สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
Abstract	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญ	(4)
รายการตาราง	(8)
รายการรูป	(9)
บทที่	
1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
ทฤษฎีและหลักการ	8
ไม้ยางพารา	9
วัสดุผสม	10
อะลูมิเนียม	12
ซิลิกอนคาร์ไบด์	13
การเตรียมเบตา ซิลิกอนคาร์ไบด์	14
การเตรียมอัลฟาซิลิกอนคาร์ไบด์	15
กระบวนการคาร์โบโนเซชัน	15
กระบวนการโซล-เจล	16
ปฏิกิริยาคาร์โบเทอร์มอล รีดักชัน	18
กระบวนการหล่ออัด	20
การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนก 2 ทาง	22
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	26
ขอบเขตของโครงการวิจัย	26

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	26
2	ระเบียบวิธีการวิจัย	27
	วัสดุที่ใช้ในการวิจัย	27
	เครื่องมือและอุปกรณ์	28
	เตาเผา (อุณหภูมิสูงสุด 1,200 °C)	28
	Magnetic Stirrer ยี่ห้อ LMS รุ่น MGS-1001	28
	เครื่องอัดสุญญากาศ	29
	เตาเผาอุณหภูมิสูง	29
	เครื่องอัดไฮโดรลิก	30
	เตาหลอมอะลูมิเนียม	30
	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด รุ่น JSM 5800LV, JEOL	31
	วิธีการทดลอง	32
	การเตรียมชิ้นงาน	32
	กระบวนการคาร์บอนไนเซชั่น	32
	กระบวนการโซล-เจล	33
	กระบวนการคาร์บอนเทอร์มอลรีดักชั่น	35
	กระบวนการหล่ออัด	36
	วิธีการวิเคราะห์วัสดุ	41
	การหาค่าความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่าง	41
	การวิเคราะห์โครงสร้าง	42
	วิธีทดสอบสมบัติวัสดุ	42
	การทดสอบความต้านทานการนำไฟฟ้า	42
	การทดสอบการนำความร้อน	43

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	การทดสอบการสึกหรอ	44
	การทดสอบความแข็ง	45
	การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนก 2 ทาง	46
3	ผลและวิเคราะห์การวิจัย	48
	การวิเคราะห์ทางกายภาพ	49
	ผลการหล่ออัดอะลูมิเนียม	49
	การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น	50
	ผลของการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค	51
	ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคทิศทางวัสดุผสม SiC/C-Al แนวรัศมี	52
	ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคทิศทางวัสดุผสม SiC/C-Al แนวแกน	53
	วิเคราะห์แยกธาตุด้วย X-ray mapping	54
	วิเคราะห์แยกธาตุด้วย X-ray mapping ทิศทางโครงสร้างแนวรัศมี	54
	วิเคราะห์แยกธาตุด้วย X-ray mapping ทิศทางโครงสร้างแนวแกน	55
	วิเคราะห์แยกธาตุด้วย X-ray mapping ภายในโครงสร้างวัสดุผสม SiC/C-Al ซึ่งเกิดจากการแตกหัก	56
	การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแบบ Energy Dispersive X-ray Analysis	58
	การทดสอบสมบัติความต้านทานการนำไฟฟ้า	58
	การทดสอบสมบัติการนำความร้อน	61
	การทดสอบสมบัติการสึกหรอ	63
	การทดสอบสมบัติความแข็ง	70
	การวิเคราะห์ความแปรปรวน แบบจำแนก 2 ทาง	72
	ผลของ Residual Plot for yield	72
	การทดสอบสมมติฐานของการทดลอง	76
	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน แบบจำแนก 2 ทาง	78

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ผลการทดสอบความหนาแน่นและสมบัติต่างๆของวัสดุผสม SiC/C-Al 79

4 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 80

สรุปผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ 81

สรุปผลการทดสอบสมบัติต่างๆของวัสดุผสม SiC/C-Al 82

ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานการนำไฟฟ้า 82

ผลการทดสอบสมบัติการนำความร้อน 82

ผลการทดสอบสมบัติความสึกหรอ 83

ผลการทดสอบความแข็ง 84

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 84

ประโยชน์และข้อเสนอแนะ 85

บรรณานุกรม 86

ภาคผนวก

ก. แสดงผลค่าการนำความร้อน 89

ข.ผลการวัดค่าความต้านทานการนำไฟฟ้า 92

ค. ตารางแปลงหน่วยค่าความแข็ง 95

ง. ลักษณะเฉพาะของคาร์บอน อะลูมิเนียม ซิลิกอนคาร์ไบด์ 98

ง.1 แสดงสมบัติต่างๆของคาร์บอน 99

ง.2 แสดงสมบัติต่างๆของอะลูมิเนียม A356, T61 100

ง.3 แสดงสมบัติต่างๆของซิลิกอนคาร์ไบด์ 102

จ. ผลงานการนำเสนอผลงานประชุมวิชาการ 103

ฉ. ประวัติคณะผู้วิจัย 107

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	สมบัติเชิงกลของไม้ยางพารา	9
1.2	สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียม	13
1.3	ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับเซลภายในเนื้อไม้ในกระบวนการคาร์บอนไนเซชั่น	16
1.4	ประโยชน์ของวัสดุผสมเนื้อโลหะในเชิงพาณิชย์	21
1.5	ตารางชนิดแจกแจงในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนก 2 ทาง	22
1.6	ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมี 2 ปัจจัย	24
2.1	ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียม A356	27
2.2	จำนวนชิ้นงานในแต่ละปัจจัยของการทดลอง	37
2.3	ความแข็งรอคเวลสเกลต่างๆ	46
3.1	ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบทางเคมี	58
3.2	ค่าความแข็งของวัสดุผสม SiC/C-Al	72
3.3	ตาราง ANOVA	77
3.4	ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของสมบัติของวัสดุผสม SiC/C-Al	79

รายการรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การนำวัสดุจากธรรมชาติมาผลิตเป็นวัสดุในกลุ่มเซรามิกส์และวัสดุผสม	2
1.2	การสังเคราะห์ของ C/SiO2 เป็น Porous SiC	3
1.3	แสดงชิ้นงานทิศทางโครงสร้างทั้ง 2 แบบ	4
1.4	ลักษณะภายในรูพรุนของไม้ธรรมชาติหลังจากทำการสังเคราะห์	5
1.5	วัสดุผสมซึ่งผลิตมาจากวัสดุหลักทั้งสามกลุ่ม	11
1.6	เฟสของวัสดุผสม	11
1.7	ลักษณะของโครงสร้างวัสดุผสม	12
1.8	กราฟความสมดุลของส่วนผสม ระบบ (SiO2+3C) ในบรรยากาศของแก๊สอาร์กอนที่อุณหภูมิต่างๆ	20
1.9	การหล่ออัด (Squeeze casting)	22
2.1	เตาเผาอุณหภูมิสูงสุด 1200 °C	28
2.2	เครื่องกวนสารละลายแบบแม่เหล็ก	28
2.3	เครื่องอัดสุญญากาศ	29
2.4	เตาเผาอุณหภูมิสูง 1800 °C	29
2.5	เครื่องอัดไฮโดรลิก	30
2.6	เตาหลอมอะลูมิเนียม	31
2.7	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด	31
2.8	ตัวอย่างของชิ้นงานไม้ยางพาราก่อนอบ	32
2.9	ไม้ยางพาราที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชั่น	33
2.10	กระบวนการโซล-เจล	35
2.11	ชิ้นงานตัวอย่างวัสดุผสม SiC/C	36
2.12	แสดงลักษณะของวัสดุผสม SiC/C	36
2.13	แสดงขั้นตอนกระบวนการหล่ออัด SiC/C ด้วยอะลูมิเนียมเหลว A356	38
2.14	แสดงขั้นตอนกระบวนการหล่ออัด SiC/C ด้วยอะลูมิเนียมเหลว A356	39

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.15	กระบวนการสังเคราะห์ซิลิกอนคาร์ไบด์พรุนจากไม้ยางพารา	40
2.16	ขั้นตอนของกระบวนการหล่ออัดและการทดสอบวัสดุผสม SiC/C-Al	41
2.17	เซนเซอร์ของเครื่องวัดการนำความร้อน	43
2.18	ลักษณะการทดสอบการนำความร้อนของพื้นผิววัสดุผสม SiC/C-Al	43
2.19	เครื่องทดสอบความสึกหรอแบบ Pin on disk	44
2.20	ลักษณะการวางชิ้นงานวัสดุผสม SiC/C-Al ในการทดสอบการสึกหรอ	45
3.1	ลักษณะพื้นผิวชิ้นงานในการวิเคราะห์วัสดุผสม SiC/C-Al	49
3.2	วัสดุผสม SiC/C	50
3.3	ความหนาแน่นของวัสดุผสม SiC/C-Al เปรียบเทียบกับอะลูมิเนียม A356 ที่ได้จากการหล่ออัด	51
3.4	การแทรกซึมของเนื้ออะลูมิเนียมในวัสดุผสม SiC/C-Al ทิศทางแนวรัศมี	52
3.5	การแทรกซึมของเนื้ออะลูมิเนียมในวัสดุผสม SiC/C-Al ทิศทางแนวแกน	53
3.6	ภาพการวิเคราะห์แยกธาตุ ของวัสดุผสม SiC/C-Al แนวรัศมีที่เวลาเผาแช่แตกต่างกัน	55
3.7	ภาพการวิเคราะห์แยกธาตุ ของวัสดุผสม SiC/C-Al แนวแกนที่เวลาเผาแช่แตกต่างกัน	56
3.8	ภาพการวิเคราะห์แยกธาตุจากรอยแตกของวัสดุผสม SiC/C-Al แนวแกนที่เวลาเผาแช่ 2 ชั่วโมง	57
3.9	การเปรียบเทียบผลการทดลองความต้านทานการนำไฟฟ้าระหว่างวัสดุผสมSiC/C-Al แนวแกนและแนวรัศมี เปรียบเทียบกับอะลูมิเนียม A356 จากการทดลอง	60
3.10	ค่าการนำความร้อนระหว่างวัสดุผสม SiC/C-Al แนวแกนและวัสดุผสม SiC/C-Al แนวรัศมีเปรียบเทียบกับวัสดุในเชิงพาณิชย์	62
3.11	กราฟสึกหรอของชิ้นงานวัสดุผสมแนวรัศมี	64

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.12	แสดงค่าการสึกหรอของวัสดุผสม SiC/C-Al แนวแกน	64
3.13	กราฟแสดงการสึกหรอโดยการเปรียบเทียบระหว่าง วัสดุผสม SiC/C-Al แนวรัศมี และวัสดุผสม SiC/C-Al แนวแกนเปรียบเทียบกับอะลูมิเนียม A356 ที่ได้จากการหล่ออัด	65
3.14	ภาพ SEM แสดงโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสมวัสดุผสม SiC/C-Al แนวรัศมี	67
3.15	ภาพ SEM แสดงโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสม SiC/C-Al แนวแกน	69
3.16	ผลการทดสอบความแข็งวัสดุผสม SiC/C-Al แนวแกนและวัสดุผสม SiC/C-Al แนวรัศมีเปรียบเทียบกับวัสดุในเชิงพาณิชย์	71
3.17	ลักษณะข้อมูลแบบสุ่ม	73
3.18	การกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution)	73
3.19	กราฟแสดงลักษณะข้อมูล Residuals versus the fitted values	74
3.20	แสดงค่าของ Test for Equal Variances	75