

การใช้พลังงานไมโครเวฟในการอบแห้ง และการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

The Application of Microwave Energy in Drying, Calcining and Firing of Ceramics

รองศาสตราจารย์ปริดา พิมพ์ขาวขำ
ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์

ไมโครเวฟ (Microwave)

เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีคุณสมบัติดังนี้ คือ

ความยาวคลื่น 30 cm. – 0.3 mm.

ความถี่ $10^9 - 10^{12}$ cpm. (Hz.)

ได้มีการนำเอาไมโครเวฟมาใช้งานหลายด้าน เช่น

1. Radio Detection and Ranging (RADAR)

เริ่มใช้ตั้งแต่สมัยสงครามโลก ใช้ทางการทหาร ใช้ตรวจจับเครื่องบิน ปัจจุบันมีการใช้งานมากขึ้น เช่น ใช้ที่สนามบิน

2. Communication Links

การติดต่อสื่อสาร, การถ่ายทอดผ่านดาวเทียม

3. ใช้ในงานเฉพาะอื่น ๆ ได้แก่ (Specific application)

1) เตาไมโครเวฟ รู้จักกันดี สามารถใช้ทำอาหารเสร็จได้ในเวลารวดเร็ว

2) ใช้ในการศึกษา atomic และ Nuclear

3) ศึกษา electromagnetic radiation จากดวงอาทิตย์

4) Laser หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ultramicrowave

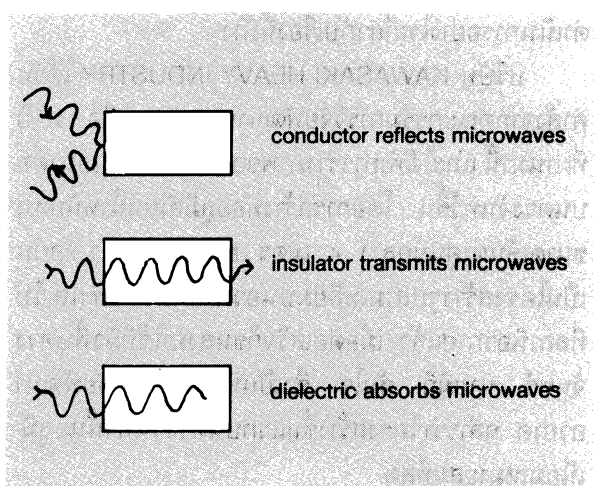
แรก ๆ อุตสาหกรรมเซรามิกส์เกี่ยวข้องกับไมโครเวฟ โดยเป็นผู้ผลิตส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไมโครเวฟ แต่ยังไม่มีการใช้ไมโครเวฟในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ จึงมีผู้คิดและเริ่มศึกษาทดลองใช้ไมโครเวฟ ในกระบวนการ

การผลิต ceramics 10 กว่าปีมาแล้วจนปัจจุบัน เช่น Jerome White ใช้ไมโครเวฟในการอบแห้งและการหลอมเหลว

Irving Chabinsky ใช้ไมโครเวฟในการลดการจมตัวของน้ำเนื้อดินปั้น

L.W. Tobin ใช้ไมโครเวฟในการเร่งอัตราการเผาแบบ

คุณสมบัติที่สำคัญของไมโครเวฟที่ทำให้นำมาใช้ งานได้ได้แก่ การทำให้เกิดการกระทำขึ้นภายใน (Interaction) ของวัสดุกับไมโครเวฟ



ค่าต่าง ๆ สำหรับสาร dielectric ซึ่งดูดกลืนพลังงานจากไมโครเวฟได้

Dielectric Properties

Dielectric constant	Σr
Loss tangent	$\tan \sigma$
Loss factor L.F.	$= \Sigma r \tan \sigma$
Skin depth δ	$= \frac{K}{F \tan \sigma \sqrt{\Sigma r}}$
Temperature rise per unit time	$= KE^2 \Sigma r \tan \sigma$

พลังงานที่ถูกดูดกลืน

$$P = kfE^2 \Sigma' / \Sigma_0 \text{ [w/cm}^3\text{]}$$

$P = W$ developed per cm^3 of material

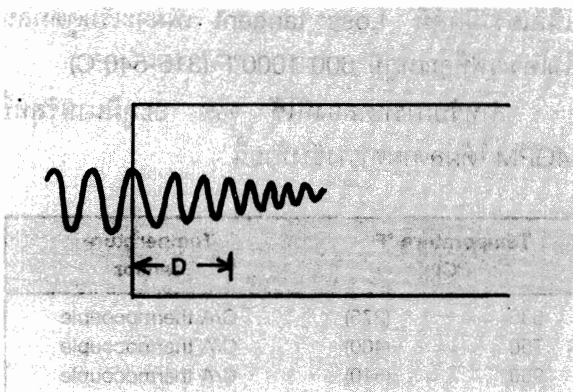
$f =$ frequency in cycles per second (Hertz)

$E =$ the magnitude of the field strength expressed in v/cm

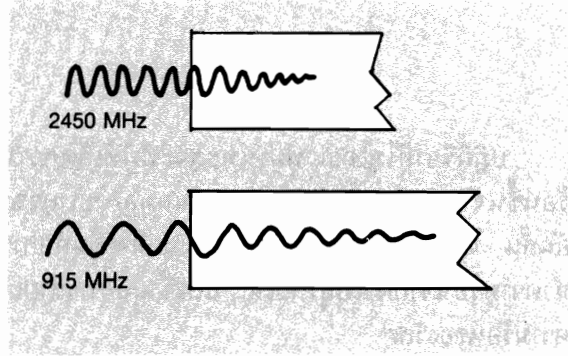
$\Sigma' / \Sigma_0 =$ dielectric loss factor which is a product of the dielectric loss \tan and the dielectric constant (Σ' / Σ_0)

สิ่งที่ควรพิจารณาคือ ระยะครึ่งของความลึกในแต่ละวัสดุที่ดูดกลืนไมโครเวฟแต่ละความถี่คำนวณได้จาก

$$D = \frac{3 \lambda_0}{8,686 \pi \tan \sigma \sqrt{\Sigma' / \Sigma_0}}$$



- $D =$ the depth of penetration cm
- $\lambda_0 =$ ความยาวคลื่น ใน free space in cm
- $\tan \sigma =$ dielectric loss tangent
- $\Sigma' / \Sigma_0 =$ dielectric



สำหรับน้ำ มี half power depth (D) ประมาณ 3 นิ้ว (76 mm) ที่ ความถี่ 915 MHz และประมาณ 1.5 นิ้ว (38 mm) ที่ ความถี่ 2450 MHz

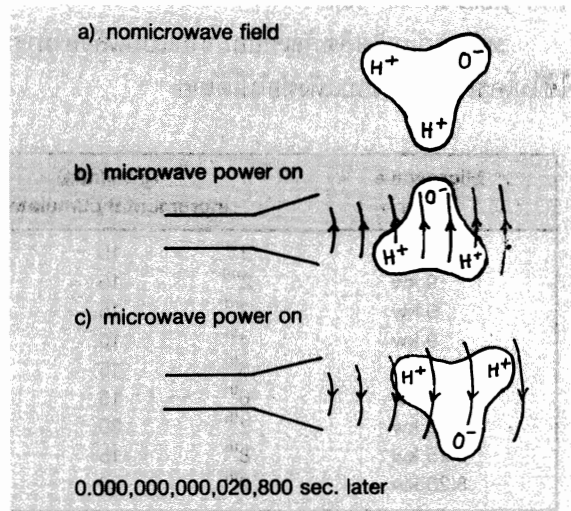
พลังงานที่เกิดขึ้นจะไม่มี การสูญเสียความร้อน เนื่องจากการนำ, การพา และการแผ่รังสี ความร้อน หรือ การเปลี่ยนสถานะ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากการดูดกลืนไมโครเวฟคำนวณได้จาก

$$\text{เมื่อ } \Delta T = \frac{f \Sigma' / \Sigma_0 E^2 \times 8 \times 10^{-12}}{CP} \text{ K/min}$$

$C =$ ความร้อนจำเพาะของวัสดุ

$P =$ ความหนาแน่นของวัสดุ g/cm^3

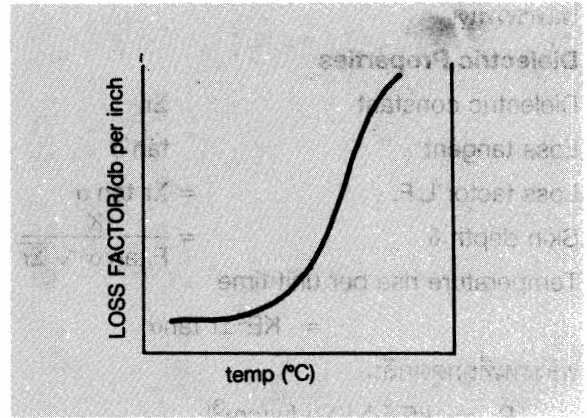
สำหรับโมเลกุลที่มีขั้ว เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนทิศไปตามทิศของสนามไฟฟ้า ทำให้โมเลกุลเกิดการหมุนจึงเกิดพลังงานจลน์ขึ้น เช่น น้ำ ซึ่งเป็นโมเลกุลมีขั้ว เมื่ออยู่ในสนามไมโครเวฟจะเกิดการหมุนพลังงานที่เกิดขึ้นจะคำนวณในรูปความร้อน



ปฏิกิริยาที่ไม่โครเวฟผ่านทะลุจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นจากภายในเนื้อวัสดุอย่างสม่ำเสมอภายในเวลาอันสั้น ในขณะที่การให้ความร้อนตามปกติจะขึ้นกับการนำความร้อนจากผิวไปสู่ภายใน และขึ้นกับการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ

สาร dielectric หลายชนิดจะดูดกลืนพลังงานไมโครเวฟเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และจะดูดกลืนเป็นปริมาณมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเช่นกัน

รูปด้านขวา เมื่อ Loss Factor เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น เป็นลักษณะ “Boot-strap”



การใช้ในการอบ (Application in Drying)

ใช้ไมโครเวฟควบคุมความชื้นของวัตถุดิบได้ที่อุณหภูมิ 140-150°F (60°C) โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 110-120°F (45°C)

นอกจากนี้ยังใช้พลังงานไมโครเวฟเร่งความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ที่ก่อตัวขึ้นที่ในแบบก่อนที่จะเหน้าเนื้อดินปั้นออกจากแบบ ความชื้นจะเคลื่อนตัวออกจากแบบไปสู่ภายนอก โดยที่การกระจายความชื้นจะสมดุลสามารถหล่อแบบได้อย่างต่อเนื่อง การใช้ไมโครเวฟจะลดเวลาหล่อแบบจาก 24 ชั่วโมง เหลือ 7 ชั่วโมง และเพิ่ม yield ได้ 40 - 50%

หลังจากแกะผลิตภัณฑ์ออกจากแบบแล้วสามารถใช้ไมโครเวฟในการอบแห้งต่อไปได้เลย

การเผือกอนุภาคโดยความร้อน (Sintering)

การเผือกอนุภาคโดยความร้อนโดยไมโครเวฟ บางที่ทำให้เกิดอัตราการหดตัวและการเติบโตของอนุภาคที่ก่อให้เกิดการแตก และคุณสมบัติที่ไม่ต้องการอื่น ๆ อีก อย่างไรก็ตามไมโครเวฟมีข้อดีทำให้การเผาเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

การเผา (Firing)

ที่อุณหภูมิห้อง สาร ceramics จะไม่ดูดกลืนพลังงานไมโครเวฟ แต่เซรามิกที่เป็นดิน, อะลูมินาที่ยังไม่ผ่านการเผามากจะมีตัวยึดเกาะซึ่งเป็นโมเลกุลที่สามารถดูดกลืนไมโครเวฟได้ที่อุณหภูมิต่ำทำให้เกิดความร้อน เมื่อเนื้อเซรามิกมี Loss tangent เพิ่มขึ้นจะเริ่มดูดกลืนไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 600-1000°F (315-540°C)

สำหรับการทดลองที่ใช้ 96% อะลูมินาบริสุทธิ์ 4GPM ได้ผลตามตารางข้างท้ายนี้

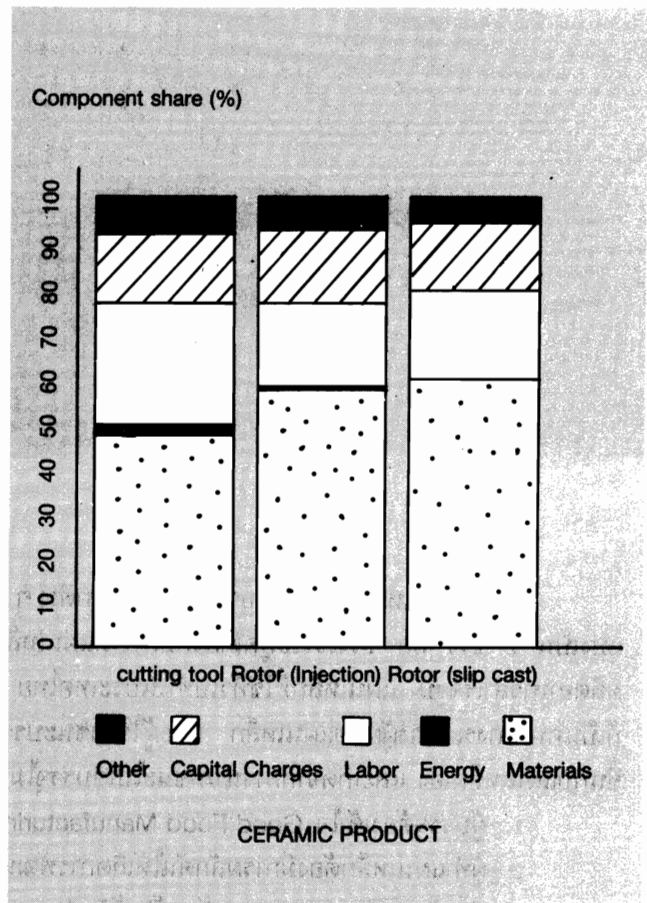
Microwave power	Time (min)		Temperature °F		Temperature sensor
	Incremental	cumulative	(°C)		
9 kw	1 st	15	15	535 (275)	C/A thermocouple
9 kw	2 nd	15	30	750 (400)	C/A thermocouple
9 kw	3 rd	15	45	950 (510)	C/A thermocouple
9 kw	4 th	15	60	1200 (650)	C/A thermocouple
9 kw	5 th	15	75	1650 (900)	C/A thermocouple
9 kw	6 th	15	90	2050 (1120)	thermocouple failed
9 kw	7 th	30	120	orange to yellow	visual
8.25 kw	8 th	15	135	yellow	visual
8.25 kw	9 th	30	165	yellow to white	visual

ปัญหาที่สำคัญในการใช้ไมโครเวฟ คือ การที่จะรักษาความร้อนที่เกิดขึ้นไม่ให้แผ่รังสีไป จึงมีการออกแบบและใช้วัสดุทำเตาและกล่องทนไฟทำให้สามารถใช้อุณหภูมิสูงถึง 3000°F (1650°C) ใช้ 200 Spark plug ใน 6.4 kw ความถี่ 2450 MHz 60 นาที ใช้พลังงานรวมประมาณ 8 kw

ขณะนี้เรากำลังเข้าสู่การใช้ไมโครเวฟในการผลิต ceramics โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อ

- 1) ความสามารถในการควบคุมกรรมวิธีการผลิตในโรงงาน เพื่อเพิ่มผลผลิต
- 2) ลดค่าใช้จ่ายในกรรมวิธีการผลิต
- 3) เพิ่มความสามารถในการผลิต
- 4) ได้อุณหภูมิที่สูงขึ้น

แต่ก็มีผู้ศึกษาถึงการใช้ไมโครเวฟจะช่วยประหยัดพลังงานได้หรือไม่ เนื่องจากการเกิดไมโครเวฟต้องใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งเปลี่ยนมาจากเชื้อเพลิงธรรมชาติอีกที ในขณะที่ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ทั่วไปได้รับความร้อนจากเชื้อเพลิงโดยตรง อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานกับด้านอื่น ๆ ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานนับว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับด้านอื่น ดังนั้นถ้าสามารถใช้ไมโครเวฟแล้วให้ผลดี ก็น่าจะศึกษาต่อไปเพื่อให้สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมได้



บรรณานุกรม

1. Irving J.Chabinsky, E.Eugene Eves 111, Wattham , U.S.A.; The application of Microwave Energy In Drying, Calcining and Firing of Ceramics ; Interceram No.6, 1986.
2. Greg Fisher ; Ceramic Producers Explore Microwave Processing ; Ceramic Industry , July, 1983.
3. Sujit Das , T.Randall Curlee ; Microwave Sintering of Ceramics. Can we save energy ? ; Ceramic Bulletin , Vol.66 , No.7 , 1987.
4. R.E. Collin , Foundations for Microwave Engineering ; International Student Edition.