เซรามิกเนื้ออะลูมินา กับคุณค่าที่น่าจับตามอง

ลดา พันธุ์สุขุมธนา

อะลูมินาเป็นองค์ประกอบของผิวโลกที่มีอยู่เป็นปริมาณมากในอันดับสองรองจากซิลิก้า อะลูมินานอกจากนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ แล้วยังนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมเซรามิกทั้งในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกแบบดั้งเดิม (Contional Ceramic) ที่มีอยู่ และผลิตภัณฑ์เซรามิกสมัยใหม่ (New Ceramic)

โดยทั่วไปเซรามิกเนื้อพอร์ซเลน จะมีอะลูมินาที่ปนมากับวัตถุดิบต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบอยู่แล้ว เช่น ดิน แร่ฟันม้า ซึ่งเมื่อเผาจนเนื้อแกร่งเป็นพอร์ซเลน อะลูมินาจะรวมตัวกับซิลิกาเกิดเป็นมัลไลท์ ($3Al_2O_3.2SiO_2$) ให้ความแข็งแกร่งกว่าเนื้อพอร์ซเลน การเพิ่มปริมาณอะลูมินาในเนื้อโดยการเติมผงอะลูมินาบริสุทธิ์ซึ่งสกัดจากแร่ในธรรมชาติ จนเกินอัตราส่วนที่จะเกิดเป็นมัลไลท์จะทำให้เหลือเป็นคอร์รันดัมอิสระ (Al_2O_3) ในเนื้อ ทำให้คุณสมบัติทางด้านความทนไฟ และความแข็งแรงดียิ่งขึ้น และเมื่อปริมาณของอะลูมินาในเนื้อมีมากถึง 95% หรือมากกว่า จะได้เซรามิกเนื้ออะลูมินา ซึ่งจัดเป็นออกไซด์เซรามิกประเภทหนึ่ง ที่มีโครงสร้างของผลึกรวมตัวเนื่องกัน (polycrystal) มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับผลึกเดี่ยว คือแสดงคุณสมบัติเด่นของผลึกอะลูมินาออกมา ทำให้เซรามิกเนื้ออะลูมินามีคุณสมบัติเหนือกว่าพอร์ซเลน หรือเซรามิกแบบดั้งเดิมทั่วไป ดังตัวอย่างเปรียบเทียบคุณสมบัติที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบระหว่างเซรามิกเนื้อพอร์ซเลน และเซรามิกเนื้ออะลูมินา

คุณสมบัติ	หน่วย	พอร์ซเลน	75-100% อะลูมินา
คุณสมบัติทั่วไป			
- ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	กรัม/ซม.^{3}	2.30-2.38	3.70-3.90
- เปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำ (water absorption)	%	0.1-2.0	0.0
คุณสมบัติเชิงกล			
- ความแข็ง (hardness)	โมส์	6-7	8.5-9.0
- ความต้านแรงดึง (tensile strength)	กก./ซม.^{2}	175-422	562-351
- ความต้านแรงกด (compressive strength)	กก./ซม.^{2}	4500-6000	20000-25000
- ความสามารถในการรับพลังงานโดยไม่เกิดการแตกหัก (modulus of rupture)	กก./ซม.^{2}	1000-1500	1265-4500
คุณสมบัติทางด้านความร้อน			
- สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนเชิงเส้น (coefficient of linear thermal expansion)	$\times 10^{-6}$/°ซ	4.5-5.7	5.6-8.1
- การนำความร้อน (thermal conductivity)	แคล/วินาที/ซม.^{2}/°ซ.	0.0020-0.0049	0.045-0.056
คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้า			
- ความแรงไดอิเล็กตริก (dielectric strength)	โวลต์/มิล	90-200	400-1100
- สภาพต้านทาน (resistivity)	โอห์ม-ซม.	10^{13}-10^{15}	10^{14}-10^{15}
- ตัวประกอบกำลัง (power factor value)	$\times 10^{-2}$ วัตต์	0.6-0.45	0.03-0.1
- ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก (dielectric constant)		6.0-7.5	8.8-10

จากคุณสมบัติเด่นดังกล่าว จึงได้มีการพัฒนานำเซรามิกเนื้ออะลูมินามาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม เริ่มแรกจากความต้องการของอุตสาหกรรมรถยนต์ เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีความต้องการใช้ฉนวนประเภทหัวเทียน ที่มีคุณภาพของวัสดุดีกว่าเนื้อพอร์ซเลนหรือเนื้อไมก้าสเตทไทท์ที่มีอยู่เดิม หัวเทียนที่ทำด้วยเซรามิกเนื้ออะลูมินาสามารถนำมาใช้ได้ดีเพราะมีคุณสมบัติทนต่อกระแสไฟฟ้าแรงสูงที่อุณหภูมิสูงได้ดีพอ ๆ กับที่อุณหภูมิห้อง ทนต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนได้ดี มีความแข็งแรงดี มีการนำความร้อนดี ทนต่อสารเคมีดีเมื่อเทียบกับเนื้อพอร์ซเลน และสามารถผลิตได้ในเวลาและราคาพอสมควร

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติที่ต้องการสำหรับการใช้งานแขนงต่าง ๆ

คุณสมบัติ	วิศวกรรมเชิงกล (Mechanical Engineering)	อิเลคโทรนิค (Electronics)	การแพทย์ (Medicine)	ศาสตร์ (Armor)
- ความแข็งแรงเชิงกล (mechanical strength)	√	(√)	√	√
- ความทนทานต่อการสึกกร่อน (wear resistance)	√	×	√	×
- ความทนทานต่อการกัดกร่อน (corrosion resistance)	√	(√)	√	×
- ความต้านทานไฟฟ้า (electrical resistance)	×	√	×	×
- ความทนทานต่ออุณหภูมิสูง (high temperature endurance)	√	√	×	×

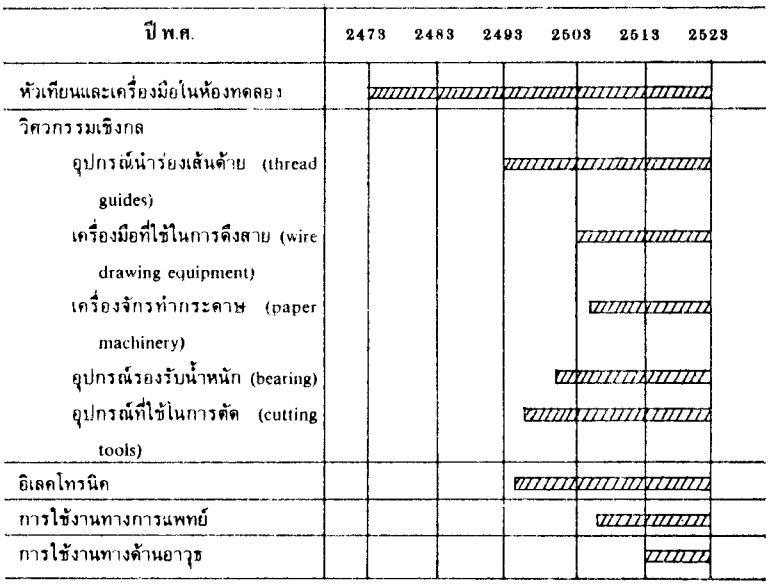
สัญลักษณ์ : √ ต้องการ × ไม่ต้องการ (√) บางครั้ง ขึ้นอยู่กับการใช้งาน

จากนั้นมา ก็ได้มีการศึกษาเพื่อพัฒนานำเนื้อนี้มาใช้ประโยชน์ในวงกว้างขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมแขนงต่าง ๆ มีความต้องการวัสดุที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2 และเซรามิกเนื้ออะลูมินามีข้อดีที่ว่า เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเด่นหลายด้านปนกัน กล่าวคือ คุณสมบัติทางด้านเชิงกล ความร้อน ไฟฟ้า และเคมี จึงทำให้สามารถพัฒนานำเนื้อนี้มาใช้ประโยชน์ในวงการอุตสาหกรรมแขนงต่าง ๆ เพิ่มขึ้นได้เรื่อย ๆ ดังรูปที่ 1 แสดงความก้าวหน้าของการนำเซรามิกเนื้ออะลูมินามาใช้ประโยชน์ในงานแขนงต่าง ๆ ดังนั้นในปัจจุบันหากจัดความสำคัญของออกไซด์เซรามิกที่มีอยู่ตามประเภทและปริมาณการใช้งาน จะพบว่าเซรามิกเนื้ออะลูมินาตามที่กล่าวมามีความสำคัญมากที่สุด

การใช้งานด้านวิศวกรรมเชิงกล

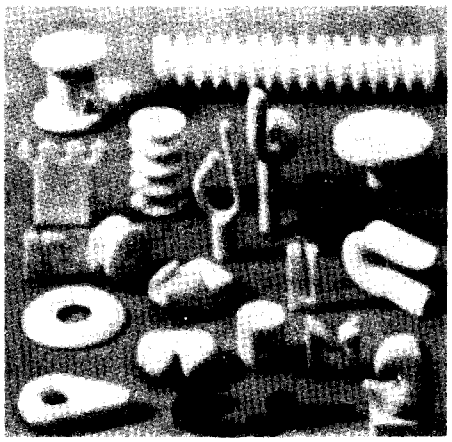
ปัญหาใหญ่ปัญหาหนึ่งที่เคยเป็นอุปสรรคต่อความเจริญของเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมเชิง

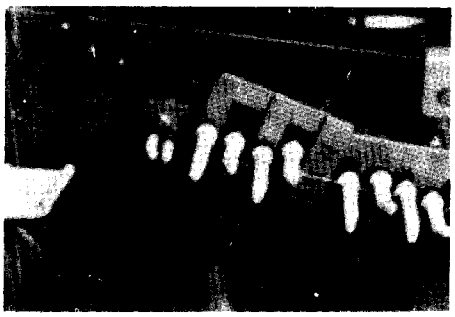
รูปที่ 1 แสดงความก้าวหน้าของการใช้ประโยชน์จากเซรามิกเนื้ออะลูมินาในงานแขนงต่าง ๆ



กลคือ ปัญหาทางด้านวัสดุ เนื่องจากในขณะนั้นยังไม่มีวัสดุที่สามารถนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาทางเทคนิคที่เกิดขึ้นได้ วัสดุที่ต้องการนั้นควรเป็นวัสดุที่สามารถทนทานต่อการสึกกร่อน มีความแข็งแรงแม้ที่อุณหภูมิสูง ทนทานต่อการกัดกร่อนและมีขนาดคงที่ จนกระทั่งได้พบเซรามิกเนื้ออะลูมินา ซึ่งมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ จึงได้มีการพัฒนานำเนื้อนี้มาใช้ทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตเป็นจำนวนมากเพื่อนำมาใช้งานเป็นครั้งแรกได้แก่ อุปกรณ์นำร่องเส้นด้ายที่ใช้ในเครื่องทอผ้า (thread guides for textile machine) ดังแสดงในรูปที่ 2 ขณะใช้งาน อุปกรณ์นี้จะเสียดสีกับเส้นด้ายตลอดเวลา ดังนั้นวัสดุที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติแข็งแรง ทนต่อการสึกกร่อนและกัดกร่อน มีขนาดคงที่ มีความผิดที่เกิดขึ้นกับเส้นด้ายคงที่ และต้องไม่ทำลายเส้นด้าย เดิมทีเดียววัสดุที่ใช้ได้แก่ โลหะ แก้ว หรือเซรามิกเนื้อพอร์ซเลน การนำเซรามิกเนื้ออะลูมินามาทำอุปกรณ์เหล่านี้แทน ทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานจากชั่วโมงหรือวันเป็นมากกว่าปีขึ้นไป

นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์อื่นในงานด้านนี้ที่ทำจากเซรามิกเนื้ออะลูมินา ได้แก่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการดึงลวดโลหะ (wire drawing step cone) อุปกรณ์ที่ใช้ในเครื่องจักรทำกระดาษ (paper machine cover) อุปกรณ์รองรับน้ำหนัก และอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดโลหะ ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวล้วนใช้งานภายใต้สภาวะที่มีการสึกกร่อนสูง และบางชนิดยังต้องสัมผัสกับอุณหภูมิการใช้งานสูงอีกด้วย การนำเซรามิกเนื้ออะลูมินามาใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์ดังกล่าวทำให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีอายุการใช้งานนานเป็นผลให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรได้ รวมถึงการเพิ่มคุณภาพของผลิตผลที่ได้ออกมาด้วย





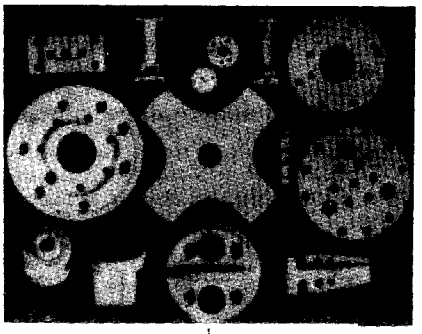
รูปที่ 2 แสดงอุปกรณ์นำร่องเส้นด้ายที่ใช้ในเครื่องทอผ้า

การใช้งานในด้านอิเลคโทรนิค

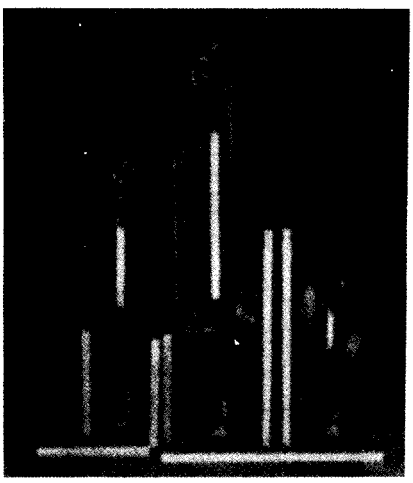
ผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานด้านนี้ต้องการวัสดุที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ กัน ขึ้นกับวัตถุประสงค์การใช้งานของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท ตัวอย่างที่สำคัญได้แก่

ส่วนประกอบและปลอกสำหรับหลอดอิเลคตรอน ประเภทอุปกรณ์ที่ใช้ภายในหลอดอิเลคตรอนดังแสดงในรูปที่ 3 ต้องมีคุณสมบัติสามารถทนต่อกระแสไฟฟ้าแรงสูง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นได้ และจากการที่สภาวะการใช้งานเป็นสูญญากาศ วัสดุจึงต้องไม่เกิดการแตกตัวเป็นแก๊สขณะใช้งาน หรืออุปกรณ์ประเภทปลอกครอบที่ใช้ในเครื่องทำกระแสไฟฟ้าสลับ (rectifier housing) หากมีส่วนที่ต้องประกอบเข้ากับโลหะต้องมีคุณสมบัติสามารถทำให้เชื่อมต่อจับกันได้อย่างแข็งแรง

อุปกรณ์อิเลคโทรนิคขนาดจุลภาค (microelectronic) ต้องมีคุณสมบัติในการนำความร้อนที่เกิดขึ้นได้ดี และต้องสามารถขัดให้ผิวเรียบ เพื่อฉาบผิวด้วยโลหะได้อย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 3
แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ภายในหลอดอิเลคทรอน



รูปที่ 4 แสดงหลอดไฟระบบการปล่อยประจุ

หลอดไฟระบบการปล่อยประจุ (discharge lamp) ดังแสดงในรูปที่ 4 วัสดุต้องมีลักษณะโปร่งแสงและมีคุณสมบัติสามารถทนต่อการกัดกร่อนของไอโซเดียมที่อุณหภูมิสูงได้ถึง 1500°ซ.

อุปกรณ์ดังกล่าวที่ทำจากเนื้ออะลูมินาสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีอายุการใช้งานคงทน

การใช้งานทางการแพทย์

จากคุณสมบัติของเซรามิกเนื้ออะลูมินาดังกล่าว ทำให้มีการนำเนื้อนี้มาศึกษาเพื่อพัฒนาใช้ในการแพทย์โดยมุ่งในด้านกระดูก และข้อต่อเทียมเป็นอันดับแรก ซึ่งต่อมาการนำเซรามิกเนื้ออะลูมินามาใช้ในด้านนี้ได้เพิ่มความสำคัญขึ้นเรื่อย ๆ โดยในปัจจุบันใช้ทำเป็นข้อต่อเทียม ฟันเทียม รวมไปถึงการนำมาใช้ในงานด้านศัลยกรรมต่าง ๆ

คุณสมบัติของวัสดุที่สำคัญสำหรับการใช้งานด้านนี้คือ ความทนทานต่อการสึกกร่อน เช่นเดียวกับวัสดุในหมวดวิศวกรรมเชิงกล ตัวอย่างเช่น ข้อต่อเทียม ดังแสดงในรูปที่ 5 ต้องสามารถรับน้ำหนักของร่างกายได้ ทนต่อการสึกกร่อนที่เกิดขึ้นขณะเคลื่อนไหว และเมื่อผ่านการใช้งานมาแล้วความฝืดระหว่างเนื้อวัสดุควรมีค่าคงที่หรือลดลง ที่สำคัญเมื่อนำวัสดุนี้เข้ามาใช้ภายในร่างกายของมนุษย์แล้วต้องคงสภาพ (body stability) และสามารถเข้ากับเนื้อเยื่อของร่างกายได้ (biocompatibility) ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวมีอยู่ในเซรามิกเนื้ออะลูมินาที่มีความบริสุทธิ์สูง

การใช้งานทางด้านอาวุธ

คุณสมบัติของเซรามิกเนื้ออะลูมินาที่น่าสนใจสำหรับการใช้งานด้านนี้ได้แก่ คุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงซึ่งในเชิงทฤษฎีมีค่าสูงได้ถึง $100,000 \times 10^3$ นิวตัน/เมตร^2 และค่าความถ่วงจำเพาะที่ต่ำ เหมาะที่จะนำมาพัฒนาทำเป็นเครื่องมือป้องกันอาวุธเพื่อป้องกันตัว ประเภทเกราะกันกระสุน ที่มีประสิทธิภาพสูงและน้ำหนักเบา เมื่อเทียบการใช้งานระหว่างเกราะเซรามิกและเกราะโลหะที่มีอยู่เดิมพบว่า การใช้เกราะที่ทำด้วยวัสดุเซรามิกเนื้ออะลูมินาสามารถลดน้ำหนักของเกราะลงได้ถึง 28-43% เมื่อเทียบกับเกราะที่ทำด้วยโลหะและยังสามารถรับแรงกระแทกจากกระสุนได้สูงกว่า ทำให้สามารถป้องกันอันตรายที่เกิดเมื่อเกราะถูกกระสุนได้ดีกว่า

รูปที่ 5 แสดงข้อต่อเทียม

การใช้งานอื่นในด้านนี้ได้แก่ การใช้งานในวงการทหาร โดยนำมาใช้ในอุปกรณ์ที่ต้องการลดน้ำหนักของวัสดุเช่น เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน และขณะนี้ยังได้มีการศึกษาเพื่อพัฒนานำเนื้อนี้มาใช้ทำยานหรือพาหนะกันกระสุนต่อไป

การใช้งานด้านอื่น

นอกจากการใช้งานข้างต้นแล้ว ยังมีการใช้งานที่เกี่ยวกับความร้อนและเคมีเป็นหลักโดยไม่คำนึงถึงความแข็งแรง หรือความทนทานต่อการสึกกร่อนของวัสดุ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคุณสมบัติทนต่อความร้อนและสารเคมี ได้แก่ ผลิตภัณฑ์พวกวัสดุทนไฟ เช่น ท่อ (tube) ที่ใช้ในเตาเผาอุณหภูมิ ท่อหุ้มลวดวัดอุณหภูมิ (thermocouple) อุปกรณ์ที่ใช้ในเตาเผาและภาชนะที่ใช้ในห้องทดลองต่าง ๆ เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมถึงผลิตภัณฑ์เพื่อจุดประสงค์การใช้งานอื่น เช่น เครื่องมือที่ใช้ในการบดพวกลูกบดและกระจกนาฬิกาที่ทนต่อการขูดขีด เป็นต้น

ประโยชน์ของเซรามิกเนื้ออะลูมินาดังที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นถึงคุณค่าของเซรามิกเนื้อนี้ที่มีผลต่อความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในงานด้านต่าง ๆ เช่น วิศวกรรมเชิงกล อิเลคโทรนิค ฟันเทียม กระดูกเทียม อาวุธ และอื่น ๆ ทั้งนี้เป็นผลสืบเนื่องจากการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเซรามิกเนื้ออะลูมินา โดยการขจัดปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ที่เคยมีในอดีต อาทิ เช่น การปรับปรุงคุณภาพของวัตถุดิบอะลูมินาที่ใช้ในแง่ของความบริสุทธิ์ อุณหภูมิของการใช้งาน รวมทั้งการพัฒนาเตาเผา อุณหภูมิสูงที่มีอุณหภูมิสม่ำเสมอ เพื่อให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกเนื้ออะลูมินาชนิดต่าง ๆ ตามที่กล่าวมาข้างต้นและที่จะพัฒนาต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. Dorre E. and Hübner. H., **Alumina**, Berlin: Springer-Verlag, 1984
2. Reckzügel A. and Heimake G., **Oxide Ceramic :** ceramic monograph handbook of ceramic. Germany : Verlag Schmid GmbH Freiburg : Brg., 1981
3. Allen C. Alfred, Alumina. **Ceramic Industry**. 1966 Vol. 89 No. 1, pp. 45-50, 66(1967)
4. Singer F. and Singer SS. **Industrial Ceramic**. London : Chapman and Hall, 1963