนนแบบฝึกหัด		คะแนนทดสอบหลังเรียน	
คนที่	คะแนนเต็ม 42	ร้อยละ	คะแนนเต็ม 20	ร้อยละ
1	39	92.9	18	90
2	36	85.7	16	80
3	34	81.0	15	75
4	41	97.6	19	95
5	39	92.9	18	90
6	38	90.5	17	85
7	39	92.9	18	90
8	37	88.1	16	80
9	40	95.2	18	90
10	42	100	19	95
11	39	92.9	17	85
12	34	81.0	15	75
13	39	92.9	18	90
14	41	97.6	17	85
15	37	88.1	16	80
16	36	85.7	17	85
17	36	85.7	17	85
18	42	100	19	95
19	36	85.7	16	80
20	39	92.9	17	85
21	34	81.0	16	80
22	34	81.0	18	90
23	40	95.2	19	95
24	34	81.0	16	80
25	37	88.1	18	90
26	34	81.0	19	95
27	35	83.3	16	80
28	34	81.0	15	75
29	34	81.0	16	80
30	34	81.0	17	85
รวม	1114	2652.4	513	2565
เฉลี่ย	37.1	88.41	17.1	85.5

80 ตัวแรก หมายถึง ค่าคะแนนเฉลี่ยที่ผู้เรียนสามารถตอบคำถามในแบบฝึกหัดได้ถูกต้องโดยคิดเป็นร้อยละ

80 ตัวหลัง หมายถึง ค่าคะแนนเฉลี่ยที่ผู้เรียนสามารถทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังการเรียนจากชุดการสอนได้ถูกต้องโดยคิดเป็นร้อยละเช่นกัน

การหาประสิทธิภาพของชุดการสอน

จากสูตร $\mathrm{E}_1 = \frac{(\sum \mathrm{X}/\mathrm{N})}{\mathrm{A}} \times 100$

$\mathrm{E}_2 = \frac{(\sum \mathrm{F}/\mathrm{N})}{\mathrm{B}} \times 100$

เมื่อ

E_1 = ประสิทธิภาพของขบวนการที่วัดได้ในการสอนคิดเป็นร้อยละจากการทำแบบฝึกหัด

E_2 = ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (พฤติกรรมที่เปลี่ยนในตัวเรียนหลังจากการเรียนด้วยชุดการสอนแล้ว) คิดเป็นร้อยละจากการทดสอบหลังการสอน

$\sum X$ = คะแนนรวมของผู้เรียนจากการทำแบบฝึกหัดได้

$\sum F$ = คะแนนรวมของผู้เรียนจากการทำแบบทดสอบหลังเรียน

N = จำนวนผู้เรียน

A = คะแนนเต็มของแบบฝึกหัด

B = คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียน

จากตาราง $\sum X$ = 1114 A = 42

$\sum F$ = 513 B = 20

N = 30

แทนค่า $\mathrm{E}_1 = \frac{(1114/30)}{42} \times 100$

ประสิทธิภาพตัวแรก = 88.41

แทนค่า $\mathrm{E}_2 = \frac{(513/30)}{20} \times 100$

ประสิทธิภาพตัวหลัง = 85.50

ตารางที่ 4 ผลการหาประสิทธิภาพของชุดการสอน

รายการ	N	ΣX	$\overline{X}$	ร้อยละ
คะแนนจากการทำแบบฝึกหัด	30	1114	37.1	88.41
คะแนนจากการทำแบบทดสอบ	30	513	17.1	85.5

จากตาราง แสดงให้เห็นว่า นักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในการทดลองจำนวน 30 คน ทำข้อสอบในแบบฝึกหัดได้ถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 88.41 ของคะแนนรวมทั้งหมด สูงกว่าเกณฑ์ 80 ตัวแรกที่กำหนดไว้ และทำข้อสอบในแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนภาคทฤษฎีได้ถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 85.5 สูงกว่าเกณฑ์ 80 ตัวหลังที่กำหนดไว้ ซึ่งแสดงว่าชุดการเรียน เรื่องเทคโนโลยีการผลิตชิ้นส่วนด้วยโลหะผงที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้

4.4 การวิเคราะห์ผลความก้าวหน้าทางการเรียน

ผลของคะแนนทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) และคะแนนทดสอบหลังเรียน (Post-test) นำมาวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างคะแนนทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ดังนี้

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของคะแนนทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

ผู้เข้าสอบคนที่	คะแนนสอบก่อนเรียน (X_1)	คะแนนสอบหลังเรียน (X_2)	ผลต่าง $D= (X_2 - X_1)$	$(\text{ผลต่าง})^2$ D^2
1	6	18	12	144
2	5	16	11	121
3	4	15	11	121
4	7	19	12	144
5	7	18	11	121
6	6	17	11	121
7	4	18	14	196
8	2	16	14	196
9	7	18	11	121
10	6	19	13	169
11	5	17	12	144
12	3	15	12	144
13	4	18	14	196
14	6	17	11	121
15	4	16	12	144
16	2	17	15	225
17	2	17	15	225
18	7	19	12	144
19	5	16	11	121
20	6	17	11	121
21	3	16	13	196
22	4	18	14	196
23	4	19	15	225
24	5	16	11	121
25	3	18	15	225
26	5	19	14	196
27	5	16	11	121
28	3	15	12	144
29	6	16	10	100
30	3	17	14	196
รวม			ΣD =374	ΣD^2 =4732

การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของคะแนนทดสอบก่อนเรียนและคะแนนทดสอบหลังเรียน ด้วยสถิติ t-test

1. H_0 : $\mu_1 = \mu_2$
2. H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2$
3. α = 0.01
4. จากตารางค่า t ที่ α = 0.01 df = 30-1=29 :

   t = 2.46

5. $$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N\sum D^2 - (\sum D)^2}{N-1}}}$$

$$t = \frac{374}{\sqrt{\frac{30 \times 4732 - (374)^2}{30-1}}}$$

$$t = 44.11$$

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ผลความก้าวหน้าทางการเรียน

รายการ	N	$\bar{X}$	$\sum D$	$\sum D^2$	t
คะแนนทดสอบก่อนเรียน	30	4.63	374	4732	44.11
คะแนนทดสอบหลังเรียน	30	17.1			

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

ค่า t ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่า t ในตาราง ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั้นคือค่าคะแนนเฉลี่ยของคะแนนทดสอบหลังเรียนสูงกว่าค่าคะแนนเฉลี่ยของคะแนนทดสอบก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 แสดงว่าการเรียนด้วยชุดการสอนนี้ทำให้ผู้เรียนมีความรู้สูงขึ้น

4.5 การวิเคราะห์ผลแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เรียน

การวิเคราะห์ผลของการแสดงความคิดเห็นของนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง ที่ใช้ในการทดลองจำนวน 30 คน ปรากฏผลดังตารางที่ 7 จากตารางพบว่านักศึกษากลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นต่อชุดการสอนเทคโนโลยีการผลิตชิ้นส่วนด้วยโลหะผงในด้านต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 7 ผลแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เรียน

ข้อกำหนดความคิดเห็น	$\bar{X}$	SD	แปลความ
ด้านสื่อการสอน			
1 ความชัดเจนของเนื้อหาและรูปภาพ	4.20	0.61	เห็นด้วย
2 รูปภาพที่แสดงเข้าใจง่าย	4.00	0.69	เห็นด้วย
3 คำบรรยายประกอบรูปภาพมีความสอดคล้องกับเนื้อหา	4.07	0.64	เห็นด้วย
4 อุปกรณ์ที่นำเสนอสื่อมีความทันสมัย	4.20	0.61	เห็นด้วย
5 ความสวยงานของสื่อการสอน	3.63	0.85	เห็นด้วย
รวม	4.02	0.68	เห็นด้วย
ด้านการเรียน			
1 ปริมาณเนื้อหาที่ใช้ในการเรียนไม่มากหรือน้อยเกินไป	4.00	0.74	เห็นด้วย
2 การจัดเรียงลำดับเนื้อหาในการเรียนต่อเนื่องและสัมพันธ์ดี	4.17	0.65	เห็นด้วย
3 เนื้อหาในการเรียนมีความผิดพลาดน้อย	3.80	0.41	เห็นด้วย
4 ลักษณะความเป็นระเบียบของเนื้อหา	3.90	0.61	เห็นด้วย
5 เนื้อหาที่ใช้ในการเรียนมีความทันสมัย	3.93	0.69	เห็นด้วย
6 หลังจากเรียนเสร็จแล้วได้รับความรู้เพิ่มจากเดิม	4.27	0.47	เห็นด้วย
รวม	4.01	0.59	เห็นด้วย
ด้านผู้สอน			
1 ผู้สอนมีความรู้ในลักษณะงาน	4.27	0.64	เห็นด้วย
2 ผู้สอนบรรยายตรงตามเนื้อหา	4.30	0.53	เห็นด้วย
3 ผู้สอนสามารถบรรยายได้อย่างเข้าใจ	4.17	0.53	เห็นด้วย
4 การเตรียมความพร้อมของผู้สอน	4.03	0.61	เห็นด้วย
5 ความพึงพอใจต่อผู้สอน	4.23	0.57	เห็นด้วย
รวม	4.20	0.57	เห็นด้วย

ด้านสื่อการสอน หลังจากเรียนจบแล้วท่านได้รับความรู้เพิ่มจากเดิม ใบเนื้อหาที่ได้อ่านแล้วเข้าใจง่ายและมีรูปภาพชัดเจน การจัดเรียงลำดับเนื้อหาที่เรียนต่อเนื่องและสัมพันธ์กันดี เนื้อหาที่อบรมน่าสนใจชวนให้ติดตามโดยตลอด ความคิดเห็นอยู่ในระดับเห็นด้วยอย่างยิ่งและวิธีการสอนช่วยทำให้เข้าใจได้รวดเร็ว ปริมาณเนื้อหาที่เรียนในแต่ละครั้งไม่มากหรือน้อยเกินไป ความคิดเห็นอยู่ในระดับเห็นด้วย

ด้านการเรียน เกี่ยวกับสื่อการสอนเทคโนโลยีการผลิตชิ้นส่วนด้วยโลหะผง การจัดเรียงเนื้อหาในการเรียนต่อเนื่อง เนื้อหาในการเรียนมีความผิดพาดน้อย ความคิดเห็นอยู่ในระดับเห็นด้วยและความเป็นระเบียบของเนื้อหาการเรียนมีความทันสมัย ความคิดเห็นอยู่ในระดับเห็นด้วย

ด้านผู้สอน ผู้สอนมีความรู้ในลักษณะงานบรรยายตรงตามเนื้อหาสามารถทำให้เข้าใจเนื้อหาได้

ดี ความคิดเห็นอยู่ในระดับเห็นด้วย และการเตรียมความพร้อม ความพึงพอใจต่อผู้สอน ความคิดเห็นอยู่ในระดับเห็นด้วย

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏว่า

5.1.1 ชุดการสอน เรื่องเทคโนโลยีการผลิตชิ้นส่วนด้วยโลหะผง ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 88.41/85.50 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้

5.1.2 การทดสอบผลต่างผลระหว่างคะแนนเฉลี่ยของผลทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ผลคือค่าเฉลี่ยของคะแนนจากการทำแบบทดสอบหลังเรียนมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนจากการทำแบบทดสอบก่อนเรียน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01

ดังนั้นสรุปได้ว่า ชุดฝึกการสอน เรื่องเทคโนโลยีการผลิตชิ้นส่วนด้วยโลหะผง ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในสมมติฐาน และผู้เรียนที่ผ่านการเรียนด้วยชุดการสอนนี้มีความรู้เพิ่มขึ้นจริง

5.2 อภิปรายผลจากการทดลอง

5.2.1 จากทดลองพบว่า ชุดการสอนเรื่องเทคโนโลยีการผลิตชิ้นส่วนด้วยโลหะผง ที่จัดทำขึ้น มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์กำหนด 80/80 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานของการทดลอง โดยมีค่าประสิทธิภาพตัวแรกที่ได้จากการทำแบบฝึกหัดของนักศึกษาในระหว่างการเรียน เฉลี่ยร้อยละ 88.41 สูงกว่าเกณฑ์ 80 ตัวแรกที่กำหนดไว้ และมีค่าประสิทธิภาพตัวหลังที่ได้จากคะแนนทดสอบหลังจบการเรียน เฉลี่ยร้อยละ 85.50 สูงกว่าเกณฑ์ 80 ตัวหลังที่กำหนดไว้

5.2.2 ผลสัมฤทธิ์ของการเรียนที่ปรากฏออกมาได้ค่ามากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้เพราะในการสร้างชุดการสอนมีการจัดทำอย่างมีระบบและขั้นตอน ผ่านการตรวจสอบและได้รับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ โดยมีการทดลองใช้ชุดการสอนเพื่อนำข้อบกพร่องมาปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้มั่นใจว่าชุดการสอนอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จึงนำออกไปใช้สอนจริง

5.2.3 การที่ชุดการสอนนี้มีประสิทธิภาพดังกล่าวนั้นหมายถึงว่าถ้านำชุดการสอนนี้ไปใช้กับผู้เรียนที่ไม่มีพื้นฐานความรู้ทางด้านงานขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยโลหะผงก็จะช่วยให้ผู้เรียนมีพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับงานขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยโลหะผงในระดับหนึ่งก่อนที่จะได้ไปศึกษาต่อในรายละเอียดอื่นๆ เพิ่มเติม เช่นรายละเอียดเกี่ยวกับการอัดขึ้นรูปชิ้นงานและการสร้างแม่พิมพ์สำหรับอัดขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยผงโลหะซึ่งจะต้องอาศัยพื้นฐานงานขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยผงโลหะเป็นฐานความรู้ จึงจะสามารถทำการขึ้นรูปชิ้นงานได้

5.2.4 การจัดกิจกรรมการเรียน พบว่าผู้สอนมีความคล่องตัวเนื่องจากชุดการสอนที่จัดทำขึ้นซึ่งประกอบด้วย คู่มือผู้เข้ารับการฝึกอบรม แบบฝึกหัด แบบทดสอบ สื่อภาพวีดีทัศน์ รูปผงโลหะ ที่มีความสอดคล้องทำให้ผู้สอนได้รับความสะดวกในการดำเนินการสอน

5.2.5 ในด้านสื่อที่ใช้ในการเรียน สื่อประกอบการเรียนจะเป็นสื่อภาพวีดีทัศน์และคู่มือการเรียนที่เป็นเนื้อหาและรูปภาพพร้อมกับบทบรรยายเนื้อหาและขั้นตอนตั้งแต่การเป็นวัตถุดิบจนกระทั่งถึง

เป็นชิ้นงานพร้อมกับใช้งาน ผู้เรียนจะได้ทราบถึงขบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยโลหะผงได้ง่ายขึ้นจากสื่อภาพวีดีทัศน์และอุปกรณ์ประกอบการเรียน เช่น ชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะผงที่ใช้ในขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยโลหะผง

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการจัดทำโครงงานเพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดการสอน เรื่องเทคโนโลยีการผลิตชิ้นส่วนด้วยโลหะผง ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในด้านต่าง ๆ ไว้ดังนี้

5.3.1 หากต้องการให้ชุดการสอนมีประสิทธิภาพสูง จนสามารถนำไปใช้ในการเรียนให้ได้ตามเกณฑ์กำหนดแล้วก่อนที่ผู้สอนจะนำชุดการสอนไปใช้ต้องทำความเข้าใจในเนื้อหาและวิธีใช้ชุดการก่อนให้ดี อีกทั้งช่วงเวลาที่ใช้ต้องสัมพันธ์กับเนื้อหาที่เรียนด้วย

5.3.2 ควรนำวีดีทัศน์ที่เป็นสื่อประกอบการสอนเรื่องเทคโนโลยีการผลิตชิ้นส่วนด้วยโลหะผงไปปรับปรุง เพื่อให้สื่อประกอบการสอนในส่วนที่สร้างขึ้นให้มีประสิทธิภาพไห้ดียิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อธิการบดี มหาวิทยาลัยสยาม ดร.พรชัย มงคลวนิช ที่ส่งเสริมและสนับสนุนงานวิจัยนี้ และขอบคุณ บริษัท เค เพาเดอร์ เมทัล จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการถ่ายทำวิดีทัศน์และได้ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะพร้อมทั้งอำนวยความสะดวกเครื่องมือและอุปกรณ์เป็นอย่างดียิ่ง

เอกสารอ้างอิง

[1] R.M. German, “Powder Metallurgy Science”, 2nd edition, MPIF, New Jersey, 1994.

[2] R.M. German, “Sintering Theory and Practice”, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1996.

[3] L.F. Pease, III and W.G. West, “Fundamentals of Powder Metallurgy”, MPIF, New Jersey, 2002.

[4] Animesh Bose, “Advances in Particulate Materials”, Butterworth-Heinemann, MA, 1995.

[5] M. Sherif El-Eskandarany, “Mechanical Alloying for Fabrication of Advanced Engineering Materials”, Noyes Publications, New York, 2001.

[6] Napisporn Memongkol, “Superplastic Forging of Al6061-SiCp Composites”, Ph.D. Thesis, IIT, 2001.

[7] MTEC, “Powder Metallurgy of Iron and Steel”, เอกสารประกอบการสัมมนาทางด้านโลหะ, 13-14 ธันวาคม 2544.

[8] Memongkol N. and Nash P. “Processing and Characterization of Mechanical Alloyed Al6061-SiCp Composite”, 3rd International Conference on Advanced Manufacturing Technology, 11-13 May 2004, Kuala Lumpur.

[9] International Standard ISO 1101, Geometrical Tolerancing-Tolerancing

offform,orientation, Location and run-out,UDC 744.4:621.753,1, Ref.No. ISO 1101-1983(E).

[10] A. Szegvari and M. Yang, “Attritor Grinding and Dispersing *Equipment*”, Dispersion of Pigments and Resins in Fluid Media, Ken State University, Kent, Ohio, April 29, 1999.

[11] Robert E. Schilling and M. Yang, “Attritor Grinding Mills and New developments”, Panamerican Coatings 2000 World Trade Center, Mexico city, Mexico, July 19, 2000.

[12] Waren H. Hunt, Jr., “New Directions in Aluminum-based P/M Materials for Automotive Applications”, The international Journal of Powder Metallurgy, Volume 36, No.6, 2000.

[13] Andrew D. Hanson and Steven C. Perruzza, “Optimizing Component Designs for Metal injection Molding”, The international Journal of Powder Metallurgy, Volume 36, No.3, 2000.

[14] Frank J. Rizzo and John J. Conway, “Fully Dense P/M Components Produced by Hot Isostatic Pressing”, The International Journal of Powder Metallurgy, Volume 35, No.6, 1999.

[15] CNC datasheet, http://www.usedmachine thai.com.

[16] CMM data sheet, http://www.itokin 2000.com