

การศึกษากระบวนการชินเทอร์ริงซิลิกอนคาร์ไบด์



นางสาว จุฑามาส จิตต์เจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2536

ISBN 974-583-521-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019580 I16265981

**STUDY OF SILICON CARBIDE SINTERING PROCESS**



**MISS JUTHAMAS CHITCHAROEN**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science  
Department of Material Science  
Graduate School  
Chulalongkorn University**

**1993**

**ISBN 974-583-521-8**

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษากระบวนการขึ้นเทอร์ริงซิลิกอนคาร์ไบด์

โดย

นางสาวจุฑามาส จิตต์เจริญ

ภาควิชา

วัสดุศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา


รองศาสตราจารย์ ปรีดา พิมพ์ขาวซ่า

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร.นงลักษณ์ ปานเกิดดี



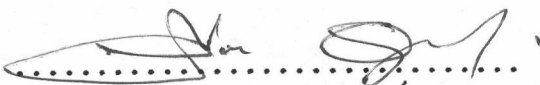
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรากิจ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



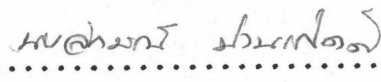
ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา)



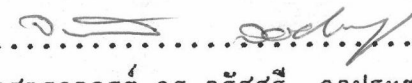
อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ปรีดา พิมพ์ขาวซ่า)



อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร. นงลักษณ์ ปานเกิดดี)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.จรัสศรี ลอประชูร)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)



จุฬามาส จิตต์เจริญ : การศึกษากระบวนการซินเทอร์ริงซิลิกอนคาร์ไบด์  
(STUDY OF SILICON CARBIDE SINTERING PROCESS) อ. ที่ปรึกษา :

รศ.ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. คร.นงลักษณ์ ปานเกิดดี, 128 หน้า. ISBN 974-583-521-8

ศึกษากระบวนการซินเทอร์ริงซิลิกอนคาร์ไบด์ โดยวิธี Hot press โดยศึกษาตัวเติมที่ช่วยในการซินเทอร์ริงคือโบรอนผสมคาร์บอน อัตราส่วน 1:5 โมล ในปริมาณร้อยละ 1.5 ถึง 4 โดยน้ำหนัก และอะลูมิน่าในปริมาณร้อยละ 1 ถึง 5 โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณตัวเติมที่เหมาะสมในการซินเทอร์ริงโดยใช้ตัวเติมโบรอนผสมคาร์บอน คือ ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก ส่วนที่ใช้ตัวเติมอะลูมิน่า คือ ร้อยละ 2 ถึง 3 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิสูงสุดที่เหมาะสมในการซินเทอร์ริงอยู่ในช่วง 2,050 °C ถึง 2,150 °C และช่วงเวลาในการรักษาอุณหภูมิสูงสุดขึ้นกับชิ้นงานว่าต้องการเน้นสมบัติทางด้านใด ชิ้นงานที่ซินเทอร์ริงโดยใช้ตัวเติมโบรอนผสมคาร์บอน ให้ค่าความหนาแน่นและความแข็งสูง คือ ความหนาแน่นสูงสุดถึงร้อยละ 99.77 ของความหนาแน่นตามทฤษฎี และค่าความแข็งสูงสุด คือ 3479.66 HV ส่วนชิ้นงานที่ใช้ตัวเติมอะลูมิน่าจะให้ค่าความเค้นแรงดัดโค้ง (bending strength) สูงคือประมาณ 63 ถึง 67 kgf/mm<sup>2</sup> และมีขนาดเกรนละเอียดกว่าที่ใช้ตัวเติมโบรอนและคาร์บอน

ภาควิชา .....วัสดุศาสตร์.....  
สาขาวิชา .....เทคโนโลยีเซรามิก.....  
ปีการศึกษา ..... 2536.....

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## C425867 : MAJOR MATERIAL SCIENCE  
KEY WORD: SiC/ Sintering/ Hot press

JUTHAMAS CHITCHARROEN : STUDY OF SILICON CARBIDE SINTERING PROCESS.

THESIS ADVISOR : Assoc. Prof. Preeda Pimkhaokham. B.Sc. THESIS

CO-ADVISOR ; NONGLUCK PANKURDDEE. Ph.D. 128 PP. ISBN 974-583-521-8

The hot press method was adopted to study silicon carbide sintering process. The additives were boron-carbon mixture and alumina in amount of 1.5-4 wt% (ratio B:C = 5:1 mol) and 1-5 wt% respectively. It was found that the sample contained 2.5 wt% boron-carbon mixture and 2-3 wt% alumina, sintered at the temperature of 2,050-2,150 °C showed the outstanding properties. The soaking time is depend on defined properties for application. The SiC with addition of boron and carbon has the density as high as 99.77 % of theoretical density and the hardness of 3,479.66 HV. For alumina addition, the bending strength of 63-67 kgf/mm<sup>2</sup> was obtained and the grain size was also finer.



ภาควิชา..... วัสดุศาสตร์.....

สาขาวิชา..... เทคโนโลยีเซรามิก.....

ปีการศึกษา..... 2536.....

ลายมือชื่อนิสิต..... ฐิตามาส ชิตชาโรน.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... Preeda Pimkhaokham.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... Nongluck Pankurddee.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือและสนับสนุนจาก ดร.ลดาวัลย์ โชติมงคล ผู้อำนวยการสาขาวิจัยอุตสาหกรรมโลหะและเซรามิก ดร.เนงลักษณ์ ปานเกิด หัวหน้าห้องปฏิบัติการเซรามิก สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และ รองศาสตราจารย์ปรีดา พิมพ์ขาวชา อาจารย์ประจำภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอขอบพระคุณอย่างสูงที่กรุณาให้ คำแนะนำ ปริญญา อนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย และ ตรวจสอบรายงานการวิจัยจนสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณศิริพร ลากเกียรติถาวร คุณเรวัฒน์ เหล่าไพบูลย์ คุณเสริมเกียรติ กลุโกวิท คุณพิสุทธิ์ จุลฤกษ์ คุณรุจิภรณ์ นาคชุนทด คุณวิเชียร เอี่ยมโหมด และพี่ๆ ทุกคนที่ สาขาวิจัยอุตสาหกรรมโลหะและเซรามิก สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำ สนับสนุนงานวิจัยนี้โดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณสรวิณี จุฑะพงศ์ ที่ให้คำแนะนำและเป็นกำลังใจให้เสมอ

ขอขอบคุณ อาจารย์ประจำภาควิชาวัสดุศาสตร์ ทุกท่านที่ได้เป็นกำลังใจและให้ คำแนะนำปรึกษา เกี่ยวกับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ กองฟิลิกส์ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ศูนย์เครื่องมือวิจัยทาง วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และคุณแสงโรจน์ กววงษ์ศักดิ์ ผู้จัดการ บริษัท Material Lab จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบตัวอย่าง และให้คำปรึกษา เกี่ยวกับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณอารีย์ ภูไพบูลย์ คุณสุจาริณี คชวัฒน์ และเพื่อนๆ ปรียญาโททุกคน ที่ ให้คำแนะนำและเป็นกำลังใจให้เสมอ

ขอขอบคุณ คุณปัญญา เกตพันธ์ ที่ช่วยพิมพ์วิทยานิพนธ์นี้จนสมบูรณ์

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนในการทำ วิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่งต่อ บิดา มารดา และคุณย่า ผู้ซึ่งให้ความ เมตตา กรุณาเป็นกำลังใจ ให้การศึกษาของผู้เขียน สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญภาพ .....	ฎ

บทที่ 1 บทนำ

- ความเป็นมาของปัญหา .....	1
- การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	2
- วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	6
- ขอบเขตของการวิจัย .....	6
- สถานที่ทำการวิจัย .....	6
- วิธีดำเนินการวิจัย .....	7
- ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	7

บทที่ 2 ทฤษฎี

- ซิลิกอนคาร์ไบด์ .....	8
- กระบวนการขึ้นรูปและการเผาขึ้นเทอร์ริง .....	13
- การศึกษาและรวบรวมวิธีการวิเคราะห์ทดสอบและคุณสมบัติ .....	20
- การใช้ประโยชน์ .....	22
- การศึกษาการกระจายตัวของตัวเติมในซิลิกอนคาร์ไบด์ .....	24

บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย

- วิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบ .....	28
- ศึกษากระบวนการเตรียมชิ้นงาน .....	29
- การหาสภาวะที่เหมาะสมในการบดผสมสารและตัวเติม .....	32
- ศึกษาการขึ้นรูปชิ้นงานโดย Hot Press .....	34
- การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติชิ้นงานที่เตรียมได้ .....	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	
- การวิเคราะห์สมบัติของวัสดุคืบ .....	44
- การศึกษากระบวนการเตรียมชิ้นงาน .....	54
- ศึกษาวิธีบดผสมเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม .....	54
- ศึกษาการกระจายตัวของอะลูมิน่าในซิลิกอนคาร์ไบด์ .....	54
- ศึกษาการกระจายตัวของโบรอนในซิลิกอนคาร์ไบด์ .....	58
- ศึกษาการขึ้นรูปชิ้นงานโดย Hot Press .....	63
- ศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอนและเลือก Profile ที่เหมาะสมในการขึ้นเทอร์ริง .....	63
- ศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวเติมอะลูมิน่าและเลือก Profile ที่เหมาะสมในการขึ้นเทอร์ริง .....	93
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	
- สรุปผลการทดลอง .....	108
- ข้อเสนอแนะ .....	109
<b>บรรณานุกรม .....</b>	<b>110</b>
<b>ภาคผนวก .....</b>	<b>116</b>
<b>ประวัติผู้เขียน .....</b>	<b>128</b>



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	สมบัติของผงซิลิกอนคาร์ไบด์ ..... 9
2	สมบัติของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ ..... 17
3	องค์ประกอบของสารตัวเติมที่ใช้โบรอนและคาร์บอนเป็นตัวเติม ในอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อโบรอน 5 : 1 โมล ..... 31
4	องค์ประกอบของสารตัวอย่างที่ใช้อะลูมิน่าเป็นตัวเติม ..... 32
5	ขนาดอนุภาคของวัตถุดิบ ..... 45
6	ASTM X-RAY DIFFRACTIONS ของเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ ..... 51
7	ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของอะลูมิน่าในซิลิกอนคาร์ไบด์ โดยวิธี NAA .... 55
8	ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของโบรอนในซิลิกอนคาร์ไบด์ โดยวิธี PGNA เมื่อแปรค่าเวลาในการบด ..... 59
9	ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของโบรอนในซิลิกอนคาร์ไบด์ โดยวิธี PGNA เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวเติม เมื่อใช้เวลาในการบด 60 นาที ..... 60
10	สมบัติต่างๆ ของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอน Hot Press ด้วย Profile a ..... 63
11	สมบัติต่างๆ ของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอน Hot Press ด้วย Profile b ..... 64
12	เฟสต่างๆ ของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอน หลัง Hot Press ..... 75
13	สมบัติต่างๆ ของชิ้นงาน Hot Press ซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอน และคาร์บอน ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก เมื่อแปรค่าอุณหภูมิ ..... 79
14	สมบัติต่างๆ ของชิ้นงาน Hot Press ซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอน และคาร์บอนร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก เมื่อแปรค่าเวลาช่วงรักษาอุณหภูมิสูงสุด ... 84
15	สมบัติต่างๆ ของชิ้นงาน Hot Press ซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอน และคาร์บอน เมื่อแปรค่าปริมาณตัวเติม Hot Press ด้วย Profile a ช่วงรักษาอุณหภูมิสูงสุดเป็น 15 นาที ..... 89
16	สมบัติต่างๆ ของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมิน่า Hot Press ด้วย Profile a ..... 94
17	สมบัติต่างๆ ของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมิน่า Hot Press ด้วย Profile c ..... 94

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	เฟสต่างๆ ของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมินา หลัง Hot Press ....	103
19	Specification เครื่อง Hot Press High Multi 500 Fv PHP - R - 5 - FRET - 25 .....	121
20	ประโยชน์ของเครื่อง X - Ray Diffractrometer .....	126



สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีขายในท้องตลาด .....	23
2 การเกิดรังสีแกมมาแบบ Prompt Gamma - Ray .....	27
3 แผนภูมิการขึ้นเทอร์ริงสารซิลิกอนคาร์ไบด์ .....	30
4 Profile ที่ใช้ในการ Hot Press .....	35
5 Profile ที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการขึ้นเทอร์ริง ด้วย Hot Press .....	38
6 Profile ที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของเวลาช่วงรักษาอุณหภูมิสูงสุด ในการขึ้นเทอร์ริงด้วย Hot Press .....	39
7 ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ทดสอบความเค้นแรงตัดโค้ง .....	41
8 ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ทดสอบความแข็ง .....	43
9 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ .....	46
10 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคอะลูมิน่า .....	46
11 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคคาร์บอน .....	47
12 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของโบรอน .....	47
13 จุลโครงสร้างของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง .....	49
14 X-Ray Diffraction Pattern ของวัตถุดิบ .....	52
15 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ก่อนบดผสม .....	56
16 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมิน่า หลังบดผสม 30 นาที .....	57
17 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมิน่า หลังบดผสม 45 นาที .....	57
18 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมิน่า หลังบดผสม 60 นาที .....	58
19 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอน และคาร์บอน หลังบดผสม 30 นาที .....	61
20 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอน และคาร์บอน หลังบดผสม 45 นาที .....	61
21 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคเบต้าซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอน และคาร์บอน หลังบดผสม 60 นาที .....	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
22	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอนของซิลิกอนคาร์ไบด์ Hot Press โดยใช้ Profile a และ b ..... 65
23	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นร้อยละของความหนาแน่นตามทฤษฎีกับปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอนของซิลิกอนคาร์ไบด์ Hot Press โดยใช้ Profile a และ b ..... 65
24	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอนของ Hot Press ซิลิกอนคาร์ไบด์ โดยใช้ Profile a และ b ..... 67
25	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นแรงดัดโค้งกับปริมาณตัวเติมโบรอนและคาร์บอนของซิลิกอนคาร์ไบด์ Hot Press โดยใช้ Profile a และ b ..... 69
26	จุลโครงสร้างของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอน Hot Press ด้วย Profile a ..... 71
27	จุลโครงสร้างของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอน Hot Press ด้วย Profile b ..... 73
28	X-Ray Diffraction Pattern ของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอนร้อยละ 2.5 ..... 76
29	X-Ray Diffraction Pattern ของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอนร้อยละ 4 ..... 77
30	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอนุกรมมิซินเทอร์ริงของ Hot Press ซิลิกอนคาร์ไบด์ ..... 80
31	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นร้อยละของความหนาแน่นตามทฤษฎีกับอนุกรมมิซินเทอร์ริงของ Hot Press ซิลิกอนคาร์ไบด์ ..... 80
32	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับอนุกรมมิซินเทอร์ริงของ Hot Press ซิลิกอนคาร์ไบด์ ..... 81
33	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นแรงดัดโค้งกับอนุกรมมิซินเทอร์ริงของ Hot Press ซิลิกอนคาร์ไบด์ ..... 82
34	จุลโครงสร้างของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอนร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก Hot Press ด้วย Profile a แปรค่าอนุกรมมิซินเทอร์ริงสูงสุด ..... 83

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
35	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับเวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดในการขึ้นเทอร์ริง ..... 85
36	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นร้อยละของความหนาแน่นตามทฤษฎีกับเวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดในการขึ้นเทอร์ริง ..... 86
37	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับเวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดในการขึ้นเทอร์ริง ..... 86
38	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นแรงตัดโค้งกับเวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดในการขึ้นเทอร์ริง ..... 87
39	จุดโครงสร้างของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมโบรอนและคาร์บอนแปรค่าเวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุด ในการ Hot Press ..... 88
40	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับปริมาณตัวเติม เมื่อใช้เวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดในการ Hot Press เป็น 15 นาที ..... 90
41	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นร้อยละของความหนาแน่นตามทฤษฎีกับปริมาณตัวเติม เมื่อใช้เวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุด ในการ Hot Press เป็น 15 นาที ..... 90
42	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณตัวเติม เมื่อใช้เวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดในการ Hot Press เป็น 15 นาที ..... 91
43	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นแรงตัดโค้งกับปริมาณตัวเติม เมื่อใช้เวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดในการ Hot Press เป็น 15 นาที ..... 91
44	จุดโครงสร้างของชิ้นงาน Hot Press ซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ใช้เวลาช่วงที่รักษาอุณหภูมิสูงสุดเป็น 15 นาที เมื่อแปรค่าปริมาณตัวเติม ..... 92
45	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับปริมาณตัวเติมอะลูมินาของซิลิกอนคาร์ไบด์ Hot Press โดยที่ใช้ Profile a และ c ..... 96
46	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นร้อยละของความหนาแน่นตามทฤษฎีกับปริมาณตัวเติมอะลูมินาของซิลิกอนคาร์ไบด์ Hot Press โดยที่ใช้ Profile a และ c .. 96
47	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณตัวเติมอะลูมินาของซิลิกอนคาร์ไบด์ Hot Press โดยที่ใช้ Profile a และ c ..... 97

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
48 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นแรงดัดโค้งกับปริมาณตัวเติมอะลูมินาของ ซิลิกอนคาร์ไบด์ Hot Press โดยใช้ Profile a และ c .....	99
49 จุลโครงสร้างของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมินา Hot Press ด้วย Profile a .....	100
50 จุลโครงสร้างของชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมตัวเติมอะลูมินา Hot Press ด้วย Profile c .....	101
51 X-Ray Diffraction Pattern ของชิ้นงาน Hot Press ซิลิกอนคาร์ไบด์ ผสมตัวเติมอะลูมินาร้อยละ 2 .....	103
52 X-Ray Diffraction Pattern ของชิ้นงาน Hot Press ซิลิกอนคาร์ไบด์ ผสมตัวเติมอะลูมินาร้อยละ 4 .....	105
53 เครื่อง Shimadzu Centrifugal Particle Size Analyzer Model SA - CP3 .....	117
54 เครื่อง FRITSCH Planetary Mixer & Mill .....	118
55 หม้ออบและลูกบดทั้งสแตนคาร์ไบด์ .....	119
56 เครื่อง Hot Press High - Multi 500 FV PHP-R-5 FRET-25 .....	120
57 แม่พิมพ์คาร์บอนในการ Hot Press .....	120
58 เครื่องทดสอบความแข็ง ISOSCAN Plus Micro-Hardness Testers .....	122
59 เครื่อง High Precision Machine .....	123
60 เครื่อง Scanning Electron Microscope .....	124
61 เครื่อง X - Ray Diffractometer XD - 610 .....	125
62 เครื่อง SHIMADZU UNIVERSAL TESTING MACHINE .....	127