

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(7)
รายการตาราง	(9)
รายการรูป	(10)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(12)
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 วิธีการเตรียมวัสดุหล่อขึ้นด้วยตนเอง	4
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของแรงเสียดทานแบบของแข็ง	4
2.3 มาตรฐานการทดสอบการหาค่าแรงเสียดทาน	6
2.4 วิธีการทดสอบหาค่าอัตราการสึกหรอ	8
2.5 แรงเสียดทานและการสึกหรอของวัสดุผสมโลหะ	10
2.6 สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมโลหะ	10
2.7 สมบัติเชิงกลของวัสดุและการทดสอบสมบัติเชิงกล	12
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
3 วิธีการทดลอง	18
3.1 การเตรียมชิ้นงานด้วยวิธีโลหะผสมเชิงกลและการอบพ่นึก	18
3.2 การทดสอบความแข็ง	19
3.3 การทดสอบการสึกหรอ	20
3.4 การทดสอบการต้านแรงดึง	21
3.5 การทดสอบการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	21

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 การทดสอบหาค่าความขรุขระ	21
3.7 เครื่องถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาค	22
3.8 การวัดความหนาแน่นก้อน	22
4 ผลและการอภิปรายผล	23
4.1 ผลการเตรียมชิ้นงานทดสอบ	23
4.2 ผลการทดสอบสมบัติของชิ้นงาน	24
4.3 โครงสร้างพื้นผิวชิ้นงานหลังจากการทดสอบหาอัตราการสึกหรอ	37
4.4 ค่าความขรุขระ	42
4.5 ค่าความหนาแน่นก้อน	43
5 สรุปและข้อเสนอแนะ	45
5.1 สรุป	45
5.2 ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	49
. ตารางข้อมูลดิบสำหรับการทดสอบความแข็ง	50
. ตารางข้อมูลดิบสำหรับการทดสอบการสึกหรอ	57
. ตารางข้อมูลดิบสำหรับการทดสอบการต้านแรงดึง	62
. ตารางข้อมูลดิบสำหรับการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	65
. ตารางข้อมูลดิบสำหรับการทดสอบความขรุขระ	70
. ตารางข้อมูลดิบสำหรับการทดสอบความหนาแน่นก้อน	72
ประวัติผู้เขียน	74

## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางมาตรฐานในการทดสอบหาค่าแรงเสียดทานจากสถาบัน ASM, 1994	7
2.2 ค่าความหนาแน่นและความแข็งของอนุภาคที่ถูกเลือกสำหรับวัสดุผสมโลหะ (Kestursatya, 2003)	11
4.1 ผลทดสอบความแข็งของชิ้นงาน (HV) ก่อนการเผาอบพ่นที่เวลาต่างๆ	26
4.2 ผลทดสอบความแข็งของชิ้นงาน (HV) หลังการเผาอบพ่นที่เวลาต่างๆ	26
4.3 ผลทดสอบสมบัติการต้านแรงดึงของชิ้นงาน (MPa) ที่เวลาต่างๆ	30
4.4 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของชิ้นงานที่เวลาต่างๆ	33
4.5 อัตราการสึกหรอของชิ้นงานที่เวลาต่างๆ (กรัม/นาที่)	35
4.6 ค่าความขรุขระของโลหะทองแดงและดีบุกที่มีส่วนผสมของทัลคัม 0% และ 2% ที่เวลาในการบด 30, 360, 1440 และ 2880 นาที	42
4.7 ค่าความขรุขระของโลหะบรอนซ์ดีบุกที่มีส่วนผสมของทัลคัม 0% และ 2% ที่เวลาในการบด 30, 360, 1440 และ 2880 นาที	43
4.8 ค่าความหนาแน่นรวมของชิ้นงานที่เวลาต่างๆ	44

## รายการรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงการวัดมุมเอียงของแรงเสียดทานสถิต	6
2.2	ภาพแสดงลักษณะของหัวจับชิ้นงานและเป็นชุดชิ้นงานของเครื่องขัด Metkon	9
2.3	เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) แบบมีจุดคราก (Yield Point)	12
2.4	เปรียบเทียบเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของวัสดุเปราะและวัสดุพลาสติก	14
3.1	ลักษณะชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM E 8	19
3.2	เครื่องทดสอบการสึกหรอ Wear Test ที่ประยุกต์ใช้	20
3.3	ชุดทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	21
4.1	ลักษณะชิ้นงานที่ผ่านการเผาอบผืนึก	24
4.2	ภาพถ่ายการกระจายตัวของผงโลหะหลังการบดโดยใช้วิธี X-Ray Mapping	25
4.3	กราฟแสดงค่าความแข็งของชิ้นงานก่อนการเผาอบผืนึกที่เวลาต่างๆ	27
4.4	กราฟแสดงค่าความแข็งของชิ้นงานหลังการเผาอบผืนึกที่เวลาต่างๆ	28
4.5	กราฟแสดงค่าความแข็งของชิ้นงานก่อนการเผาอบผืนึกที่เวลาต่างๆ	28
4.6	กราฟแสดงค่าความแข็งของชิ้นงานหลังการเผาอบผืนึกที่เวลาต่างๆ	29
4.7	ภาพ $Cu_6Sn_5$ จากเครื่อง XRD ของชิ้นงานที่ผ่านการบดที่เวลา 2880 นาทีที่มีส่วนผสมของผงโลหะทองแดง ผงโลหะดีบุกและทัลคัม	30
4.8	ภาพ $Cu_3Sn$ จากเครื่อง XRD ของชิ้นงานที่ผ่านการบดที่เวลา 2880 นาทีที่มีส่วนผสมของผงโลหะบรอนซ์ดีบุกและทัลคัม	31
4.9	กราฟแสดงค่าแรงดึงสูงสุดของชิ้นงานที่เวลาต่างๆ	31
4.10	แผนภาพของเฟสระหว่างทองแดงและดีบุก	32
4.11	กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของชิ้นงานที่เวลาในการบดสั้นๆ	34
4.12	กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของชิ้นงานที่เวลาในการบดนานขึ้น	34
4.13	อัตราการสึกหรอของชิ้นงานที่เวลาในการบดสั้นๆ	36
4.14	อัตราการสึกหรอของชิ้นงานที่เวลาในการบดนานขึ้น	36
4.15	ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานโลหะทองแดง ดีบุกและทัลคัมหลังผ่านการขัดที่เวลาบด 150 นาที กำลังขยาย 200 เท่า; A = 0%Talc, B = 5%Talc, C = 10%Talc และ D = 15%Talc	37

## รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.16	ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานบรอนซ์ดีบุกและทาลคัมหลังผ่านการขัดที่เวลาบด 150 นาที กำลังขยาย 200 เท่า; A = 0%Talc, B = 5%Talc, C = 10%Talc และ D = 15%Talc	39
4.17	ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานโลหะทองแดง ดีบุกและทาลคัมหลังผ่านการขัดที่เวลาบด 1440 นาที กำลังขยาย 200 เท่า; A = 0%Talc และ B = 2%Talc	40
4.18	ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานโลหะทองแดง ดีบุกและทาลคัมหลังผ่านการขัดที่เวลาบด 2880 นาที กำลังขยาย 200 เท่า; A = 0%Talc และ B = 2%Talc	40
4.19	ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานโลหะบรอนซ์ดีบุกและทาลคัมหลังผ่านการขัดที่เวลาบด 1440 นาที กำลังขยาย 200 เท่า; A = 0%Talc และ B = 2%Talc	41
4.20	ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานโลหะบรอนซ์ดีบุกและทาลคัมหลังผ่านการขัดที่เวลาบด 2880 นาที กำลังขยาย 200 เท่า; A = 0%Talc และ B = 2%Talc	41
4.21	ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวหน้าของแป้นขัด โดยที่ A = ก่อนขัด, B = หลังขัด	42