

วิธีการเตรียมและขึ้นรูปอลูมินา เซรามิกสำหรับฉนวนหัวเทียน
ด้วยวิธีโคลด์โครอสเททิก เพรสซิง

นาย สุรศักดิ์ ไชยวงษ์สกุล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2538

ISBN 974-632-826-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION AND FORMING OF ALUMINA CERAMIC FOR SPARK PLUG INSULATOR
BY COLD ISOSTATIC PRESSING

Mr. Surasak Waitayawongskul

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

1995

ISBN 974-632-826-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์ **วิธีการเตรียมและขึ้นรูปอลูมินาเซรามิกสำหรับฉนวนหัวเทียนด้วย**

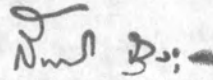
วิธีเคลือบไฮดรอกไซด์เพอร์สเฟอไรต์

โดย **นาย สุรศักดิ์ ไททองศรีสกุล**

ภาควิชา **วัสดุศาสตร์**

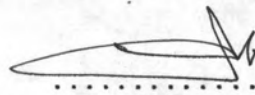
อาจารย์ที่ปรึกษา **ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เล็ก อุคคมะศิริ**

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

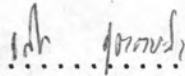


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ อุงสุวรรณ)

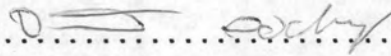
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



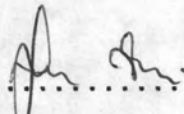
..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วีระศักดิ์ อุคมกิจเคหา)



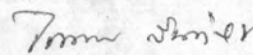
..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เล็ก อุคคมะศิริ)



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. จรัสศรี ลอประชูร)



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุัทธา จินนากรณ์)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไทพรรณ สันติสุข)

สุรศักดิ์ ไทยวงศ์สกุล : วิธีการเตรียมและขึ้นรูปอลูมินาเซรามิกสำหรับฉนวนหัวเทียนด้วยวิธี
โคลด์ไอโซสแตติกเพรสซิ่ง : (PREPARATION AND FORMING OF ALUMINA CERAMIC FOR
SPARK PLUG INSULATOR BY COLD ISOSTATIC PRESSING) อ. ที่ปรึกษา :
ผศ. ดร. เล็ก อุตตะมะศิริ, 115 หน้า. ISBN 974-632-826-3

การวิจัยครั้งนี้มีจุดหมายเพื่อศึกษาผลของตัวแปร 2 ตัวที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปอลูมินาเซรามิก
สำหรับฉนวนหัวเทียนด้วยวิธีโคลด์ไอโซสแตติกเพรสซิ่ง คือความดันในการขึ้นรูปและอุณหภูมิในการเผาที่มีต่อ
โครงสร้างและสมบัติต่างๆ อันได้แก่ความแข็งแรง, ความต้านทานไฟฟ้าและความแข็งแรงทางไดอิเล็กตริก

ผลการวิจัยพบว่า การเพิ่มความดันในการขึ้นรูป และ/หรือ อุณหภูมิในการเผาจะทำให้ผลิตภัณฑ์
มีความหนาแน่นสูงขึ้นและปริมาณรูพรุนลดลง ซึ่งจะช่วยให้สมบัติต่างๆ ที่กล่าวมาดีขึ้น แต่ในทางตรงกัน
ข้ามก็จะทำให้ขนาดของเกรนใหญ่ขึ้น ซึ่งจะช่วยให้สมบัติต่างๆ ดังกล่าวด้อยลงไปเช่นเดียวกัน ดังนั้นเพื่อให้ได้
ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด จึงควรจะใช้ความดันในการขึ้นรูปที่ต่ำ คือประมาณ 100 เมกะปาสกาล แล้วจึงเผาที่
อุณหภูมิปานกลาง ประมาณ 1600 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นสูงถึงร้อยละ 97.65
ของความหนาแน่นทางทฤษฎี, ปริมาณรูพรุนร้อยละ 2.564 และการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.687 ในขณะที่ขนาด
ของเกรนโดยเฉลี่ยประมาณ 3 ไมครอน

ภาควิชา วัสดุศาสตร์
สาขาวิชา เทคโนโลยีเซรามิก
ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต *วิศห์ โย*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 1/2
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C527074 : MAJOR CERAMIC TECHNOLOGY

KEY WORD: ALUMINA / SPARK PLUG INSULATOR / COLD ISOSTATIC PRESSING
SURASAK WAITAYAWONGSKUL : PREPARATION AND FORMING OF ALUMINA
CERAMIC FOR SPARK PLUG INSULATOR BY COLD ISOSTATIC PRESSING.
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. LEK UTTAMASIL, Ph.D. 115 pp.
ISBN 974-632-826-3

The purpose of this investigation is to study effect of two factors, namely forming pressure and sintering temperature in producing alumina ceramic for spark plug insulator by cold isostatic pressing. These parameters which affect on microstructure and also certain properties such as strength, electric resistance and dielectric strength.

The result of this research show that increasing pressure and/or sintering temperature will increase density and decrease porosity of product which render good properties, increasing grain size will lower the properties. The suitable condition for the best quality of products will be low pressure approximately 100 megapascal and 1600 celcius degree sintering temperature. At these condition, density will be 97.65 percent of theoretical density, porosity 2.564 percent, water absorption 0.687 and average grain size is approximate 3 micron.

ภาควิชา วัสดุศาสตร์

สาขาวิชา เทคโนโลยีเซรามิก

ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อผู้นิสิต *สิริวิภา วัฒน*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *เลก ๒*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



กิตติกรรมประกาศ

ในการหาวิทยานิพนธ์เรื่องนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานทดลอง อาทิเช่น

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คร. เล็ก อุดมมะสิล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
- รองศาสตราจารย์ คร. จรัสศรี ลอประยูร, รองศาสตราจารย์ คร. สุพิศรา จินาวัดน์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไทพรธณ สันติสุข อาจารย์ประจำภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- อาจารย์วีระพันธ์ รังสีประภาวิจิตร อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- เจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่าน
- เจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการและฝ่ายห้องทดลองภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่าน
- คุณวรรณา ค.แสงจันทร์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กองการวิจัยกรมวิทยาศาสตร์บริการ
- บริษัท ลอกซ์เลย์ จำกัด

และท้ายที่สุด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ซึ่งได้สนับสนุนทั้งในการเงินและกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนถึงวันนี้

สุรศักดิ์ ไชยวงษ์สกุล

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ค
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ฆ
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
1 บทนำ	1
2 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการวิจัย	3
2.1 สมบัติของ เนื้อฉนวนหัวเทียน	3
2.2 วิวัฒนาการของ เนื้อวัสดุที่ใช้ทำฉนวนหัวเทียน	6
2.3 การขึ้นรูปฉนวนหัวเทียน	9
2.4 อลูมินา	15
2.5 งานวิจัยที่ผ่านมา	21
3 การทดลอง	29
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	29
3.2 วัตถุประสงค์	31
3.3 เนื้อตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้	34
3.4 วิธีการทดลอง	35

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลองและบทวิเคราะห์	43
4.1 อิทธิพลของสารช่วยในการกระจายลอยตัวที่มีต่อการไหลตัวของสเลอรี	43
4.2 การวิเคราะห์หึ่งตัวอย่าง	45
4.3 ผลของความดันในการขึ้นรูปที่มีต่อตัวอย่าง	52
4.4 ผลของอุณหภูมิในการเผาที่มีต่อตัวอย่าง	56
5 สรุปผลการทดลอง	72
รายการอ้างอิง	74
ภาคผนวก	78
ก. ผลวิเคราะห์ทาง เคมีและโครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์ ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	79
ข. ภาพแสดงลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองบางชนิด	83
ค. มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติต่างๆ	90
ประวัติผู้เขียน	115

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
1.1	มูลค่าการนำเข้าและการส่งออกผลิตภัณฑ์หัตถ์เขียนในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2532 ถึง 2534	1
2.1	สมบัติบางประการของฉนวนไฟฟ้าเนื้ออลูมินาปริมาณสูง	8
2.2	ความดันและปริมาณน้ำที่เข้าในการขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ	10
2.3	ความหนาแน่นทางทฤษฎีของอัลฟาอลูมินา	16
2.4	การแบ่ง เกรดของอลูมินาทางการค้า	20
2.5	การนำไฟฟ้าของอลูมินาที่ 1600 องศาเซลเซียส	25
2.6	ผลของความดันออกซิเจนในการเผาไหม้ต่อการนำไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์ของอลูมินา ...	26
3.1	ลักษณะทั่วไปของอลูมินาแคลเซียม เกรด เอ 14	32
3.2	ลักษณะทั่วไปของคินชาวปราจีน	33
4.1	ความหนืดของสเลอรี เมื่อเติมสารช่วยการกระจายลอยตัวที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน	44
4.2	ลักษณะบางอย่างของผงตัวอย่าง	46
4.3	เปรียบเทียบปริมาณออกไซด์ที่สำคัญบางตัวระหว่างค่าที่คำนวณได้กับผงตัวอย่างที่เตรียมขึ้นจริง	48
4.4	ความหนาแน่นของขึ้นตัวอย่างก่อนเผา เมื่อใช้ความดันในการขึ้นรูปต่างกัน	55
4.5	ร้อยละของการหดตัวของตัวอย่างที่ขึ้นรูปและ เผาที่ความดันและอุณหภูมิต่างๆ กัน	60
4.6	ร้อยละของความหนาแน่นทางทฤษฎีของตัวอย่างที่ขึ้นรูปและ เผาที่ความดันและอุณหภูมิต่างๆ กัน	61
4.7	ร้อยละของปริมาณรูพรุนในเนื้อตัวอย่างที่ขึ้นรูปและ เผาที่ความดันและอุณหภูมิต่างๆ กัน	62

ตารางที่

หน้า

4.8	ร้อยละของการดูดซึมน้ำของตัวอย่างที่ขึ้นรูปและ เผาที่ความดัน และอุณหภูมิต่างๆ กัน	63
4.9	ค่าโมดูลัสของการแตกหักของตัวอย่างที่ขึ้นรูปและ เผาที่ความดัน และอุณหภูมิต่างๆ กัน	68
4.10	ความต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่างที่ขึ้นรูปและ เผาที่ความดัน และอุณหภูมิต่างๆ กัน	70
4.11	ความแข็งแรงทางโคอี เลกทริกของตัวอย่างที่ขึ้นรูปและ เผา ที่ความดันและอุณหภูมิต่างๆ กัน	71
ก.1	ผลวิเคราะห์ปริมาณของอลูมินาและซิลิกาของชิ้นส่วนของฉนวนหัวเทียน บางยี่ห้อที่มีจำหน่ายภายในประเทศโดย เครื่อง เอกซ์เรย์ฟลูออ เรสเซนซ์ แบบกระจายพลังงาน	79

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การขึ้นรูปด้วยวิธีให้แรงอัด เท่ากันทุกทิศทางหรือโคลด์ไอโซสเทติก เพรสซิ่ง	12
2.2	แผนผังการขึ้นรูปด้วยวิธีการให้แรงดัน เท่ากันทุกทิศทาง หรือโคลด์ไอโซสเทติก เพรสซิ่ง	13
2.3	โครงสร้างของอัลฟาอะลูมินา	15
2.4	กระบวนการ เบเยอร์	17
2.5	ลำดับการ เปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของอะลูมินาที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ	18
2.6	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการลดลงของความต้านทานไฟฟ้าของ เนื้อ เซรามิก ที่เป็นออกไซด์บางชนิด	21
2.7	การนำไฟฟ้าของอะลูมินาที่เป็นผลึกผง	22
2.8	อิทธิพลของขนาดของ เกรนของอะลูมินาบริสุทธิ์ที่เผาที่ความดันออกซิเจน 10^{-4} และ 10^5 ปาสกาลที่มีต่อความต้านทานไฟฟ้า	24
2.9	อิทธิพลของขนาด เกรนของอะลูมินาที่เจือปนด้วยไททาเนียม 500 ส่วนในล้านส่วน ที่เผาที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียสที่มีต่อความต้านทานไฟฟ้า	25
2.10	การนำไฟฟ้าของอะลูมินาที่เจือปนด้วยซิลิกอน 150 ส่วนในล้านส่วนที่เผาที่อุณหภูมิ 1500 และ 1600 องศาเซลเซียสและหึ่งไว้ที่อุณหภูมิตั้งกล่าวภายใต้บรรยากาศ ที่ความดันออกซิเจน 10^{-4} และ 10^5 ปาสกาล หึ่งที่มีการป้องกันการแพร่ของ สิ่งสกปรกและน้ำมี	27
3.1	แผนผังการทดลองครั้งนี้	36
3.2	ลักษณะของชิ้นงานที่ขึ้นรูปแล้ว	40
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดกับสารช่วยการกระจายลอยตัว	44
4.2	แสดงการ เกิดอิเล็กทริกคัปเปิล เลเยอร์ที่ผิวของอนุภาคและศักย์ไฟฟ้าที่ลดลง	45

รูปที่	หน้า
4.3	ภาพถ่ายอนุภาคผงตัวอย่างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่ค่าลึงชยาย 5000 เท่า 47
4.4	ผลวิเคราะห์ทางแร่ของผงตัวอย่างด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟเฟรคโทมิเตอร์ 49
4.5	ผลวิเคราะห์ทางความร้อนของผงตัวอย่าง 51
4.6	แผนภูมิการเผาขึ้นงานที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส 52
4.7	ภาพถ่ายผิวรอยแตกของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยความดันต่าง ๆ กัน 53,54
4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นทางทฤษฎีของชิ้นตัวอย่างก่อนเผากับ ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูป 55
4.9	การอัดตัวของอนุภาคขนาดเล็กลงในช่องว่างระหว่างอนุภาคขนาดใหญ่ 56
4.10	ผลวิเคราะห์ทางแร่ของตัวอย่างที่ขึ้นรูปด้วยความดัน 250 เมกะปาสกาลและเผา ที่อุณหภูมิต่าง ๆ 57,58
4.11	แผนภาพสมดุลระหว่างอุณหภูมิกับซิลิกาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1400 องศาเซลเซียส ... 59
4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปและอุณหภูมิในการเผากับ ร้อยละของการหดตัวของตัวอย่าง 60
4.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปและอุณหภูมิในการเผากับ ร้อยละของความหนาแน่นทางทฤษฎีของตัวอย่าง 61
4.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปและอุณหภูมิในการเผากับ ร้อยละปริมาณรูพรุนของตัวอย่าง 62
4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปและอุณหภูมิในการเผากับ ร้อยละของการดูดซึมน้ำของตัวอย่าง 63
4.16	ภาพถ่ายผิวรอยแตกของชิ้นงานที่ขึ้นรูปที่ความดัน 100 และ 250 เมกะปาสกาล และเผาที่อุณหภูมิ 1500 และ 1650 องศาเซลเซียส 65,66
4.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปและอุณหภูมิในการเผากับ ค่าโมดูลัสของการแตกหักของตัวอย่าง 68
4.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปและอุณหภูมิในการเผากับ ความต้านทานไฟฟ้าของตัวอย่าง 70

รูปที่	หน้า
4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่เข้าในการขึ้นรูปและอุณหภูมิในการ เผา กับ ความแข็งแรงทางโคอี เลกทริกของตัวอย่าง 71
ก.1	ภาพถ่ายผิวรอยแตกของผลิตภัณฑ์ข้อ ก 80
ก.2	ภาพถ่ายผิวรอยแตกของผลิตภัณฑ์ข้อ ข 80
ก.3	ภาพถ่ายผิวรอยแตกของผลิตภัณฑ์ข้อ ค 81
ก.4	ภาพถ่ายผิวรอยแตกของผลิตภัณฑ์ข้อ ฉ 81
ก.5	ภาพถ่ายผิวรอยแตกของผลิตภัณฑ์ข้อ ง 82
ข.1	เครื่องวัดความหนืดแบบรูคพิลล์ 83
ข.2	หม้อบดโพลิพรพิลีนและลูกบดลูมินา 83
ข.3	เครื่องชั่งอย่างละเอียด 84
ข.4	เครื่องวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาค 84
ข.5	เครื่องวัดขนาดพื้นที่ผิวตัวอย่าง 84
ข.6	เครื่องวัดอัตราการไหลของอนุภาคแบบซอล 85
ข.7	เครื่องหาความหนาแน่นหลังการ เคาะของอนุภาคแบบกระทบ 85
ข.8	เครื่อง เอกซ์เรย์ดิฟเฟร็กชัน 85
ข.9	เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุ 86
ข.10	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และ เครื่อง เอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ แบบกระจายพลังงาน 86
ข.11	เครื่องขึ้นรูปแบบให้แรงอัด เท่ากันทุกทิศทางแบบแม่เผาหรือ โคลด์ไอโซสเทติก เพรสซึ่งแบบเปียก 87
ข.12	เตาเผาตัวอย่าง 87
ข.13	เครื่องทดสอบแรงดึงและแรงกดของวัสดุ 88
ข.14	เครื่องดัดขึ้นตัวอย่างความเร็วรอบสูง 88
ข.15	เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้า 89
ข.16	เครื่องออยล์เทสเทอร์สำหรับวัดความแข็งแรงทางโคอี เลกทริก 89