บทที่ 2

หลักการพื้นฐานและการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการพื้นฐานเกี่ยวกับการแปรรูปวัสดุ

กรรมวิธีการผลิตของการขึ้นรูปโลหะมีหลายวิธี ได้แก่

1) การหลอมละลาย เช่น การหล่อโลหะ (casting of molten metal)

2) การแปรรูปด้วยแรงดันสูง (forming using high pressure) เช่น การทุบขึ้นรูป (forging) การรีด (Rolling)

3) การกัดวัสดุ (removing exess material (machining)) เช่น การเจาะ การกลึง

4) การเชื่อมประสาน (joining)

5) การแปรรูปด้วยแรงดันสูงและอุณหภูมิ (forming using high pressure and temperature) ได้แก่ ผงโลหะวิทยา (powder metallurgy)

2.2 ผงโลหะวิทยา (powder metallurgy)

ผงโลหะวิทยา (powder metallurgy) มีสัญลักษณ์การเขียนอย่างย่อว่า P/M ชิ้นส่วนของผงโลหะผสมนั้น ต้องทำการอัดผงโลหะที่มีส่วนผสมต่างๆ ผสมคลุกเคล้ากันอย่างเสมอดีแล้วทำการอัดให้ได้รูปร่างตามต้องการ แล้วจึงนำชิ้นส่วนอัดนั้นมาทำการเผา(Sintering) คือ การให้ความร้อนให้ผงยึดเกาะติดกัน แต่ยังไม่ถึงขั้นหลอมละลาย การผลิตชิ้นส่วนผงโลหะขึ้นรูป แบ่งตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) การทำผงโลหะ

2) การผสมและการอัดผงโลหะให้เป็นรูปร่างชิ้นส่วน

3) การเผา

4) การอัดเพื่อปรับขนาดให้เที่ยงตรง หรือ การชุบแข็ง หรือ การอาบคาร์บอน หรือ การจุ่มลงน้ำมัน

2.2.1 การทำผงโลหะ

กระทำได้หลายวิธีแตกต่างกันตามรูปร่างและขนาดของผงโลหะ

1) *วิธีการพ่นไอเหลว* วิธีการนี้อาศัยหลักการเป่าลมหรือไอน้ำหรือน้ำหรือไฮโดรเจนผ่านรูและน้ำโลหะเหลว จะปลิวผ่านระบบฉีดที่มีลมเป่า น้ำ หรือ ไฮโดรเจนเป่าให้เป็นฝอยหล่นลงน้ำเป็นผงโลหะตามต้องการ

- ผงที่ได้จากการเป่าด้วยลม จะเป็นเม็ดกลมผิวมัน
- ผงที่ได้จากการเป่าด้วยไอน้ำ จะได้ผงเม็ดกลม
- ผงที่ได้จากการเป่าด้วยน้ำ จะมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ

2) *วิธีการอิเลคโตรไลซีส* จะกระทำโดยอาศัยหลักการเหมือนทองแดงที่ได้จากวิธีอิเลคโตรไลซีส ที่ขั้วแคโทค(cathode) จะเกิดการจับตัวเป็นโคลนผงโลหะ (ที่ไม่เกาะแน่นที่ขั้วแคโทคแต่อย่างใด)

3) *วิธีการคาร์บอนนิล*(carbonyl process) เป็นรวมตัวของโลหะกับกลุ่มคาร์บอนมอนออกไซด์(Co) ที่เป็นของเหลว ณ อุณหภูมิห้อง เช่น $Fe(CO)_5$ และ $Ni(CO)_4$ ที่อุณหภูมิสูงจะสลายตัวเป็นผงโลหะบริสุทธิ์รูปร่างกลม

4) *วิธีการรีดักชั่น* โลหะออกไซด์ เช่น เหล็กไตรออกไซด์(Fe_2O_3)วุลแฟรมไตรออกไซด์(WO_3) และโมลิบดีนัมไตรออกไซด์(MoO_3) จะนำมารีดักชั่นด้วยการอบด้วยกระแสไฟฟ้าไฮโดรเจน จะได้ผงโลหะที่ค่อนข้างมีเม็ดหยาบ วิธีการนี้จะใช้กับ วุลแฟรม โมลิบดีนัม และผงเหล็ก

2.2.2 กระบวนการผสมและการอัดขึ้นรูปผงโลหะ

2.2.2.1 การผสม (mixing)

การผสมเป็นกระบวนการหนึ่งในการผลิตผลิตภัณฑ์ผงโลหะผสม ซึ่งจะมีผลต่อการอัดและการเผา ซึ่งผงโลหะที่ผสมต้องมีเนื้อเดียวกัน มาผสมคลุกเคล้าผงที่มีความแตกต่างกัน ให้รวมตัวกันเป็นเนื้อเดียว

การผสมจะใช้เครื่องมือทางกล ซึ่งมีแบบต่างๆ ต่อไปนี้

1) rotating drum

2) rotating double cone

3) screw mixer

4) blade mixer

ขนาดการบรรจุผงสำหรับการผสม ให้ใส่ผงลงไปใน เครื่องมือเชิงกล ประมาณ 20 - 40% ของความจุเต็ม ในขั้นตอนการผสมนี้ มีการใส่สารเติมแต่ง คือ

1) สารลื่น (lubricant) เป็นผงซิงก์สเตอเรต(zinc-sterate) หรือ ผงอลูมิเนียม เล็กน้อยประมาณ 0.5- 1.0 % ผสมลงไป เพื่อช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างผงโลหะกับผนังแม่พิมพ์ในระหว่างการอัด โดยสารลื่นจะไม่เกิดปฏิกิริยาเคมกับผงโลหะ ซึ่งจะระเหยกลายเป็นก๊าซในระหว่างการเผา

2) สารยึดติด (binders) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงเพียงพอของชิ้นส่วนในการอัด โดยชิ้นส่วนนั้นไม่ต้องผ่านกระบวนการการเผา

3) สารป้องกันการเกาะตัว เพื่อช่วยในการป้องกันมิให้ผงโลหะติดกันเป็นก้อน ก่อนทำการอัด เป็นช่วยในการไหลของผงโลหะลงสู่แม่พิมพ์ ถ้ามีการติดกันเป็นก้อนแล้ว ทำให้การไหลไม่สะดวก มีผลต่อปริมาตรของชิ้นงาน

2.2.2.2 การอัด (Pressing)

การอัดเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผงโลหะผสม คือ ผงโลหะจะถูกอัดภายใต้แรงดัน ในแม่พิมพ์เหล็กกล้า ทำให้ช่องว่างระหว่างผงโลหะเล็กลง อนุภาคเชื่อมติดกันด้วยแรงอัด มีความหนาแน่นมากขึ้น และมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะไปเผาต่อไป

กระบวนการอัดขึ้นรูปผงโลหะก่อนการเผา มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ การอัดขึ้นรูปผงโลหะในแม่พิมพ์แบบง่าย(simple die compaction) และการอัดขึ้นรูปแบบไอโซสแตติก-เพรสซิ่ง(isostatic pressing) ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึง การอัดขึ้นรูปผงโลหะในแบบพิมพ์แบบง่ายเท่านั้น

เครื่องอัดผงขึ้นรูป ที่ใช้กัน ส่วนมากจะเป็นเครื่องอัดด้วยแรงกล (mechanical presses) เครื่องอัดไฮดรอลิกส์ (hydraulic presses) เครื่องอัดเหล่านี้ควรมีข้อกำหนดในการใช้งานพอสรุป ดังนี้

1) ระยะสะโตรก(stroke) ในการอัดต้องเพียงพอ

2) ระยะสะโตรกและความเร็วของการอัด และ การกระทุ้งต้องสามารถปรับได้

3) เครื่องอัดต้องสามารถให้แรงอัดได้อย่างเพียงพอ และ ทำการอัดผงให้มีความหนาแน่นสม่ำเสมอกันทั้งชิ้นงาน

4) ระยะสะโตรกในการอัดในการทำงานจริงอาจมีหลายขั้นตอน แต่ต้องเป็นจังหวะที่เข้ากันได้โดยอัตโนมัติ

การอัดผงโลหะโดยแม่พิมพ์อย่างง่าย (simple die compaction) เครื่องอัดด้วยแรงกลแบบเพลาข้อเหวี่ยง (Mechanical Eccentric Presses) นิยมใช้มากที่สุดสำหรับอัดผงชิ้นส่วนขนาดเล็ก ๆ ที่ให้แรงอัดประมาณ 5-30 ตัน/ตารางนิ้ว ผงถูกอัดแน่นถึง 50-80 เปอร์เซ็นต์ ของความหนาแน่นตามทฤษฎี การใช้เครื่องแบบนี้ จะทำการอัดด้วยความเร็วสูง และชิ้นงานควรมีพื้นที่หน้าตัดไม่เกิน 1 ตารางนิ้ว ถ้าขนาดชิ้นงานโตกว่านี้ ควรใช้เครื่องอัดแบบท็อกเกิล(Toggle) หรือเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ เป็นต้น

ตามหลักเกณฑ์ของการอัดแล้ว ความลึกของโพรง ควรจะประมาณ 2.5 เท่า ของขนาดของชิ้นงานที่ถูกอัดขึ้นรูป ชิ้นงานที่ถูกอัดขึ้นรูปแล้ว เรียกว่า กรีนคอมแพค(green compact) หมายถึง ชิ้นงานที่มีความแข็งของโครงสร้างจากการเข้ารูปกันเอง(inter lock) เพื่อให้มีปริมาตรเพียงพอที่จะบรรจุผงได้เต็มที่ ดังนั้นระยะสะโตรกของการใช้เครื่อง จึงมีขีดจำกัด ถ้าต้องการทำชิ้นงานที่ยาวเกินไปหรือเกินระยะสะโตรกของเครื่องนั้น ๆ เครื่องอัดไฮดรอลิกส์จะมีช่วงสะโตรกการใช้งานได้กว่ากว่า คือ ตั้งแต่ชิ้นงานขนาดเล็กจนถึงชิ้นงานขนาดใหญ่ และมีแรงอัดได้ถึง 5,000 ตัน แต่โดยทั่วไปแล้วจะอัดด้วยอัตราความเร็วที่ต่ำกว่าเครื่องอัดด้วยแรงกล แต่สำหรับการอัดในระยะสะโตรกสั้น ๆ หรือทำการอัดซ้ำก็สามารถปรับอัตราความเร็วให้สูงขึ้นได้

ขั้นตอนการอัด

1) เติมผงโลหะลงในโพรงของแม่พิมพ์ โดยที่ป้อนผง
2) ที่ป้อนผงเลื่อนเข้าที่ หัวกดด้านเริ่มทำการอัด
3) หัวกดด้านล่างทำการอัด พร้อมกับกดด้านบน จนถึงระยะสโตกสุดท้าย
4) หัวกดด้านล่างดันชิ้นงานผงโลหะที่อัดสมบูรณ์แล้วออกจากแม่พิมพ์

ปริมาณการผลิตชิ้นส่วนผงโลหะขึ้นรูปนั้น โดยทั่วไปจะทำการผลิตครั้งละ จำนวน 10,000 ชิ้น เพื่อเป็นการพอเหมาะในการตั้งแม่พิมพ์ จำนวนชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตต่อหน่วยเวลานั้น ขึ้นอยู่กับขนาดและ รูปร่างที่ซับซ้อนของชิ้นงาน โดยรูปร่างที่ธรรมดาอัตราการผลิตจะสูงถึง 30 ชิ้นต่อนาที โดยใช้เครื่องแบบเพลาข้อเหวี่ยง ส่วนแบบที่ใช้เครื่องไฮโดรลิกจะเป็นชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ อัตราการผลิตจะช้ากว่าแบบเพลาข้อเหวี่ยง คือ 10 ชิ้นต่อนาที ยิ่งชิ้นงานมีความ

ซับซ้อนมากขึ้นอัตราการผลิตก็จะลดลง ในการออกแบบแม่พิมพ์ นั้น จะออกแบบเพื่อการผลิตในระยะยาว คือ 150,000 ถึง 200,000 ชิ้น ซึ่งราคาของ แม่พิมพ์ จะขึ้นอยู่ที่ความซับซ้อนของชิ้นงาน ส่วนทางด้านค่าแรงงานนั้นจะถูก เนื่องจาก สามารถใช้แรงงานไร้ฝีมือในการทำงานในส่วนของการอัดขึ้นรูปและการเผา

2.2.3 การเผา (sintering)

หลังจากที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปแล้วผลิตภัณฑ์จะมีความแข็งแรงที่ไม่มาก ทำให้ง่ายต่อการแตกหักและยังประโยชน์ไม่ได้ จะต้องผ่านขั้นตอนการเผา โดยเป็นการให้ความร้อนเพื่อให้อนุภาคโลหะมีการละลายติดกัน เป็นพันธะ ซึ่งเป็นการเพิ่มความแข็งแรงแก่ชิ้นงาน การเผานี้จะตั้งอุณหภูมิการเผาที่ 70% ถึง 90 % ของอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของโลหะ โดยที่โลหะก็ยังอยู่ในสถานะของแข็ง (solid-phase sintering) มิได้หลอมละลาย

ในระหว่างการเผา จะมีขั้นตอน การยึดเกาะกัน คือ

1) การจัดเรียงตัว (rearrangement shrinkage) เมื่อผงโลหะเชื่อมประสานละลาย ผงโลหะหลักจะจัดเรียงตัวเป็นระเบียบใหม่ ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคลดลง

2) การซึมแพร่ (diffusion) เป็นขั้นตอนที่ขอบผิวนอกของอนุภาคมีลักษณะเยิ้มติดกับผิวสัมผัสของอนุภาคอื่น

3) การเกิดผลึกและเกรนโต (recrystallization and grain growth) จะเกิดขึ้นระหว่างส่วนสัมผัสกันของผงอัดเป็นแขนยึดโครงสร้าง (lattice structure)

บรรยายกาศในเตาเผาจะถูกควบคุม เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น โดยลดปริมาณออกซิเจนในเตาเผาและ ช่วยในการระเหยสารลื่นในชิ้นงาน ตามปกติบรรยายกาศในเตาจะเป็นก๊าซเฉื่อย ไนโตรเจน ไฮโดรเจน ก๊าซธรรมชาติ และ แอมโมเนีย(ไฮโดรเจน 75 เปอรเซ็นต์ กับไนโตรเจน 25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ลักษณะเตาที่ใช้เป็นเตาชนิดสายพาน (mesh-belt conveyors) มีสายพานตลอดความยาวของเตาเผา โดยการใส่ชิ้นงานเป็นแบบต่อเนื่อง ใส่ชิ้นงานทางด้านหน้า ชิ้นงานจะวิ่งตามสายพานออกมาทางด้านหลัง ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง เตาชนิดนี้ มีคุณสมบัติป้องกันก๊าซจากภายนอกได้ดี มีการตั้งอุณหภูมิการเผาได้หลายค่า อีกทั้งยังสามารถปรับความเร็วของสายพาน ซึ่งจะสัมพันธ์กับเวลาและอุณหภูมิในการเผา

2.2.4 การปรับปรุงคุณสมบัติของชิ้นส่วนผงโลหะผสม

1) การชุบแข็ง ชิ้นส่วนผงโลหะผสมจะทำการอาบคาร์บอน (carburization) ในอ่างผงถ่านให้ผิวแข็ง โดยจะกระทำกับชิ้นส่วนที่มีค่าความหนาแน่นสูง (มิฉะนั้นผงถ่านจะซึมเข้าไปในรูอากาศลึกจนเกินไป ทำให้กลายเป็นการชุบแข็งตลอดแท่ง) จากนั้นจึงจะทำการชุบแข็ง

2) การปรับปรุงคุณสมบัติด้วยไอน้ำ โดยการนำชิ้นงานผ่านเข้าไปในไอน้ำ 500 C เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ทำให้ผิวเกิดออกซิเดชั่น เป็น Fe_3O_4 มีความแข็งเพิ่มขึ้น และทำให้ผิวทนต่อการกัดกร่อนได้อีกด้วย โดยบางส่วนจะอุดรูบนผิวงานด้วย ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น 8 %

3) การปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการกัลวาไนซิง กรณีที่เป็นชิ้นส่วนผงโลหะอัดขึ้นรูป จะต้องมีค่าความหนาแน่นสูงถึง 7.2 kg/dm^3 ในการจุ่มลงในอ่างของเหลวนี้ จะทำให้เกิดการซึมเข้าไปในรูพรุนและทำให้ทนการกัดกร่อนได้

4) การปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการอินฟิลเตรชัน(infiltration) เป็นวิธีการจุ่มชิ้นส่วนผงโลหะอัดขึ้นรูปลงในโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำหรือเรซินพลาสติก ทำให้ชิ้นส่วนมีความเหนียวเพิ่มขึ้น

2.2.5 การประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ผงโลหะผสม

1) แผ่นกรอง แผ่นกรองที่ทำจากโลหะผง จะมีความแข็งแรงและทนต่อแรงเสียดสีได้ดีกว่าแผ่นกรองที่ทำจากเซรามิก และสามารถควบคุมคุณสมบัติได้ถึง 80-97% สามารถกรองโลหะทั้งที่ร้อนและเย็น ส่วนมากใช้กรองโลหะพวก บรอนซ์ และนิกเกิล

2) ซีเมนท์คาร์ไบด์(Cemented carbides) คือ ผงของทังสเตนคาร์ไบด์ นำมาผสมกับผงโคบอลต์ แล้วอัดขึ้นรูปจะมีคุณสมบัติดี คือ มีทั้งความแข็งและความเหนียว เมื่อขึ้นรูปงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะต้องนำไปผ่านกรรมวิธีอบร้อน โดยใช้อุณหภูมิเหนือจุดหลอมของโคบอลต์ ทั้งนี้เพราะโคบอลต์เป็นตัวเกาะยึด คือ โคบอลต์จะหลอมละลายเกาะยึดทังสเตนคาร์ไบด์ ผลที่ได้จาก ซีเมนท์คาร์ไบด์ เช่น ใช้ทำแบบแม่พิมพ์ มีดตัดต่างๆ

3) เกียร และ ปั๊ม ทำจากผงเหล็กผสมกับผงกราไฟต์ ผลิตผลจากวิธีนี้จะมีขนาดเที่ยงตรงแน่นอนและสามารถควบคุมขนาดต่างๆ ได้ หลังจากผ่านกรรมวิธีอบร้อน แล้วนำชิ้นงานไปแช่ในน้ำมัน เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการหล่อลื่น

4) แปรงถ่าน โดยมากผลิตมาใช้กับมอเตอร์ มีส่วนผสมของทองแดงและกราไฟต์ และอาจมีตะกั่ว ดีบุกผสมอยู่ด้วยเพียงเล็กน้อย เพื่อประโยชน์ในการต้านทานต่อการสึกหรอ

แกรไฟต์ที่ผสมลงไป เพื่อต้องการทำให้ลื่น คุณสมบัติที่เด่นของผงกราไฟต์ในกรรมวิธีผงโลหะ คือ ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ และมีคุณสมบัติพิเศษ คือ ทนต่อความร้อนได้ดี

5) ปลอกแบริ่ง ส่วนมากทำมาจากผงทองแดง ดีบุก และแกรไฟต์ และ อาจมี ผงอื่น ๆ ผสมอีกเล็กน้อย เมื่อขึ้นรูปเสร็จแล้ว ต้องนำไปผ่านกรรมวิธีอบร้อน เมื่อผ่านการอบร้อนแล้ว ก็นำไปตกแต่งให้ได้ขนาด แล้วนำไปแช่ในน้ำมัน การอบร้อนจะดูดน้ำมันเอาไว้ และนอกจากจะมีช่องว่าง สำหรับดูดน้ำมันแล้วยังมีแกรไฟต์เป็นตัวหล่อลื่นอีกด้วย

6) แม่เหล็ก การทำแม่เหล็กให้เป็นแม่เหล็กถาวร โดยวิธีอัดผงโลหะ จะมีคุณสมบัติที่ดีที่สุด เพราะว่ามีส่วนผสมของผงโลหะพวกเหล็ก อลูมิเนียม นิกเกิล และโคบอลต์ เมื่อนำผงดังกล่าว มารวมกันอัดลงในแบบตามที่ต้องการ จะได้โครงสร้างที่ละเอียด และมีการเรียงตัวอย่างดี จนได้เป็นแม่เหล็กถาวร

7) ชิ้นส่วนในงานไฟฟ้า ชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ใช้กับงานไฟฟ้าส่วนมาก ต้องการให้มีคุณสมบัติที่ทนต่อการสึกหรอและอาจจะใช้เป็นตัวนำที่ดี ซึ่งมีส่วนผสมของทังสเตนกับทองแดง ทังสเตนกับโคบอลต์ ทังสเตนกับเงิน เงินกับโมลิบดินัม และ ทองแดงกับนิกเกิล เป็นต้น ซึ่งส่วนผสมดังกล่าวขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่ใช้ เช่นใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ หรือไฟฟ้ากระแสตรง หรืออาจจะนำไฟใช้เกี่ยวกับงานด้านอื่น ๆ เช่น แผ่นคลัตช์ จานเบรค ลวดเชื่อม เป็นต้น

2.3 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอย เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ชนิดคือ ตัวแปรตาม (dependent variable) หรือที่บางครั้งเรียกว่าตัวแปรตอบสนอง(response variable) หนึ่งตัว กับตัวแปรอิสระ (independent variable) หรือ อาจเรียกว่าเป็นตัวแปรถดถอย (regressor variable) อีกหนึ่งตัวหรือมากกว่า โดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้จะอยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) และมีชื่อเรียกเฉพาะว่าสมการถดถอย (regression equation)

สมการถดถอยถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างจำนวนหนึ่ง ซึ่งบ่อยครั้งที่แหล่งที่มาของข้อมูลเหล่านี้ได้มาจากการทดลองที่ไม่ได้มีการวางแผนเอาไว้ก่อน (unplanned experiment) เช่น เป็นข้อมูลที่ได้มาจากการสังเกตุปรากฏการณ์ต่างๆที่อยู่นอกเหนือการควบคุม หรือเป็นข้อมูลบันทึกในอดีต แต่อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์การถดถอยจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อนำมาใช้วิเคราะห์

ข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองที่มีการออกแบบการทดลองไว้ก่อนล่วงหน้า (designed experiment) เพราะโดยทั่วไปแล้ว การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจะเป็นเทคนิคที่ช่วยให้ผู้วิเคราะห์เห็นว่าปัจจัยใดบ้างที่มีความสำคัญหรือส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองของการ ทดลอง ในขณะที่การวิเคราะห์การถดถอยจะถูกนำมาใช้เพื่อสร้างแบบจำลองเชิงปริมาณที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเหล่านั้นกับตัวแปรตอบสนอง

การนำการวิเคราะห์การถดถอยไปใช้อย่างผิดๆ เกิดขึ้นเสมอ ทั้งนี้เนื่องจากความเข้าใจที่ผิดพลาดในเรื่องของการวิเคราะห์การถดถอย ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการนำการวิเคราะห์การถดถอยไปใช้ ผู้วิเคราะห์จะต้องคำนึงถึงสิ่งสำคัญ ดังต่อไปนี้

1) การนำการวิเคราะห์การถดถอยไปใช้เพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งต่างๆ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วไม่น่าจะมีความสัมพันธ์กันเลย ถึงแม้ว่ารูปแบบของความสัมพันธ์ที่ได้จะมีความเหมาะสมกับข้อมูลมากเพียงไรก็ตาม แต่ความสัมพันธ์นั้นก็จะไม่มีความหมายใดๆเลย และไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ ทั้งนี้เนื่องจากรูปแบบของความสัมพันธ์ที่ได้นั้นไม่ตั้งอยู่บนเหตุและผลจึงไม่สามารถเชื่อถือได้

2) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ได้จาก การวิเคราะห์ความถดถอยนั้น จะเป็นจริง และถูกต้องเฉพาะเมื่อตัวแปรถดถอยมีค่าอยู่ในช่วงของข้อมูล ที่นำมาทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เท่านั้น การที่จะทำนายค่าของตัวแปรตามจาก ค่าของตัวแปรถดถอยที่อยู่ภายนอกช่วงดังกล่าว จะทำให้ค่าของตัวแปรตามที่ได้มีความน่าเชื่อถือน้อยลง เนื่องจากข้อสมมติเกี่ยวกับรูปแบบ ของความสัมพันธ์ที่อยู่นอกช่วงดังกล่าวมีความไม่แน่นอน

ในการทดลองบางอย่าง รูปแบบที่แน่นอนของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ อาจจะเป็นที่ทราบอย่างแน่ชัดแล้ว แต่ในการทดลองส่วนใหญ่ ผู้ทดลองจะไม่ทราบรูปแบบของความสัมพันธ์นั้นอย่างแน่ชัด ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของผู้วิเคราะห์ ที่ต้องหาฟังก์ชั่นที่จะใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตอบสนอง ที่เหมาะสมที่สุด จากกลุ่มของข้อมูล ที่นำมาวิเคราะห์

รูปแบบของสมการถดถอย แบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆคือ

2.3.1) Simple Linear Regression ได้แก่ สมการถดถอยที่แสดงถึงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัว กับตัวแปรตอบสนองหนึ่งตัว ซึ่งมีแบบจำลองของความสัมพันธ์เป็นดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \in \qquad (2.1)$$

เมื่อ y = ตัวแปรอิสระ

x = ตัวแปรตอบสนอง

2.3.2) Multiple Linear Regression ได้แก่สมการถดถอยที่แสดงถึงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวกับตัวแปรตอบสนองหนึ่งตัว โดยมีแบบจำลองของความสัมพันธ์เป็นดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + _____ + \beta_k x_k + \in \qquad (2.2)$$

2.3.3) Other Regression Models ได้แก่ สมการถดถอยที่มีรูปแบบของความสัมพันธ์เป็นแบบอื่น เช่น ความสัมพันธ์แบบโพลีโนเมียล ดีกรี k ของตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + _____ + \beta_k x^k + \in \qquad (2.3)$$

หรือ ความสัมพันธ์แบบโพลีโนเมียลดีกรี 2 ของตัวแปรอิสระ 2 ตัว ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x^2 + \beta_{22} x^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \in \qquad (2.4)$$

ซึ่งวิธีการที่จะใช้ในการหารูปแบบของความสัมพันธ์เหล่านี้ จะใช้วิธีการเปลี่ยนรูป แบบของความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปของความสัมพันธ์แบบเส้นตรงก่อน แล้วจึงใช้วิธีการของการหาความสัมพันธ์แบบเส้นตรงเพื่อหาสมการถดถอยอีกทีหนึ่ง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wachtman, J.B. , Capps, W. and Mandel, J. (1972) ได้นำเสนอผลงานวิจัยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธ์ของความแปรปรวน (Coefficient of Variation) ของ การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ทางด้านความแข็งแรงในการรับแรงดัด (bending Strength) โดยใช้วิธี Biaxial Flexure Test โดยทดสอบผลิตภัณฑ์ 8 ประเภทของอลูมินาในส่วนผสมต่าง ๆ และอุณหภูมิการเผาที่เปลี่ยนแปลง จากจำนวนผู้ผลิต 5 ราย โดยทำการส่งไปยังสถานที่ทดสอบ 14 แห่ง และใช้ผลิตภัณฑ์ละ 12 ชิ้น ผลที่ได้คือ ส่วนเบี่ยงมาตรฐานภายในสถานที่ทดสอบเดียวกันมีน้อย และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสถานทีทดสอบจะมีการเบี่ยงเบนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และค่าสัมประสิทธ์ของความแปรปรวนที่สมบูรณ์ควรมีการทดสอบที่ ชิ้นทดสอบ 10 ชิ้นต่อ 1 ตัวอย่างทดสอบ ค่าสัมประสิทธ์ของความแปรปรวนที่ได้เท่ากับ 5.2-6.8 %

Schwartz, J.B., Flamholz, J. R. and Press, R.H. (1973) ได้นำเสนอผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำคอมพิวเตอร์มาใช้เพื่อการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด ในกระบวน การผลิตยา ซึ่งได้แก่ สูตรที่ใช้ และกระบวนการที่ใช้ เพื่อให้ได้ยาที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด โดยเริ่มจากการวางแผนการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลตามหลักการออกแบบการทดลองซึ่งมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงทั้งสิ้น 5 ปัจจัย ทดลองและเก็บข้อมูลของตัวแปรตามที่ได้จากการทดลอง เช่น ช่วงเวลาในการแตกตัว ความแข็งของเม็ดยา น้ำหนัก ความหนา ความพรุน และขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุนในเม็ดยา แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) เพื่อหาสมการของความสัมพันธ์ระหว่างเงื่อนไขในการผลิตกับคุณสมบัติด้านต่างๆของเม็ดยา ซึ่งได้สมการออกมาในรูปของสมการโพลีโนเมียลดีกรี 2 จากนั้นจึงนำสมการดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์หาเงื่อนไขการของผลิตที่เหมาะสมที่สุด ด้วยวิธี lagrangian method ผลการวิจัยพบว่า ค่าคุณสมบัติที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการ กับค่าที่ได้จากการทดลองให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก

Nogueira, R.E.F.Q. , Gawne, D.T. and Edirisinghe, M.J. (1993) ได้นำเสนอผลงานวิจัย เกี่ยวกับ คุณสมบัติเชิงกล ของเซรามิกที่ผลิตจากการแม่พิมพ์ฉีด โดยทำการทดสอบ ความแข็งแรงในการรับแรงดัด(flexural Strength) และ การทดสอบความแข็ง(hardness)แบบวิคเกอร์ จำนวน 30 ชิ้น ซึ่งได้ผลการทดสอบได้ค่าดังนี้ คือ ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงในการรับแรงดัด เท่ากับ 268 เมกกะปาสคาล(MPa) และ ค่าเฉลี่ยของการทดสอบความแข็ง เท่ากับ 1,540 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร($kg\ mm^{-2}$)

Arato, P., Besenyei, E., Kele, A., and Weber, F. (1995) ได้นำเสนอผลการวิจัยเกี่ยวกับส่วนผสมของเซรามิกที่ใช้ผงซิลิกอนไนเตรนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยการแปรค่าความหนาแน่นตั้งแต่ 60 เปอร์เซ็นต์ ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ตามทฤษฎี และได้ทำการทดสอบความแข็งแรงในการรับแรงดึง ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ค่าความแข็งแรงในการรับแรงดัดชนิด 3 จุด และ ชนิด 4 จุด ค่าความแข็งโดยวิธีการวัดแบบวิคเกอร์ และ วัดค่าความเหนียว เพื่อหาสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของคุณสมบัติเชิงกลและการทดสอบกับค่าความหนาแน่นของเซรามิก

Goto, K. *et al.* (1996) ได้นำเสนอผลการวิจัยเกี่ยวกับการขึ้นผงอลูมินาขึ้นรูป โดยมีส่วนผสมของ อลูมินา 75 เปอร์เซ็นต์กับ ZrO_2 25 เปอร์เซ็นต์ โดยมี AlO(OH) ที่อยู่ในสภาพเจลเป็นตัวประสาน ทำการเผาที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซสเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และได้นำชิ้นทดสอบมาศึกษาคุณสมบัติเชิงกลทางการความแข็งแรงในการรับแรงดัด และ คุณสมบัติความเหนียว

Liu, Y.B., Lim, S.C., Lu, L. and Lai, M.O. (1994) ได้นำเสนอผลงานวิจัย เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีความหนาแน่นสูง มีขนาดเกรนเล็ก โดยโครงสร้างเป็นลักษณะแบบเมตริก โดยใช้กรรมวิธีการขึ้นรูปแบบผงโลหะผสม โดยทำการทดลอง ทั้งการอัดผงโลหะขึ้นรูป การฉีดอัดผง และการอัดร้อน โดยใช้วัสดุ อลูมิเนียมผสม ทองแดงผสม และทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล คือ การความแข็งแรงในการรับแรงดึง ค่ายังโมดูลัส และ ค่าความยืดหยุ่น

Soppe, W.J. *et al* (1994) ได้นำเสนอ วิธีการจำลองแบบใหม่ของการเผาผงอัด ในรูปแบบ 3 มิติ รูปแบบตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่ามี 2 อนุภาคที่เชื่อมติดกัน และสามารถบรรยายการส่งผ่านมวลขั้นพื้นฐานเชิงกลในลักษณะการแพร่ของขอบเกรน ทั้งยังได้แสดงวิธีจำลอง ซึ่งบรรยายถึงผลกระกระทบของโครงสร้าง ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการเผา โดยผลของการจำลอง แสดงให้เห็นว่า สำหรับการเผาของการอัด และ การเกิดผลึก บางชนิดที่เป็นจุดบกพร่องเบื้องต้น

Ting, J.M. and Lin, R.Y. (1994) ได้นำเสนอผลการวิจัย ถึงรูปแบบของการผา ซึ่งอธิบายถึงผลกระทบของขนาดอนุภาคและผลกระทบของเกรน รูปแบบที่เสนอได้ทำนายถึงความเกี่ยวพันของความหนาแน่นกับขนาดของอนุภาค และ ความแข็งแรงที่เกิดจากผลกระทบของเกรน รูปแบบยังได้แสดงถึงอัตราการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่น และ มีค่าลดลงเมื่อขนาดของอนุภาคของผงมีอัตราขยายเพิ่มขึ้น หลังจากที่เกรนเกิดขึ้นแล้ว อัตราความหนาแน่นจะลดลงเมื่อขนาดของอนุภาคของผงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเริ่มต้น

Ter haar, J.H. and Duszczy, J. (1994) ได้นำเสนอผลการวิจัยเกี่ยวกับอลูมิเนียมเสริมแรงด้วยเส้นใย ในการเตรียมชิ้นงานทดสอบนั้นได้เลือกใช้วิธีการขึ้นรูป โดยกรรมวิธีการของผงโลหะผสม ในวิธีการฉีดผง ที่ความเร็วแตกต่างกัน และ ดูโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ เพื่อหาค่ามีความยาวของเส้นใยเสริมแรงในชิ้นทดสอบที่มีความยาวที่แตกต่างกัน แล้วทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกล คือ การแข็งแรงในการรับแรงดึง เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น ค่ายังโมดูลัส และหาความสัมพันธ์ระหว่างความของเส้นใยเสริมแรงกับคุณสมบัติเชิงกลต่าง ๆ

ภูษิต วงศ์หล่อสายชล และวัชรพล ธรรมอารี (1993) นำเสนอผลงานการนำเทคนิคและวิธีการแก้ปัญหาเชิงเส้น (linear programming problem) มาใช้กับปัญหาการเลือกแหล่งวัตถุดิบ และกำหนดสัดส่วนการใช้วัตถุดิบชนิดต่างๆที่เหมาะสมที่สุด ในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทเซรามิกส์ โดยยกกรณีศึกษาการผลิตเครื่องสุขภัณฑ์ประเภท Vitreious Ware การวิจัยเริ่มจากการสร้างสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะที่สำคัญๆของผลิตภัณฑ์ทางด้านองค์ประกอบทางเคมี กับสัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้แต่ละชนิด แล้วกำหนดเป็นชุดสมการเงื่อนไข และใช้สมการที่แสดงถึงต้นทุนของวัตถุดิบเป็นสมการเป้าหมายของปัญหาการหาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบ จากผลการวิจัยทำให้ได้สูตรการผลิตเครื่องสุขภัณฑ์เซรามิกส์ที่แตกต่างกัน 4 สูตร ตามแหล่งของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน