

บทที่ 5

เซรามิก

1. ความหมายของเซรามิก

เซรามิก (Ceramic) เป็นวัสดุที่เกิดจากสารอนินทรีย์ (Inorganic) ที่ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรง ทนทานต่อความร้อน และทนต่อการกัดกร่อน สามารถนำมาใช้งานในหลายอุตสาหกรรม เช่น การก่อสร้าง เครื่องใช้ในครัวเรือน อุตสาหกรรมไฟฟ้า และอวกาศ แบ่งออกเป็นหลายประเภทตามการใช้งานและสมบัติทางกายภาพ

2. ประเภทของเซรามิก

เซรามิกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

2.1 เซรามิกดั้งเดิม (Traditional Ceramics) เป็นวัสดุดิบมาจากแหล่งธรรมชาติและต้องผ่านกระบวนการขึ้นรูปและเผา เหมาะสำหรับการใช้งานทั่วไป เช่น

2.1.1 ดิน (Clay) เป็นตัวให้ความเหนียวและช่วยให้สามารถขึ้นรูปเนื้อดินได้ง่าย และช่วยให้เนื้อดินมีความแข็งแรงเพียงพอหลังการเผาซึ่งทำให้สามารถยับยั้งชิ้นงานในขั้นตอนการขึ้นรูปและการเผาได้ เช่น

(1) ดินขาว (Kaolin, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) เป็นดินที่มีความบริสุทธิ์สูง ใช้ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผา กระเบื้อง และกระดาษ

(2) ดินบอลล์เคลย์ (Ball Clay) มีความเหนียวสูง ช่วยให้เซรามิกขึ้นรูปง่าย

(3) ดินไฟร์เคลย์ (Fire Clay) ทนความร้อนสูง ใช้ในอิฐทนไฟ

2.1.2 เฟลด์สปาร์ (Feldspar) ใช้เป็นฟลักซ์ในอุตสาหกรรมเซรามิก เช่น กระเบื้องและเครื่องลายคราม

2.1.3 ควอตซ์ (Quartz, SiO_2) เพิ่มความแข็งแรงและช่วยให้เซรามิกคงรูปร่าง ใช้ในแก้วและกระเบื้อง

2.1.4 แร่ธาตุอื่นๆ เช่น

(1) แคลไซต์ (Calcite, CaCO_3) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงและลดการหดตัวของเซรามิก

(2) แมกนีไซต์ (Magnesite, MgCO_3) ใช้ในเซรามิกทนไฟ

2.2 เซรามิกขั้นสูง (Advanced Ceramics)

เซรามิกขั้นสูงเป็นเซรามิกที่พัฒนาให้มีคุณสมบัติเฉพาะ เช่น ทนความร้อนสูง แข็งแรงมากขึ้น หรือเป็นตัวนำไฟฟ้า ใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการความแม่นยำและความทนทานสูง เช่น ทางวิศวกรรม และทางการแพทย์ ดังนี้

2.2.1 เซรามิกทางวิศวกรรม (Engineering Ceramics) เป็นวัสดุที่มีสมบัติเฉพาะตัว มีคุณสมบัติเด่นคือมีความแข็งแรง ทนทานต่อการสึกหรอ ทนต่ออุณหภูมิสูง ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี มีความเสถียรทางเคมีสูง แม้จะเปราะ แตกหักง่ายเมื่อได้รับแรงกระแทกสูง แต่ด้วยการพัฒนาเทคโนโลยีทำให้สามารถเพิ่มความทนทานและลดข้อจำกัดของวัสดุประเภทนี้ได้มากขึ้น สามารถแยกประเภทของเซรามิกทางวิศวกรรมได้ดังนี้

(1) เซรามิกโครงสร้าง (Structural Ceramics) มีความแข็งแรงสูง ทนต่อแรงกระแทก และสึกหรอได้ดี เช่น อะลูมินา (Al_2O_3), ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC), เซอร์โคเนีย (ZrO_2) นิยมนำไปผลิตเบรคซีลกันรั่ว แผ่นกันความร้อนในยานอวกาศ เบรคเซรามิกในรถแข่ง เป็นต้น

(2) เซรามิกไฟฟ้า (Electrical Ceramics) เป็นฉนวนไฟฟ้า หรือสามารถเป็นตัวนำไฟฟ้าได้ในบางกรณี เช่น ไททาเนต (BaTiO_3), อะลูมินา (Al_2O_3), ซิลิกอนไนไตรด์ (Si_3N_4) นิยมนำไปผลิตตัวเก็บประจุ (Capacitor) ฉนวนไฟฟ้าในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ตัวต้านทานและเซนเซอร์ เป็นต้น

(3) เซรามิกแม่เหล็ก (Magnetic Ceramics) มีสมบัติทางแม่เหล็ก ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์และมอเตอร์ เช่น เฟอร์ไรต์ (Ferrite) นิยมนำไปผลิต แกนแม่เหล็กในหม้อแปลงไฟฟ้า ฮาร์ดดิสก์และอุปกรณ์บันทึกข้อมูล เป็นต้น

2.2.2 เซรามิกทางการแพทย์ (Bioceramics) หรือ ไบโอเซรามิก เป็นวัสดุเซรามิกที่ออกแบบมาให้ใช้ในงานทางการแพทย์ เนื่องจากมีคุณสมบัติ ทนทาน ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย ไม่ทำปฏิกิริยากับเนื้อเยื่อ และสามารถเข้ากันได้กับร่างกายมนุษย์

(1) คุณสมบัติของไบโอเซรามิก

- เข้ากันได้กับร่างกาย ไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาภูมิคุ้มกันหรืออักเสบ
- มีความแข็งแรงและทนต่อการสึกหรอ ใช้งานได้ยาวนานโดยไม่เสื่อมสภาพง่าย
- ทนต่อการกัดกร่อน ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีหรือของเหลวในร่างกาย
- สามารถยึดติดกับกระดูกและเนื้อเยื่อได้
- มีความเสถียรทางเคมี ไม่ละลายในของเหลวในร่างกาย

(2) ประเภทของเซรามิกทางการแพทย์

- ไบโอเซรามิกที่เข้ากันได้กับร่างกายแต่ไม่สามารถยึดติดกับกระดูก (Bioinert Ceramics) เป็นวัสดุที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับร่างกาย แต่สามารถนำไปใช้แทนกระดูกหรือข้อต่อได้ เช่น อะลูมินา (Alumina, Al_2O_3) ใช้ทำข้อต่อสะโพกเทียมและลูกตาเทียม และ เซอร์โคเนีย (Zirconia, ZrO_2) ใช้ทำรากฟันเทียม ข้อต่อสะโพก และกระดูกเทียม เป็นต้น

- ไบโอเซรามิกที่สามารถรวมกับกระดูกได้ (Bioactive Ceramics) สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของกระดูกและรวมเข้ากับร่างกายได้ เช่น ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite,

HAp) ใช้ทำเคลือบรากฟันเทียม และวัสดุทดแทนกระดูก และ กระจกชีวภาพ (Bioglass) ใช้ใน ศัลยกรรมกระดูกและการรักษาฟัน เป็นต้น

- ไบโอสเซรามิกที่สามารถย่อยสลายได้ (Bioresorbable Ceramics) สามารถ สลายตัวและถูกแทนที่ด้วยเนื้อเยื่อของร่างกาย เช่นแคลเซียมฟอสเฟต (Calcium Phosphate) ใช้ใน การปลูกกระดูกและเติมเต็มกระดูกที่แตก และไตรแคลเซียมฟอสเฟต (Tricalcium Phosphate, TCP) ใช้ในการปลูกถ่ายกระดูกและรักษาฟัน เป็นต้น

(3) การใช้งานของเซรามิกทางการแพทย์ เช่น

- รากฟันเทียมและวัสดุทันตกรรม (Dental Applications) รากฟันเทียมที่ทำจาก เซอร์โคเนีย และ อะลูมินา เคลือบฟันเทียมด้วย ไฮดรอกซีอะพาไทต์ เพื่อช่วยให้ฟันดูเป็นธรรมชาติ

- ข้อเข้าและข้อต่อสะโพกเทียม (Orthopedic Implants) ใช้อะลูมินา และ เซอร์โคเนีย ในการทำข้อต่อสะโพกเทียม เคลือบวัสดุโลหะด้วย ไฮดรอกซีอะพาไทต์ เพื่อช่วยให้กระดูกยึดติดกับรากเทียมได้ดีขึ้น

- การปลูกถ่ายกระดูก (Bone Grafts & Fillers) ใช้แคลเซียมฟอสเฟต และ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ ในการเติมเต็มกระดูกที่เสียหาย

- อุปกรณ์ทางการแพทย์อื่นๆ เช่น เลนส์ตาเทียม ที่ใช้ในผู้ป่วยต้อกระจก และ เซ็นเซอร์ทางการแพทย์และวัสดุห้ามเลือด

3. โครงสร้างของเซรามิก

โครงสร้างของเซรามิกมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติของวัสดุ เช่น ความแข็งแรง ทนทาน และ เปราะง่าย โครงสร้างของเซรามิกมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากโลหะและพอลิเมอร์ โดยมีผลต่อ คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุ สามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

3.1 โครงสร้างอะตอมของเซรามิก ประกอบด้วย พันธะไอออนิก (Ionic Bonding) และ พันธะโควาเลนต์ (Covalent Bonding) เป็นหลัก ซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรงทำให้เซรามิกมีคุณสมบัติแข็งและทนความร้อนสูง แต่มีความเปราะและแตกหักง่าย

3.1.1 พันธะไอออนิก (Ionic Bonding): เกิดขึ้นในเซรามิกที่มีองค์ประกอบของโลหะและอโลหะ เช่น อะลูมินา (Al_2O_3)

3.1.2 พันธะโควาเลนต์ (Covalent Bonding): พบในเซรามิกประเภทซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) และซิลิกอนไนไตรด์ (Si_3N_4)

3.2 โครงสร้างผลึกของเซรามิก มีโครงสร้างเป็นแบบ ผลึก (Crystalline) หรือ ออสัณฐาน (Amorphous)

3.2.1 เซรามิกผลึก (Crystalline Ceramics) มีโครงสร้างอะตอมที่เรียงตัวเป็นระเบียบ เช่น อะลูมินา (Al_2O_3) ใช้ในวัสดุทนไฟและชิ้นส่วนเครื่องจักร และ เซอร์โคเนีย (ZrO_2) ใช้ในรากฟันเทียม เป็นต้น

3.2.2 เซรามิกอสัณฐาน (Amorphous Ceramics) ไม่มีโครงสร้างผลึกที่ชัดเจน ทำให้แตกง่าย เช่น แก้ว (Glass) ใช้ทำภาชนะ แว่นตา และฉนวนไฟฟ้า เป็นต้น

3.3 โครงสร้างระดับจุลภาคของเซรามิก มีผลต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของเซรามิก ดังนี้

3.3.1 โครงสร้างเป็นเม็ดผลึก (Grain Structure): เซรามิกส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นผลึกขนาดเล็ก (Fine Grain) หรือผลึกขนาดใหญ่ (Coarse Grain)

3.3.2 มีรูพรุน (Porosity): ส่งผลต่อความแข็งแรงและความสามารถในการดูดซึมน้ำ

3.3.3 ขอบเขตเกรน (Grain Boundary): มีผลต่อคุณสมบัติการนำความร้อนและไฟฟ้า

3.4 โครงสร้างเชิงกลของเซรามิก เนื่องจากโครงสร้างอะตอมที่แข็งแรงและพันธะที่มั่นคง ทำให้เซรามิกมีคุณสมบัติเฉพาะตัว เช่น แข็งแรงและทนต่อการสึกหรอ ทนต่ออุณหภูมิสูง เป็นฉนวนไฟฟ้า แต่จะเปราะและแตกง่าย เนื่องจากการเคลื่อนที่ของไอออนทำได้ยาก

4. สมบัติของเซรามิก

เซรามิกมีสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ ซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างทางอะตอมและพันธะเคมีที่แข็งแรงของวัสดุ ดังนี้

4.1 สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

4.1.1 ความแข็งแรงสูง (Hardness) เซรามิกส่วนใหญ่มีความแข็งแรงมากกว่าโลหะและพอลิเมอร์ สามารถทนต่อแรงขีดข่วนและแรงกระแทกในระดับหนึ่ง เช่น อะลูมินา (Al_2O_3) และซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) ทนต่อแรงกดและแรงเสียดทานสูง

4.1.2 ความเปราะ (Brittleness) เซรามิกมีความแข็งแรงสูง แต่มีความเปราะ แตกหักได้ง่ายเมื่อถูกแรงกระแทกรุนแรง ตัวอย่างเช่น จานเซรามิกที่ตกพื้นอาจแตกได้ทันที

4.1.3 จุดหลอมเหลวสูง (High Melting Point) ทนความร้อนสูง เช่น ทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) ที่สามารถทนความร้อนได้มากกว่า 2000°C ไม่ละลายหรือเสียรูปเมื่อเจอความร้อนสูง

4.1.4 ความหนาแน่น (Density) ความหนาแน่นของเซรามิกแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและโครงสร้างจุลภาค ขึ้นอยู่กับประเภทของเซรามิก เช่น แก้วมีความหนาแน่นต่ำกว่าอะลูมินา

4.1.5 การดูดซึมน้ำ (Water Absorption) เซรามิกที่มีรูพรุนมากสามารถดูดซับน้ำและของเหลวได้ดี วัสดุที่ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิสูง เช่น พอร์ซเลน มีความพรุนต่ำและไม่ดูดซึมน้ำ

4.1.6 การนำความร้อน (Thermal Conductivity) เซรามิกบางชนิดเป็นฉนวนความร้อนที่ดี เช่น อะลูมินาและพอร์ซเลน ในขณะที่เซรามิกบางชนิด เช่น ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) และซิลิกอนไนไตรด์ (Si₃N₄) สามารถนำความร้อนได้ดีและใช้ในอุตสาหกรรมอวกาศและยานยนต์

4.1.7 การขยายตัวทางความร้อน (Thermal Expansion) เซรามิกส่วนใหญ่มีอัตราการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนต่ำกว่าพอลิเมอร์และโลหะ เซอร์โคเนีย (ZrO₂) มีการขยายตัวทางความร้อนสูง จึงใช้ในงานที่ต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว

4.1.8 การเป็นฉนวนไฟฟ้า (Electrical Insulation) เซรามิกเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี เนื่องจากอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านโครงสร้างได้ยาก ตัวอย่างเช่น อะลูมินา และพอร์ซเลนใช้เป็นฉนวนในอุปกรณ์ไฟฟ้า ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) และซิลิกอนไนไตรด์ (Si₃N₄) เป็นเซรามิกกึ่งตัวนำ ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

4.2 สมบัติทางกลศาสตร์ (Mechanical Properties)

4.2.1 ทนต่อแรงอัดสูง (High Compressive Strength) เซรามิกสามารถทนแรงอัดได้ดีมาก สูงกว่าโลหะหลายชนิด นิยมใช้ในงานที่ต้องรับน้ำหนักมาก เช่น อิฐทนไฟ กระเบื้อง และโครงสร้างในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

4.2.2 ความแข็งแรงต่อนแรงดึงต่ำ (Low Tensile Strength) เซรามิกส่วนใหญ่มีค่าความแข็งแรงต่อนแรงดึง (Tensile Strength) ต่ำมาก เนื่องจากโครงสร้างอะตอมของเซรามิกมีพันธะไอออนิกและโควาเลนต์ ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ก่อนแตก สามารถปรับปรุงโดยใช้เทคนิคเสริมแรง เช่น การเติมเส้นใย (Fiber Reinforced Ceramics - FRC)

4.2.3 ทนต่อการสึกหรอ (Wear Resistance) เซรามิกมีความสามารถทนการเสียดสีได้ดีมาก จึงนิยมใช้ ทำเครื่องมือขัด เจียร ตัด ลูกปืน และแบร็งเซรามิก

4.2.4 โมดูลัสยืดหยุ่นสูง (High Elastic Modulus) เซรามิกมีค่าความแข็งเกร็ง (Stiffness) หรือโมดูลัสยืดหยุ่นสูงวัสดุไม่เสียรูปง่ายเมื่อได้รับแรง มีความแข็งและไม่เสียรูปง่าย เหมาะกับงานที่ต้องการความแม่นยำ เช่น ลูกปืนเซรามิก (Ceramic Bearings)

4.2.5 การทนต่อแรงกระแทก (Impact Resistance) เซรามิกทั่วไปทนแรงกระแทกได้ไม่ดี เพราะเปราะและแตกง่าย จึงมีเซรามิกที่มีโครงสร้างพิเศษ เช่น Zirconia Toughened Ceramics (ZTC)

4.3 สมบัติทางความร้อน (Thermal Properties)

4.3.1 ทนต่ออุณหภูมิสูง (High Thermal Resistance) ไม่หลอมละลายหรือเปลี่ยนรูปร่าง เช่น ใช้ในวัสดุทนไฟ

4.3.2 เป็นฉนวนความร้อนที่ดี (Good Thermal Insulation) ไม่ดูดซับความร้อนได้ดี เช่น แก้วและอิฐทนไฟ

4.3.3 การขยายตัวทางความร้อนต่ำ (Low Thermal Expansion) มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงน้อย

4.4 สมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Properties)

4.4.1 เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี (Electrical Insulator) ส่วนใหญ่ไม่นำไฟฟ้า เช่น อะลูมินา (Al_2O_3) และไม่เป็นสื่อนำไฟฟ้า ทำให้เหมาะสำหรับใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

4.4.2 บางชนิดสามารถนำไฟฟ้าได้ (Conductive Ceramics) เช่น ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) และซิลิกอนไนไตรด์ (Si_3N_4) ที่ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

4.4.3 มีคุณสมบัติเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Properties) สามารถเปลี่ยนพลังงานกลเป็นไฟฟ้า เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ (BaTiO_3)

4.5 สมบัติทางเคมี (Chemical Properties) เซรามิกเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางเคมีที่โดดเด่น ทำให้สามารถนำไปใช้ในงานที่ต้องการความทนทานต่อสารเคมีและสภาพแวดล้อมที่รุนแรงได้ โดยสมบัติทางเคมีที่สำคัญของเซรามิกมีดังนี้

4.5.1 ทนต่อการกัดกร่อน เซรามิกส่วนใหญ่มีความเสถียรสูงในสารละลายกรด-ด่าง เช่น ซิลิกา (SiO_2) และอะลูมินา (Al_2O_3) ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีทั่วไป ทำให้เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมเคมีและเภสัชกรรม เซรามิกบางชนิดอาจละลายในกรดเข้มข้นได้ เช่น แก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate Glass) ทนต่อกรดได้ดี แต่จะละลายในกรดไฮโดรฟลูออริก (HF)

4.5.2 มีความเสถียรทางเคมีสูง เซรามิกมีพันธะไอออนิกและโคเวเลนต์ที่แข็งแรง ทำให้มีความเสถียรสูง ไม่เสื่อมสภาพง่ายเมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิสูงหรือบรรยากาศออกซิไดซ์ ใช้เป็นวัสดุทนไฟ (Refractory Materials) ในเตาหลอมอุตสาหกรรม

4.5.3 มีปฏิกิริยากับก๊าซและออกซิเจน วัสดุเซรามิกบางชนิด เช่น ซิลิกอนไนไตรด์ (Si_3N_4) และซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) สามารถทนต่อออกซิเดชันได้ดี, อะลูมินา (Al_2O_3) สามารถสร้างชั้นออกไซด์ป้องกันการกัดกร่อนได้เอง และคาร์บอนในกราไฟต์หรือเซรามิกบางชนิดอาจทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อุณหภูมิสูงและเกิดออกซิเดชัน

4.5.4 มีความสามารถในการต้านทานการละลาย เซรามิกส่วนใหญ่ไม่ละลายในน้ำและสารละลายทั่วไปบางชนิด เช่น แก้วฟอสเฟต สามารถละลายได้ในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำหรือของเหลวชีวภาพ

4.5.5 มีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงและปฏิกิริยาเคมีที่อุณหภูมิสูง เซรามิกสามารถคงสภาพทางเคมีได้ที่อุณหภูมิสูง เช่น อะลูมินาและเซอร์โคเนียใช้เป็นฉนวนความร้อน วัสดุเซรามิกบางชนิดสามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ เช่น ซีโอไลต์ (Zeolite)

5. กระบวนการให้ความร้อนกับสารเซรามิก

กระบวนการให้ความร้อนกับเซรามิก หรือ การเผาเซรามิก (Firing Process) เป็นขั้นตอนสำคัญในการเปลี่ยนวัตถุดิบให้กลายเป็นวัสดุที่แข็งแรง ทนทาน และมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ดังนี้

5.1 ขั้นตอนของการเผาเซรามิก การเผาเซรามิกมักดำเนินการเป็น 3 ระยะหลัก ได้แก่

5.1.1 การกำจัดน้ำและสารอินทรีย์ (Drying & Decomposition) ที่อุณหภูมิ 100 - 500°C กำจัดน้ำที่ติดอยู่ในโครงสร้างของดิน สลายสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ เช่น สารเติมแต่งและตัวประสาน

5.1.2 การเผาเพื่อเชื่อมประสาน (Sintering Process) ที่อุณหภูมิ 900 - 1,600°C ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของเซรามิก อนุภาคของเซรามิกจะเริ่มเชื่อมต่อกัน ทำให้ชิ้นงานแข็งแรงขึ้น ลดช่องว่างระหว่างอนุภาค ทำให้โครงสร้างแน่นขึ้น

5.1.3 การหลอมและตกผลึกบางส่วน (Vitrification & Crystallization) ที่ อุณหภูมิ: 1,000 - 1,800°C เฟลด์สปาร์หรือแก้วในส่วนผสมจะละลายและช่วยยึดอนุภาคให้แน่น เพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างและลดการดูดซึมน้ำ

5.2 ประเภทของการเผาเซรามิก แบ่งได้ 4 ประเภทดังนี้

5.2.1 การเผาแบบออกซิเดชัน (Oxidation Firing) ใช้อากาศที่มีออกซิเจนในเตาเผา ใช้กับเซรามิกประเภทดินขาว กระเบื้อง และเครื่องเคลือบ

5.2.2 การเผาแบบรีดักชัน (Reduction Firing) โดยการควบคุมปริมาณออกซิเจนให้ต่ำ ใช้ผลิตเซรามิกที่มีสีเฉพาะ เช่น เซรามิกสโตนแวร์ และพอร์ซเลน

5.2.3 การเผาแบบซินเทอริง (Sintering) ใช้อุณหภูมิสูงเพื่อให้อนุภาคเซรามิกหลอมรวมกันโดยไม่เกิดการหลอมเหลวทั้งหมด ใช้ในเซรามิกทางวิศวกรรม เช่น อะลูมินา และเซอร์โคเนีย

5.2.4 การเผาด้วยไมโครเวฟ (Microwave Sintering) ใช้พลังงานคลื่นไมโครเวฟเพื่อให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว ลดเวลาในการเผาและช่วยประหยัดพลังงาน

5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเผาเซรามิก การเผาเซรามิกเป็นขั้นตอนสำคัญที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเผามีหลายด้าน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น ปัจจัยทางวัสดุ และ ปัจจัยทางกระบวนการเผา ดังนี้

5.3.1 ปัจจัยทางวัสดุ เช่น

(1) องค์ประกอบของวัตถุดิบ (Raw Material Composition)

- วัตถุดิบหลัก เช่น ดินขาว เฟลด์สปาร์ และซิลิกา มีผลต่ออุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผา
- วัสดุที่มีเฟลด์สปาร์สูงมักมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า ทำให้กระบวนการหลอมรวมเกิดขึ้นเร็วขึ้น
- สัดส่วนของสารเติมแต่ง เช่น ออกไซด์ของโลหะ เช่น Al_2O_3 หรือ ZrO_2) มี

ผลต่อความแข็งแรงและความหนาแน่นของเซรามิก

(2) ขนาดอนุภาคของวัตถุดิบ (Particle Size and Distribution)

- อนุภาคเล็กช่วยให้เกิดการหลอมรวมที่ดีขึ้นระหว่างการเผา
- ขนาดอนุภาคที่ไม่สม่ำเสมออาจทำให้โครงสร้างเซรามิกมีรูพรุนสูง

(3) ความชื้นและปริมาณสารอินทรีย์ (Moisture & Organic Content)

- วัตถุดิบที่มีน้ำและสารอินทรีย์มากจะทำให้เกิดการหดตัวสูงระหว่างการเผา
- การกำจัดน้ำอย่างไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดรอยแตกร้าว

5.3.2 ปัจจัยทางกระบวนการเผา เช่น

(1) อุณหภูมิในการเผา (Firing Temperature)

- อุณหภูมิที่เหมาะสมช่วยให้เซรามิกมีความแข็งแรงและลดความพรุน
- อุณหภูมิต่ำเกินไป วัสดุอาจไม่เชื่อมประสานกันดีพอ ทำให้เปราะและแตกง่าย
- อุณหภูมิสูงเกินไป: อาจทำให้เซรามิกผิดรูป หรือเกิดการแตกร้าวจากความร้อน

(2) อัตราการเพิ่มและลดอุณหภูมิ (Heating & Cooling Rate)

- หากเพิ่มอุณหภูมิเร็วเกินไป อาจทำให้เกิดรอยร้าวจากความเครียดความร้อน
- การลดอุณหภูมิต่ำๆ ช่วยลดความเค้นภายในและป้องกันการแตกร้าว

(3) ระยะเวลาในการเผา (Soaking Time)

- หากเผานานเกินไป อาจทำให้เซรามิกหดตัวมากเกินไปและเกิดรูพรุน
- หากเผาสั้นเกินไป อาจทำให้โครงสร้างไม่แข็งแรงพอ

(4) บรรยากาศภายในเตาเผา (Firing Atmosphere)

- บรรยากาศออกซิเดชัน (Oxidation Firing): ทำให้สีของเซรามิกสว่างขึ้น เช่น เซรามิกพอร์ซเลน
- บรรยากาศรีดักชัน (Reduction Firing): ทำให้สีเข้มขึ้น และอาจเพิ่มความ

แข็งแรงในบางวัสดุ เช่น เซอร์โคเนีย

(5) ประเภทของเตาเผา (Kiln Type) เตาเผาเซรามิกมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับ

แหล่งพลังงาน วิธีการทำความร้อน และรูปแบบการเผา โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น ดังนี้

- เตาเผาฟืน (Wood-Fired Kiln) ใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อสร้างความร้อน เช่น แก้วไม้ที่เผาไหม้จะติดบนผิวเซรามิกและเกิดลวดลายเฉพาะตัว ควบคุมอุณหภูมิได้ยาก และใช้เวลานาน
- เตาเผาถ่านหรือเตาเผาถ่านหิน (Coal-Fired Kiln) ให้ความร้อนสูง และมีต้นทุนเชื้อเพลิงต่ำ คว้นและเขม่าจากการเผาไหม้ อาจทำให้เกิดมลภาวะ ควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศการเผาได้ยาก

- เตาเผาแก๊ส (Gas-Fired Kiln) สามารถเผาได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 1300°C ควบคุมบรรยากาศการเผาได้ทั้ง ออกซิเดชัน และ รีดักชัน ต้องใช้ระบบระบายอากาศที่ดี เพราะมีการปล่อยก๊าซจากการเผาไหม้

- เตาเผาไฟฟ้า (Electric Kiln) ควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำกว่าประเภทอื่น สะอาด ไม่มีควัน และเหมาะสำหรับงานเซรามิกที่ต้องการสีที่สม่ำเสมอ ค่าไฟฟ้าสูง และไม่สามารถสร้างเอฟเฟกต์เฉพาะตัวจากเชื้อเพลิงได้

- เตาเผาไมโครเวฟ (Microwave Kiln) ใช้พลังงานไมโครเวฟทำให้ความร้อนกระจายทั่วถึง เผาได้รวดเร็ว ประหยัดพลังงาน และลดระยะเวลาการเผา ใช้ได้กับงานขนาดเล็ก และไม่สามารถควบคุมบรรยากาศการเผาได้

- เตาเผาแบบเป็นชุด (Batch Kiln) ใช้สำหรับเผางานเป็นรอบๆ สามารถปรับอุณหภูมิและระยะเวลาเผาได้ตามต้องการ ต้องใช้เวลาในการเผาและรอให้เตาเย็นก่อนนำชิ้นงานออก

- เตาเผาแบบต่อเนื่อง (Continuous Kiln) ใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เพราะสามารถเผางานได้อย่างต่อเนื่อง ลดเวลาการเผาและเพิ่มกำลังการผลิต มีต้นทุนสูง และต้องใช้พื้นที่มาก

- เตาเผาแบบขึ้น (Updraft Kiln) อากาศร้อนจะลอยขึ้นจากด้านล่างไปด้านบน ใช้พลังงานเชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ ความร้อนอาจกระจายไม่สม่ำเสมอ

- เตาเผาแบบลง (Downdraft Kiln) ความร้อนถูกบังคับให้ไหลลงก่อนออกจากปล่อง ควบคุมอุณหภูมิและการกระจายความร้อนได้ดี โครงสร้างซับซ้อนและสร้างยาก

- เตาเผาอุณหภูมิต่ำ (Low-Temperature Kiln, < 1,000°C) ใช้สำหรับเผาเครื่องปั้นดินเผา และงานเคลือบบางประเภท เผาเซรามิกที่ต้องการสีสดใส เช่น งานเซรามิกศิลปะ

- เตาเผาอุณหภูมิปานกลาง (Medium-Temperature Kiln, 1,000 - 1,250°C) เผาเซรามิกที่มีความแข็งแรงมากขึ้น เช่น เครื่องเคลือบสโตนแวร์ (Stoneware) ใช้กันมากในอุตสาหกรรมเซรามิกทั่วไป

- เตาเผาอุณหภูมิสูง (High-Temperature Kiln, > 1,250°C) ใช้เผาเซรามิกที่มีความแข็งแรงสูง เช่น พอร์ซเลน และ เซรามิกทางวิศวกรรม เซรามิกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงจะมีความหนาแน่นและทนทานมาก

6. การประยุกต์ใช้เซรามิก

เซรามิกถูกนำมาใช้ในหลายอุตสาหกรรมเนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่น ในด้านความแข็งแรง ทนความร้อน ทนต่อการกัดกร่อน และเป็นฉนวนไฟฟ้า ดังนี้

6.1 อุตสาหกรรมก่อสร้าง (Construction Industry) เซรามิกเป็นวัสดุหลักที่ใช้ในงานก่อสร้าง เนื่องจากมีความแข็งแรง ทนทาน และสามารถใช้งานได้ในระยะยาว เช่น

6.1.1 กระเบื้องปูพื้นและผนัง ช่วยป้องกันความชื้นและให้ความสวยงาม

6.1.2 อิฐทนไฟ ใช้ในเตาเผาและปล่องไฟ

6.1.3 ปูนซีเมนต์และคอนกรีต ส่วนประกอบสำคัญของอาคารและสะพาน

6.2 อุตสาหกรรมยานยนต์ (Automotive Industry) เซรามิกถูกใช้ในชิ้นส่วนของรถยนต์ที่ต้องการความแข็งแรงและทนความร้อนสูง เช่น

6.2.1 เบรกเซรามิก (Ceramic Brakes) ใช้ในรถแข่งและรถหรู เพราะทนความร้อนสูงและไม่สึกหรอง่าย

6.2.2 หัวเทียนเซรามิก ทนความร้อนและแรงดันสูง

6.2.3 ตัวกรองไอเสีย (Catalytic Converter Substrate) ช่วยลดมลพิษจากไอเสียรถยนต์

6.3 อุตสาหกรรมอวกาศและการบิน (Aerospace Industry) เซรามิกใช้ในอุตสาหกรรมอวกาศ เนื่องจากสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงและแรงกระแทกได้ดี เช่น

6.3.1 ฉนวนกันความร้อนในกระสวยอวกาศ ป้องกันความร้อนจากการเสียดสีกับชั้นบรรยากาศ

6.3.2 ชิ้นส่วนเซรามิกในเครื่องยนต์เจ็ท ลดการสึกหรอและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน

6.4 อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Industry) เซรามิกเป็นวัสดุที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากมี คุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า ทนความร้อนสูง และเสถียรต่อสภาวะแวดล้อม ซึ่งทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลายประเภท เช่น

6.4.1 คุณสมบัติของเซรามิกที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

(1) เป็นฉนวนไฟฟ้า (Electrical Insulators) ไม่เป็นสื่อนำไฟฟ้า ทำให้เหมาะกับฉนวนในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์แรงดันสูง

(2) ทนความร้อนสูง (High Temperature Resistance) ใช้งานได้ดีในอุณหภูมิสูง เช่น เตาอบไมโครเวฟและแผงวงจร

(3) ทนต่อการกัดกร่อน (Corrosion Resistance) ไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีหรือความชื้น

(4) มีคุณสมบัติไดอิเล็กทริก (Dielectric Properties) เหมาะสำหรับใช้ในตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน ใช้ในโทรศัพท์มือถือและคอมพิวเตอร์

6.4.2 การใช้เซรามิกในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

(1) ตัวเก็บประจุเซรามิก (Ceramic Capacitors) ใช้วัสดุเซรามิกเป็นไดอิเล็กทริก (Dielectric) เพื่อลดการรั่วไหลของไฟฟ้า มีค่าความจุไฟฟ้าที่เสถียรและทนทานต่อสภาพแวดล้อม ใช้ในโทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป

(2) ฉนวนไฟฟ้าและซับสเตรตเซรามิก (Ceramic Substrates & Insulators) ใช้ในแผงวงจรพิมพ์ (PCB) และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แรงสูง ใช้วัสดุเซรามิก เช่น อะลูมินา (Al_2O_3) และเบริลเลียม (BeO) ที่มีค่าการนำความร้อนสูง

(3) ตัวต้านทานเซรามิก (Ceramic Resistors) ใช้เซรามิกเป็นตัวต้านทานที่ทนความร้อนและมีค่าความต้านทานคงที่ ใช้ในอุปกรณ์ที่ต้องการความแม่นยำสูง เช่น ระบบอิเล็กทรอนิกส์ในยานยนต์

(4) เซรามิกไฟฟ้าเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Ceramics) ใช้ในไมโครโฟน ลำโพง คริสตัลนาฬิกา และตัวแปลงสัญญาณ (Sensors) วัสดุที่ใช้ เช่น แบเรียมไททาเนต (BaTiO_3) และตะกั่วเซอร์โคเนตไททาเนต (PZT)

(5) เซรามิกในเซมิคอนดักเตอร์ (Semiconductor Ceramics) ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ไดโอดและทรานซิสเตอร์ วัสดุที่ใช้เช่น ซิลิคอนไนไตรด์ (Si_3N_4) และไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2)

(6) ฉนวนในสายไฟแรงสูง (High-Voltage Ceramic Insulators) ใช้ในหม้อแปลงไฟฟ้าและสายส่งไฟฟ้าแรงสูง วัสดุที่ใช้ เช่น พอร์ซเลนและสเตียไทต์ (Steatite)

6.5 อุตสาหกรรมการแพทย์ (Medical Industry) เซรามิกทางการแพทย์มีความเข้ากันได้ดีกับร่างกายมนุษย์ (Biocompatibility) เช่น

6.5.1 รากฟันเทียมเซรามิก ทนทานและเข้ากับร่างกายได้ดี

6.5.2 ข้อเข่าและข้อสะโพกเทียม ใช้เซอร์โคเนีย (ZrO_2) และไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite)

6.5.3 วัสดุเคลือบฟันเทียม ใช้พอร์ซเลนและเซอร์โคเนียเพื่อความแข็งแรงและความสวยงาม

6.6 อุตสาหกรรมพลังงาน (Energy Industry) เซรามิกถูกใช้ในอุตสาหกรรมพลังงานที่ต้องการวัสดุที่ทนความร้อนและการกัดกร่อน เช่น

6.6.1 เซลล์เชื้อเพลิงเซรามิก (Solid Oxide Fuel Cells - SOFCs) ใช้ผลิตพลังงานสะอาด

6.6.2 แผงโซลาร์เซลล์ ใช้วัสดุเซรามิกบางชนิดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

6.6.3 วัสดุฉนวนในโรงไฟฟ้า ป้องกันความร้อนและกระแสไฟฟ้าในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

7. บทสรุป

เซรามิกเป็นวัสดุที่มีความหลากหลายทั้งในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรม เนื่องจากมีความแข็งแรง ทนต่อความร้อน และทนต่อการกัดกร่อน การพัฒนาเซรามิกขั้นสูงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมที่ต้องการวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษ เช่น การแพทย์ อิเล็กทรอนิกส์ และอวกาศ

เซรามิกทางวิศวกรรมเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง ทนความร้อน และทนการสึกหรอ จึงถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมที่ต้องการวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อิเล็กทรอนิกส์ และอวกาศ แม้ว่าจะมีข้อเสียเรื่องความเปราะ แต่ด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ เซรามิกได้รับการพัฒนาให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ทำให้เป็นวัสดุที่ขาดไม่ได้ในงานวิศวกรรมยุคใหม่

เซรามิกถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ตั้งแต่ ก่อสร้าง ยานยนต์ อวกาศ อิเล็กทรอนิกส์ การแพทย์ และพลังงาน เนื่องจากมีความแข็งแรง ทนต่ออุณหภูมิสูง และเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ทำให้เป็นวัสดุที่มีบทบาทสำคัญในเทคโนโลยีสมัยใหม่