	แผนการสอน	**หน่วยที่ 5**
	ชื่อวิชา วัสดุช่างอุตสาหกรรม	**สอนครั้งที่ 5**
	ชื่อหน่วย โลหะผสมที่ไม่ใช่เหล็ก	**ชั่วโมงรวม 4 ชม.**
ชื่อเรื่องหรือชื่องาน ทองแดงผสม		**จำนวนชั่วโมง 2 ชม.**

หัวข้อเรื่องและงาน

โลหะเป็นวัสดุที่มีความสำคัญมากในงานช่างอุตสาหกรรมชนิดหนึ่ง ปัจจุบันวัสดุที่นำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมจะเป็นวัสดุประเภทโลหะถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของวัสดุทั้งหมด มีทั้งโลหะที่เป็นเหล็ก (Ferrous) โลหะที่ไม่ใช่เหล็ก (Non-Ferrous) และโลหะผสม (Alloy) การนำไปใช้ต้องพิจารณาเลือกตามความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานเนื่องจากโลหะแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนั้น การใช้งานก็แตกต่างกันด้วย

โลหะที่กล่าวมานี้สามารถนำมาปรับปรุงคุณสมบัติตามที่ต้องการได้โดยการเติมธาตุที่ต้องการลงไปจะได้โลหะที่มีคุณสมบัติตามต้องการ ปัจจุบันได้มีการจัดหาวัสดุอื่นซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับโลหะมาใช้งานทดแทนโดยเฉพาะแก้ว พลาสติก และไฟเบอร์กลาสส์ เป็นต้น

สาระสำคัญ

5. การผลิตชิ้นส่วนจากผงโลหะหรือโลหะซินเตอร์

สมรรถนะที่พึงประสงค์ (ความรู้ ทักษะ คุณธรรม จริยธรรม จรรยาบรรณวิชาชีพ)

1. แยกประเภทของโลหะได้
1. อธิบายคุณลักษณะของโลหะที่เป็นเหล็กและไม่ใช่เหล็กได้
2. บอกชนิดและคุณสมบัติของโลหะผสมได้
3. บอกชนิดของโลหะที่ไม่ใช่เหล็กได้
4. มีการพัฒนาคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ที่ผู้สอนสามารถสังเกตเห็นได้ในด้านการมีมนุษย์สัมพันธ์ ความมีวินัย ความรับผิดชอบ ความเชื่อมั่นในตนเอง ความสนใจใฝ่รู้

เนื้อหาสาระ

1. การผลิตชิ้นส่วนจากผงโลหะ (โลหะซินเตอร์)
   - 1.1 ขั้นตอนการผลิต
   - 1.2 กรรมวิธีการผลิตผงโลหะ
     - 1.2.1 กรรมวิธีทำให้เป็นละออง
     - 1.2.2 กรรมวิธีบดให้เป็นผง
   - 1.3 การผสมผงโลหะ
   - 1.4 การกดอัดของโลหะ
   - 1.5 การเผา
   - 1.6 การตบแต่งให้สำเร็จ

เนื้อหาสาระ

การผลิตชิ้นส่วนจากผงโลหะ (Power Metallurgy) หรือโลหะซินเตอร์

ในกระบวนการผลิตโดยทั่วไปจะนำแท่งโลหะมาขึ้นรูปให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ด้วยการหลอมละลายแต่เรื่องที่จะกล่าวต่อไปนี้ เป็นการผลิตชิ้นส่วนโลหะโดยการกดอัดผงโลหะให้มีรูปร่างตามแบบแล้วทำการเผา โดยความร้อนที่ให้มีอุณหภูมิไม่ถึงจุดหลอมละลายของโลหะ ซึ่งเราเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการผลิตชิ้นส่วนจากผงโลหะ (Powder Metallurgy หรือ P/M)

กระบวนการนี้ได้มีการนำมาใช้ตั้งแต่ ค.ศ. 1900 ทำการผลิตลวดทังสเตน (Tungsten Filament) เพื่อนำมาทำเป็นไส้หลอดไฟให้สว่าง ต่อมาได้มีการนำมาใช้งานกันมากขึ้น เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นส่วนที่มีขนาดเที่ยงตรงและรูปร่างตามต้องการ เช่น การทำเฟือง (Gears) ลูกเบี้ยว (Cam) บูช (Bushing) และเครื่องมือตัดต่าง ๆ เป็นต้น โพรงอากาศขนาดเล็กที่เกิดจากการผลิต จะช่วยให้กักเก็บการไหลซึมของน้ำมันได้ดี เช่น ในตลับลูกผืน ในส่วนประกอบของเครื่องยนต์ แหวนลูกสูบ ลิ้น ข้อต่อ และลูกสูบไฮดรอลิก เป็นต้น เหมาะสำหรับเทคโนโลยีขั้นสูง ชิ้นส่วนสำคัญของเครื่องบิน เช่น เฟืองของล้อ ตัวรองรับเครื่องยนต์ ใบพัด และฝาครอบเครื่อง ก็ทำโดยกรรมวิธีขึ้นรูปจากผงโลหะ (P/M)

โลหะบริสุทธิ์ โลหะผสม และโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก สามารถใช้กรรมวิธีผลิตด้วยผงโลหะได้เช่นเดียวกัน โลหะที่นิยมใช้การผลิตด้วยวิธีนี้ก็มีเหล็ก ทองแดง อะลูมิเนียม ดีบุก นิกเกิล ไทเทเนียม และโลหะในงานอุตสาหกรรมทั่วไป หรือชิ้นส่วนที่ทำมาจากทองเหลือง บรอนซ์ เหล็กกล้า และเหล็กไร้สนิม ผงที่ใช้ผสมกันจะใช้ผงโลหะจากการบดด้วยตัวของมันเอง

การผลิตชิ้นส่วนโลหะจากผงนี้จะมีความสมบูรณ์ได้นั้นต้องผ่านกระบวนการหล่อ ตีอัดและตกแต่งส่วนต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องมีความสัมพันธ์กันจึงจะได้ชิ้นส่วนโลหะหรือโลหะผสมที่สมบูรณ์มีความเที่ยงตรงสูง สามารผลิตชิ้นส่วนขนาดเล็กสุดตั้งแต่ลูกบอลของปากกาลูกลื่นจนถึงชิ้นส่วนขนาดใหญ่ มีน้ำหนักประมาณ 50 kg (100 lb) ถึงแม้ว่าชิ้นส่วนที่นิยมผลิตด้วยวิธีนี้ส่วนมากจะมีน้ำหนักน้อยกว่า 2.5 kg (5 lb) แต่ก็มีชิ้นส่วนของรถยนต์ขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักถึง 11 kg (25 lb) เป็นชิ้นส่วนที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง จำเป็นต้องใช้วิธีการผลิตด้วยวิธีนี้เช่นกัน

ตารางแสดงชนิดของผลิตภัณฑ์และส่วนผสมของผงโลหะในการขึ้นรูป

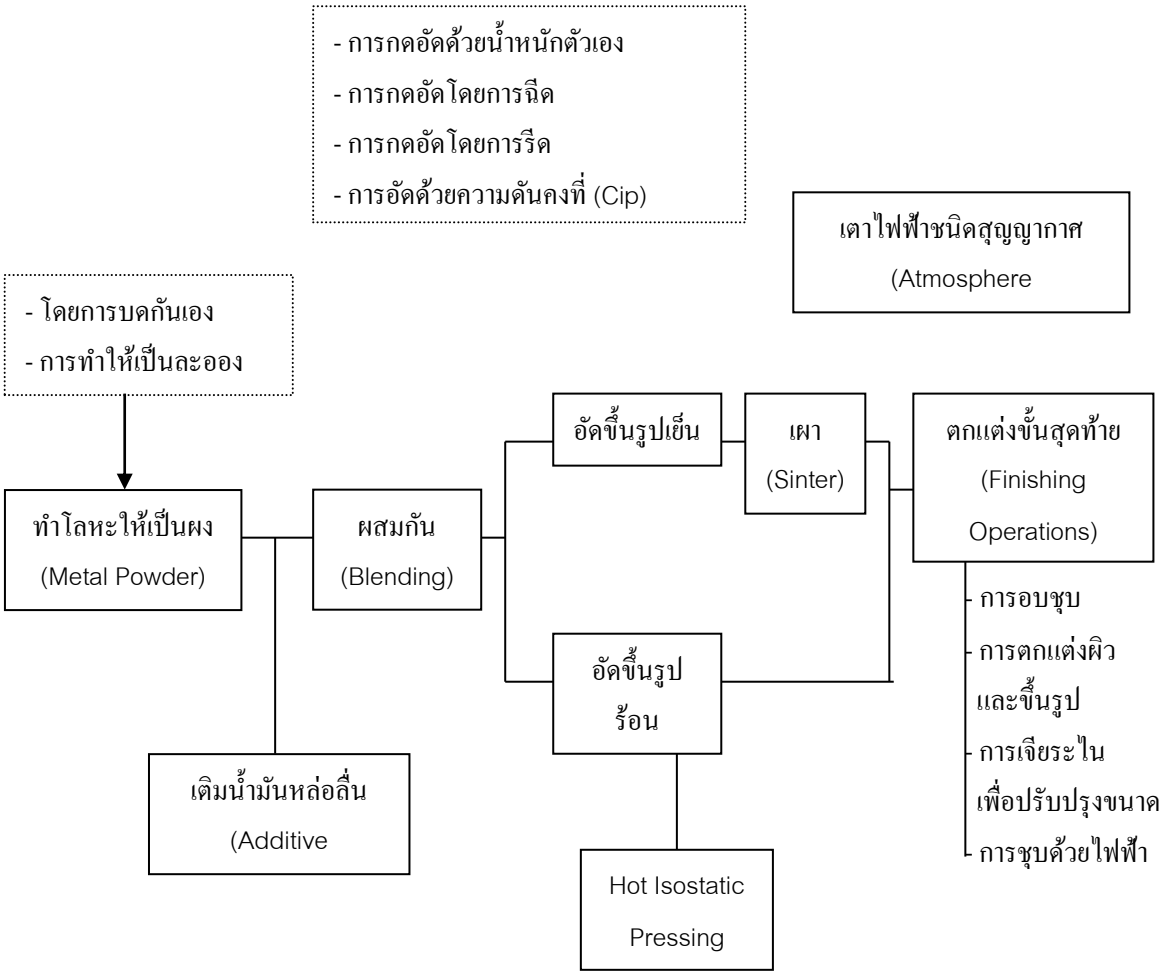
การนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ (Application)	ผงโลหะ (Power Metal)	ใช้ทำ (Uses)
การขัด (Abrasive)	Fe, Sn, Zn	อุปกรณ์ทำความสะอาด (Cleaning) ล้อขัด (Abrasive Wheels)
ยานอวกาศ (Aerospace)	Al, Be, Nb	เครื่องยนต์เจ็ต (Jet Engines) โลหะที่ปกคลุมด้วยความร้อน (Heat Shield)
รถยนต์ (Automotive)	Cu, Fe, W	ใช้ทำลิ้นปิด – เปิด (Valve Inserts)
อุปกรณ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ (Electrical and Electronic)	Ag, Au, Mo	พวกตัวสัมผัส (Contacts) ตัวไดโอดที่อยู่กับความร้อน (Diode Heat Sinks)
อุปกรณ์ให้ความร้อน(Heat Heating)	Mo, Pt, W	อุปกรณ์ในเตา เช่น Thermocouples
การต่อ (Joining)	Cu, Fe, Sn	หัวแร้งบัดกรี (Solder) หัวเชื่อม (Electroe)
การหล่อลื่น (Lubrication)	Cu, Fe, Zn	ชิ้นส่วนป้องกันน้ำมันและจาระบีรั่ว (Creases, Abradable Seals)
งานแม่เหล็ก (Magnetic)	Co, Fe, Ni	ตัวรีเลย์ (Relays) แม่เหล็ก (Magnet)
อุตสาหกรรมหนัก (Manufacturing)	Cu, Mn, W	ดายซ์ เครื่องมือ และลูกปืน
งานแพทย์และฟัน (Medical/Dental)	Ag, Au, W	Implants, โลหะผสมปรอทอุดฟัน
วิชาผสมโลหะ,โลหะวิทยา (Metallurgical)	Al, Ce, Si	การคืนสภาพโลหะ (Metal Recovery) การผสมโลหะ (Alloying)
งานนิวเคลียร์ (Nuclear)	Be, Ni, W	โลหะที่ถูกปกคลุมด้วยแก๊ส ตัวกรอง เครื่องส่องสะท้อน
อุปกรณ์ในสำนักงาน (Office Equipment)	Al, Fe, Ti	เครื่องอัดสำเนา , ลูกเบี้ยว (Cam) , Electrostatic

Fe = เหล็ก	W = วุลเฟลม	Ce = เซอร์โครเมียม
Su = ดีบุก	Ag = ปรอท	Si = ซิลิคอน
Zn = สังกะสี	Au = ทอง	Ti = ไทเทเนียม
Al = อะลูมิเนียม	Mo = โมลิบดีเนียม	Co = โคบอล
Be = เบอร์ริลเลี่ยม	Pt = พาทินัม	Mn = แมงกานีส
Nb = ไนโอบิ	Cu = ทองแดง	Ni = นิกเกิล

ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนโลหะจากผงโลหะ มีขั้นตอนดังนี้

1. การผลิตผงโลหะ (Power Production)
2. การผสมโลหะให้กลมกลืนกัน (Blending)
3. อัดขึ้นรูป (Compaction)
4. การเผา (Sintering)
5. การตกแต่งขั้นสำเร็จ (Finishing Operations)

แสดงในขั้นตอน (Out Line) ของการผลิตชิ้นส่วนด้วยผงโลหะ ดังนี้



แสดงขั้นตอนของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนจากผงโลหะ

แสดงขั้นตอนการซินเตอร์ของโลหะคาร์ไบด์ (Sintered Metal Carbides)

เนื่องจากโลหะคาร์ไบด์มีความแข็งมาก การหลอมละลายเพื่อหล่อเป็นชิ้นส่วนนั้นกระทำได้ยากมาก เนื่องจากแข็งและต้องใช้อุณหภูมิในการผลิตสูง ดังนั้น การขึ้นรูปที่ง่ายก็คือ การทำให้เป็นผง และกดอัดในแบบพิมพ์ให้เป็นรูปร่าง จากนั้นจึงนำไปเผาหรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า “กรรมวิธีซินเตอร์” โดยมีขั้นตอนดังนี้ คือ

1. ทำเป็นผงโดยการนำโลหะมาบดกันเองโดยใช้ลูกบอล (Ball Rolling)
2. นำผงโลหะมากดอัดขึ้นรูปในแบบพิมพ์
3. นำไปเผาในเตาให้มีอุณหภูมิ 900 – 1,100 °C เป็นการเผาเพื่อให้เกิดโลหะติดกันในสภาพของแข็ง
4. นำชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปแล้วแต่ยังมีความแข็งไม่มากนัก มาตกแต่งให้มีขนาดที่แน่นอนหรือรูปร่างที่ซับซ้อน
5. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,400 – 1,600 °C เป็นการเผาครั้งสุดท้าย ซึ่งขั้นตอนนี้โลหะคาร์ไบด์จะมีความแข็งมาก

กรรมวิธีการผลิตของโลหะ (Methods Powder Production)

กรรมวิธีการผลิตผงโลหะ มีหลายวิธี ทั้งนี้ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะและการใช้งานของผลิตภัณฑ์ ในที่นี้จะขอเสนอกรรมวิธีการผลิตมาให้เข้าใจเพียง 2 วิธีเท่านั้น ขนาดของผงโลหะที่ได้จะมีขนาดเล็กมาก คือ จาก 0.1 um ถึง 1,000 um ซึ่งมีวิธีการผลิตดังนี้

1. กรรมวิธีทำให้เป็นละออง (Atomization) เป็นวิธีการผลิตผงโลหะที่หลอมเหลว โดยการฉีดโลหะเหลวออกมาจากรูขนาดเล็ก และน้ำโลหะเหลวจะเกิดการแตกตัว โดยการพ่นแก๊สเฉื่อย อากาศ หรือ น้ำ โลหะจะเย็นตัวและก่อตัวเป็นผง

การผลิตผงโลหะด้วยวิธีทำให้เป็นละออง อีกวิธีหนึ่งก็คือ แบบขั้วไฟฟ้า โดยให้ขั้วไฟฟ้าขั้วหนึ่งอยู่กับที่ แต่อีกขั้วหนึ่งหมุนอย่างรวดเร็วในห้องซึ่งบรรจุแก๊สฮีเลียมจนเต็ม แรงเหวี่ยงจะทำให้น้ำโลหะที่เกิดจากการอาร์กระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง แตกตัวเป็นฝอยละเอียด และเมื่อเย็นตัวลงจะเป็นผงโลหะตกลงสู่ก้นถัง

2. กรรมวิธีการบดให้เป็นผง การผลิตผงด้วยวิธีนี้เป็นการผลิตผงโลหะโดยทางกลเหมาะสำหรับผลิตผงโลหะที่มีความแข็งมาก และมีจุดหลอมละลายสูงทำเป็นผงด้วยวิธีอื่นได้ยาก ดังนั้น โลหะที่ได้จากการผลิตผลโลหะด้วยวิธีนี้ เมื่อทำเป็นชิ้นส่วนจะมีความแข็งเป็นพิเศษ ถ้าให้ความแข็งมีค่าเท่ากับ 10 โลหะซินเตอร์ที่ได้จากการบดผงด้วยวิธีนี้ จะมีค่าความแข็งอยู่ที่ 9.8-9.9

เนื่องจากโลหะที่จะนำมาบดเป็นผง ตัวบดด้วยวิธีนี้เป็นโลหะที่มีความแข็งแรงมาก ดังนั้นตัวที่จะทำหน้าที่บดก็คือ ตัวของมันเอง นั่นคือ ทำการบดด้วยลูกบอล มันจะเกิดการเจียระไนซึ่งกันและกัน และความเปราะจะทำให้มันแตกออกเป็นผงขนาดเล็ก เครื่องบดนี้จะมีลักษณะเป็นท่อกลวงภายในจะเต็มไปด้วยเหล็กหรือลูกบอลซึ่งทำจากเหล็กหล่อสีขาว โลหะที่แข็งและเปราะจะถูกบดออกเป็นผง และนำไปผ่านกรรมวิธีอัดและเผาต่อไป

การผสมผงโลหะ (Blending Metal Powder)

การผสมผงโลหะเป็นขั้นตอนที่สองต่อจากการทำโลหะเป็นผง เพื่อนำไปสู่กระบวนการบดอัดต่อไปตามขั้นตอน เนื่องจากกระบวนการที่ใช้ผลิตผงโลหะ ทำให้เป็นผงโลหะมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกัน ดังนั้น ก่อนผสมต้องพิจารณาจากชนิดของโลหะและกรรมวิธีการผลิตผงนั้น ๆ

▶ ผงโลหะและวัสดุอื่นที่ผสม จะบอกให้ทราบถึงคุณสมบัติทางกล ทางฟิสิกส์ และลักษณะพิเศษในการทำชิ้นส่วนจากผงโลหะนั้น ๆ

▶ วัสดุหล่อลื่นที่ผสมอยู่ในผงโลหะ จะต้องมีคุณลักษณะการไหลดี เพราะจะช่วยลดความฝืดระหว่างผงโลหะ วัสดุหล่อลื่นนี้จะช่วยปรับปรุงให้ผงโลหะมีการไหลเข้าไปใน Die ได้ง่ายและทำให้ Die มีอายุการใช้งานยาวขึ้น วัสดุหล่อลื่นจะเป็นวัสดุที่มีส่วนประกอบของไขมันหรือประกอบของสังกะสี โดยมีสัดส่วนประมาณ 0.25 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ผงโลหะที่ผสมเข้าด้วยกันต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ ต้องควบคุมสภาวะของการผสมหลีกเลี่ยงสิ่งสกปรกที่จะเข้าไปรวมตัว และการเสื่อมสภาพของผงโลหะ เนื่องจากการเสื่อมสภาพหรือคุณภาพที่เลวนั้นเกิดจากการผสมที่มากเกินไป ซึ่งจะทำให้การอัดขึ้นรูปทำได้ยากขึ้น เพราะผงโลหะเริ่มแข็งตัว การผสมผงโลหะนั้นสามารถกระทำได้ในอากาศ ในสุญญากาศ และในของเหลวจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการหล่อลื่นขณะทำการผสม การทำงานในด้านนี้สามารถควบคุมคุณภาพให้ดีขึ้นโดย *ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessors)*

อันตราย (Hazards) ที่จะเกิดขึ้นขณะผสม เพราะว่า ผิวหน้า พื้นที่และอัตราส่วนผสมของผงโลหะจะทำให้มีโอกาสเกิดการระเบิดได้มาก โดยเฉพาะผงของโลหะ เช่น อะลูมิเนียม แมกนีเซียม ไทเทเนียม เซอร์โคเนียม และทอเรียม เมื่อนำโลหะเหล่านี้ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมกัน จะต้องควบคุมดูแลเป็นพิเศษ และต้องเก็บรักษาไว้อย่างดี เครื่องมือที่ใช้ในการผสมต้องป้องกันการจุดระเบิด ดังนั้น ควรใช้อุปกรณ์ที่ไม่มีโอกาสเกิดกรจุดระเบิด และหลีกเลี่ยงการเสียดสีซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดความร้อน และหลีกเลี่ยงฝุ่นละออง หรือสิ่งสกปรกรบกวนเปลวไฟ และปฏิริยาเคมีที่จะเกิดขึ้น

การกดอัดผงโลหะ (Compaction of Metal Powder)

การกดอัดเป็นขั้นตอนที่ทำต่อจากการผสมผงโลหะ เพื่อทำการอัดให้เป็นรูปร่างในแบบแรงกดที่ใช้แรงจากไฮดรอลิก หรือแรงทางด้านกลก็ได้ จุดประสงค์ของการกดอัดก็เพื่อทำให้เป็นรูปร่าง มีความหนาแน่นและน้ำหนักตามต้องการ โดยเฉพาะชิ้นส่วนที่ต้องการสัมผัสกันตลอดเวลาจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอ เรียกการกดอัดนี้ว่า “Green Compact” ผงโลหะต้องไหลป้อนเข้าไปในแบบได้ง่าย การกดแน่นให้เป็นปึกแข็งขึ้น สามารถทำได้ในอุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นได้

แรงกด (Pressure) แรงกดอัดที่ทำให้ผงโลหะแน่นติดกันเป็นปึกนั้น จะใช้แรงกดอัดที่แตกต่างกันไปตามชนิดของผงโลหะ เช่น ผงอะลูมิเนียม จะใช้แรงกดอัดตั้งแต่ 70 Mpa (10 ksi) ขึ้นไป ส่วนผงโลหะที่ต้องการความหนาแน่นสูง เช่น ผงเหล็กจะใช้แรงกดอัดตั้งแต่ 800 Mpa (120 ksi) ขึ้นไป

การเลือกใช้แรงกดขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นส่วน รูปร่างทรวดทรงภายนอก ความหนาแน่นและอัตราการผลิต การกดอัดที่ใช้ความเร็วสูงและชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่ เมื่อทำการกด อากาศภายนอกอาจเข้าแทรกทำให้เนื้อโลหะที่กดอัดจะมีโพรงอากาศ ซึ่งเป็นสิ่งที่จะต้องป้องกันไม่ให้เกิดเหตุการณ์ดังกล่าว

แสดงแรงที่ใช้ในการกดจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของผงโลหะ

(Pressure for Various Metal Powder)

โลหะ	แรงกด (Pressure), Mpa
อะลูมิเนียม (Aluminium)	70-275
ทองเหลือง (Brass)	400-700
บรอนซ์ (Bronze)	200-275
เหล็ก (Iron)	350-800
แทนทาลัม (Tantalum)	70-140
ทังสเตน (Tungsten)	70-140

1. เครื่องกดอัดด้วยแรงดันคงที่ (Isostatic Pressing) เครื่องกดอัดชนิดนี้จะกดอัดแรงดันเท่ากันทุกจุด ถึงแม้ชิ้นงานจะมีรูปร่างซับซ้อนก็ตาม ทำให้ชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแข็งเท่ากันตลอดทั้งชิ้น เครื่องกดอัดด้วยแรงดันคงที่นี้ มี 2 แบบ คือ

▶ **แบบกดอัดเย็น** (Cold Isostatci Pressing, CIP)

ผงโลหะที่กดอัดด้วยวิธีนี้จะอย่ธในแบบที่ยืดหยุ่นได้ซึ่งทำมาจากพลาสติกประเภทนีโอเพลน (Neoprene) ยาง ยูรีเทน โพลีไวนีลคลอไรด์ หรือพวกอีลาสทอมเมอร์ ประกอบด้วย ห้องอัดที่ใช้ความดันจากน้ำ ความดันที่นิยมใช้กัน คือ ความดัน 400 Mpa (60 ksi) บางครั้งอาจใช้ความดันสูงถึง 1000 Mpa (150 ksi) การกดอัดด้วยวิธี CIP จะให้ชิ้ส่วนที่มีขนาด และรูปร่างที่ซับซ้อน

▶ **แบบกดอัดร้อน** (Hot Isostatic Pressing, HIP)

โดยทั่วไปจะความร้อนจากแก๊สเฉื่อย จนกระทั่งผงโลหะอ่อนตัวคล้ายกับแก้วถูกความร้อน จากนั้นใช้แรงกดอัดปานกลางด้วยแรงตั้งแต่ 100 Mpa (15 ksi) ที่อุณหภูมิ 1,100 °C (2,000 °F) การกดอัดด้วยวิธีนี้จะใช้ความดันและอุณหภูมิสูง ทำให้สามารถกดอัดได้ความหนาแน่น 100 เปอร์เซ็นต์ โมเลกุลมีการเกาะตัวกันดีและมีคุณสมบัติทางกลดี

กรรมวิธีการกดอัดแบบกดร้อนนี้ จะเสียค่าใช้จ่ายสูงทำให้ชิ้นส่วนมีราคาแพงเหมาะสำหรับผสมพิเศษ ซึ่งใช้เป็นชิ้นส่วนนำไปประกอบในงานอุตสาหกรรมการบิน สำหรับชิ้นส่วนที่ใช้การกดอัดวีทุกครั้ง ก็คือ โลหะจำพวกทังสเตน – คาร์ไบด์ นำไปใช้เครื่องมือตัดโลหะต่าง ๆ และเหล็กเครื่องมือที่นำมาใช้ในการทำชิ้นส่วนจากผงโลหะก็นิยมใช้การกดอัดด้วยวิธีนี้ กระบวนการนี้จะไม่เกิดรูอากาศภายใน และช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของผงโลหะผสมพิเศษ และไทเทเนียมผสม หรือเหล็กหล่อในงานอุตสาหกรรมการบิน

2. การกดอัดโดยการรีด (Rolling) เป็นการรีดผงโลหะด้วยลูกกลิ้ง หรือการกดอัดด้วยลูกกลิ้ง โดยที่ลูกกลิ้งทั้งสองจะมีระยะห่างกันเล็กน้อย และจะมีการรีดอัดอย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วถึง 0.5 ม./วินาที (100 ฟุต/นาที) กระบวนการรีดอัดสามารถกระทำได้ที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิที่สูงกว่า พวกโลหะแผ่นในงานไฟฟ้าและทางอิเล็กทรอนิกส์และเหรียญ สามารถทำได้โดยวิธีนี้

3. การกดอัดโดยการดัน (Extrusion) ผงโลหะสามารถกดอัดตัวให้แน่นเป็นรูปร่างได้ด้วยวิธีการอัด

ด้วยลูกสูบให้ทะลักไหลออกมาจากแบบ โดยที่ผงโลหะจะถูกบรรจุอยู่ในถังการกดอัดด้วยวิธีนี้จะได้ชิ้นงานที่มีขนาดไม่เที่ยงตรง ยังไม่สามารถนำไปเผาได้ ต้องนำมาผ่านขบวนการตกแต่งขนาดก่อน หลังจากนั้นต้องนำมาให้ความร้อนซ้ำอีกครั้งหนึ่ง เหมาะสำหรับกดอัดผงโลหะผสมพิเศษ เนื่องจากการให้ความร้อนในขณะดัน สามารถควบคุมหรือปรับปรุงคุณภาพได้

4. **กดอัดโดยการฉีด** (Injection Molding) เป็นการฉีดผงโลหะเข้าในแบบ วิธีนี้ผงโลหะจะมีความละเอียดสูงผงโลหะจะทำการผสมด้วยโพลีเมอร์ หรือขี้ผึ้ง เป็นตัวประสานการฉีดจะใช้อุณหภูมิต่ำ หลังจากนั้นจึงนำชิ้นส่วนไปเผาในเตาไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง การฉีดผงโลหะในแบบนี้เป็นการทำให้ผงโลหะอัดตัวกันแน่นได้รูปร่างที่สมบูรณ์ เหมาะสำหรับชิ้นส่วนที่มีผนังบาง คือหนาประมาณ 5 มม. หรือ 0.2 นิ้ว สามารถนำออกจากแบบได้ง่าย ชิ้นส่วนที่ทำด้วยวิธีนี้ก็คือ ชิ้นส่วนประกอบของนาฬิกา ปืน รถยนต์ และมีดผ่าตัด เป็นต้น

5. **กดอัดด้วยน้ำหนัก** (Pressureless Compaction) เป็นการกดอัดโดยใช้แรงน้อย ซึ่งมีวิธีการดังนี้ คือ นำผงโลหะใส่ในแบบพิมพ์จนเต็ม ผงโลหะจะอัดกันด้วยน้ำหนักของตัวมันเองหรือ ด้วยแรงโน้มถ่วง จากนั้นจึงนำไปเผาในแบบพิมพ์ ชิ้นส่วนที่ได้จะมีความหนาแน่นต่ำเนื่องจากใช้แรงกดน้อย การกดอัดด้วยวิธีนี้ จะมีรูหรือโพรงอากาศเหมาะสำหรับนำไปใช้ทำตัวกรองอากาศ

การเผา (Sintering)

การเผาเป็นขบวนการที่กระทำต่อจากขบวนการอัดผงโลหะ ซึ่งจะต้องมีการควบคุมความร้อนในเตาให้ถึงจุดอ่อนตัว แต่ก็เพียงพอที่จะทำให้ผงโลหะแต่ลุส่วนเกาะยึดติดกัน

การเผาก่อนทำการกดอัดนั้นจะทำให้ชิ้นส่วนเปราะและมีความแข็งแรงต่ำโดยปกติแล้วความแข็งแรงจะเกิดจากการยึดเหนี่ยวกันระหว่างผงโลหะ มันเกิดขึ้นในขณะทำการเผา ผงโลหะจะเริ่มละลายเยิ้มแพร่กระจายต่อเนื่องกันไป และเมื่อกดอัดจะทำให้มันละลายติดกันและหดตัวลงตามแรงกด

หลักการเผานั้นต้องควบคุมอุณหภูมิ เวลา และบรรยากาศในเตาเผา อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาโลหะแต่ชนิด

ตารางแสดงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผา สำหรับโลหะประเภทต่าง ๆ

(Sintering Temperature and Time for Various metals)

วัสดุ (Material)	อุณหภูมิ (Temperature) องศาเซนติเกรด	เวลา (Time) นาที (Min)
ทองแดง ,ทองเหลือง และบรอนซ์	760-900	10-45
เหล็ก และเหล็กกราไฟต์	1,000-1,150	8-45
นิกเกิล	1,000-1,100	30-45
เหล็กไร้สนิม (Alnico Alloys)	1,100-1,290	30-60
โลหะผสมอัลนิโค หรือแม่เหล็กถาวร	1,200-1,300	120-150
เฟอร์ไรต์	1,200-1,500	10-600
ทังสเตน – คาร์ไบด์	1,430-1,500	20-30
โมลิบดีนัม	2,050	120
ทังสเตน	2,350	480
แทนทาลัม	2,400	480

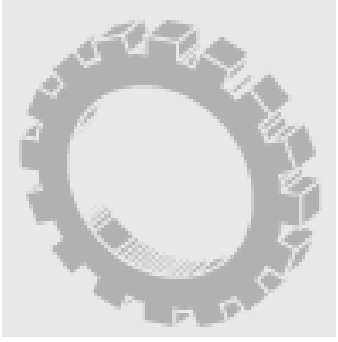
จากตารางจะเห็นได้ว่า การเผาเหล็กและทองแดงผสมจะใช้เวลาเผาต่ำสุดประมาณ 10 นาที แต่ถ้าเป็นทังสเตนหรือแทนทาลัม ต้องใช้เวลาในการเผาถึง 8 ชั่วโมง

การตกแต่งขั้นสำเร็จ (Finishing Operations)

การปรับปรุงคุณภาพของกรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนจากผงโลหะ หรือการทำให้มีคุณลักษณะพิเศษ มีวิธีการปฏิบัติ 2-3 แบบ ซึ่งจะต้องนำมาใช้หลังจากการเผา จุดประสงค์ของการตกแต่งขั้นสำเร็จ เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนที่มีขนาดเที่ยงตรง มีความแข็งแรง และมีผิวที่ดี

การผลิตชิ้นส่วนจากผงโลหะมีการปรับปรุงคุณภาพและตกแต่งผิวขั้นสำเร็จ ดังนี้

- ใช้กรรมวิธีทางความร้อน เพื่อปรับปรุงความแข็งและความแข็งแรง
- ตกแต่งผิวและขึ้นรูปด้วยเครื่องจักร โดยการกัด การเจาะ และการทำเกลียวในรู
- เจียระไน เพื่อปรับปรุงให้มีขนาดเที่ยงตรงและตกแต่งผิวหน้าของชิ้นส่วน
- นำไปชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า เพื่อผิวที่สวยงามทนต่อการกัดกร่อนและการสึกหรอมากขึ้น



กิจกรรมการเรียนการสอน	
ขั้นตอนการสอนหรือกิจกรรมของครู	**ขั้นตอนการเรียนหรือกิจกรรมของนักเรียน**
1. ครูเตรียมแผนการสอน 2. ครูเตรียมอุปกรณ์การเรียนการสอน สื่อการสอน แผ่นใส Power Point 3. ครูเช็คชื่อ เช็คจำนวนนักเรียน นักศึกษา 4. ครูกล่าวบทนำเข้าสู่บทเรียน 5. ครูให้นักเรียนทำแบบประเมินก่อนการเรียน 6. ครูนำสู่บทเรียน 7. ครูให้นักเรียนเสนอแนวคิดและข้อสงสัย 8. ครูนำหัวข้อมาให้นักเรียนแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ 9. ครูสังเกตดูนักเรียน นักศึกษา ระหว่างทำการวิเคราะห์ และให้คะแนนการพัฒนาคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 10. ครูสุ่มทดสอบ ถามนักเรียน นักศึกษา 11. ครูตอบข้อซักถามจากนักเรียน นักศึกษา 12. ครูร่วมกับนักเรียน นักศึกษา สรุปปัญหา 13. ครูให้นักเรียนทำแบบประเมินก่อนหลังการเรียน 14. ครูให้นักเรียน นักศึกษาทำแบบฝึกหัดและค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมทางอินเตอร์เน็ต ฯลฯ	1. นักเรียนเข้าเรียนตามเวลาเรียน 2. นักเรียนเตรียมอุปกรณ์การเรียน เช่น สมุด บันทึก หนังสือเรียน 3. นักเรียนเช็คเวลาเรียน 4. นักเรียนฟังคำบรรยายบทนำ 5. นักเรียนลงมือทำแบบประเมินก่อนการเรียน 6. นักเรียนฟังบรรยายเนื้อหาจากสื่อการสอน 7. นักเรียนเสนอแนวคิดและข้อสงสัยของตนเอง 8. นักเรียนแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ หัวข้อที่ได้รับ 9. นักเรียนร่วมกับเพื่อนในกลุ่มวิเคราะห์หัวข้อที่กลุ่มตนได้รับ 10.นักเรียนตอบคำถามอาจารย์ผู้สอน 11.นักเรียนตั้งคำถามอาจารย์ผู้สอน 12.นักเรียนร่วมกับอาจารย์ผู้สอนสรุปเนื้อหา 13.นักเรียนทำแบบประเมินหลังการเรียน 14.นักเรียนทำแบบฝึกหัดที่ได้รับและค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมทางอินเตอร์เน็ต ฯลฯ

งานที่มอบหมายหรือกิจกรรม

ก่อนเรียน

1. ทำแบบประเมินก่อนการเรียน 15 ข้อ

ขณะเรียน

1. เสนอแนวคิดความคิดเห็น ข้อสงสัยต่ออาจารย์ผู้สอน
2. นักเรียนฟังบรรยายจากสื่อการสอน
3. นักเรียนจดบันทึก
4. ถาม – ตอบข้อสงสัย
5. แบ่งกลุ่มเพื่อร่วมกันทำการวิเคราะห์
6. ตัวแทนกลุ่มออกมานำเสนอ

หลังเรียน

1. ทำแบบประเมินหลังการเรียน 15 ข้อ
2. แบบฝึกหัด
3. ค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติม

สื่อการเรียนการสอน

สื่อสิ่งพิมพ์

1. หนังสือเรียนวัสดุช่าง
2. แผนการสอน
3. เอกสารประกอบการสอนต่าง ๆ

สื่อโสตทัศน์ (ถ้ามี)

1. แผ่นใส
2. สื่อช่วยสอน Power Point

หุ่นจำลองหรือของจริง

ไม่มี

การประเมินผล

ก่อนเรียน

ถามตอบความรู้พื้นฐาน

แบบประเมินก่อนการเรียน

ขณะเรียน

1. ถามตอบ
2. สังเกตการณ์ทำงานขณะแบ่งกลุ่ม
3. คะแนนประเมินตามสภาพจริงการพัฒนาคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์

หลังเรียน

1. แบบประเมินหลังการเรียน
2. แบบฝึกหัด
3. ข้อมูลที่ค้นคว้าเพิ่มเติม

บันทึกหลังการสอน

ข้อสรุปหลังจัดการเรียนรู้

ปัญหาที่พบ

แนวทางแก้ปัญหา

(----------)

ครูผู้สอน

วันที่----------

แบบประเมินผลการเรียนรู้ก่อนเรียน/หลังเรียน

คำชี้แจง ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด โดยเขียนเครื่องหมายกากบา(x) ลงในกระดาษคำตอบ

1. เหล็กรอบสูงคือเหล็กกล้าชนิดใด

   ก. เหล็กกล้าคาร์บอนสูง ข. เหล็กกล้าผสมต่ำ

   ค. เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ง. เหล็กกล้าผสมสูง

2. เหล็กรอบสูงจะมีส่วนผสมของธาตุใดเป็นเหล็ก

   ก. คาร์บอน ข. โมลิบดีนัม

   ค. แมงกานีส ง. ซิลิคอน

3. เหล็กสองโครงสร้างนั้น นิยมนำไปใช้ผลิตภัณฑ์ใด

   ก. ใบเลื่อย ข. ใบมีด

   ค. เฟืองเหล็กเหนียว ง. เพลารถยนต์

4. เหล็กไร้สนิมจัดอยู่ในเหล็กจำพวกใด

   ก. เหล็กผสมต่ำ ข. เหล็กผสมสูง

   ค. เหล็กรอบสูง ง. เหล็กกล้าคาร์บอนสูง

5. เหล็กกล้าเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนผสมอยู่ไม่เกินกี่เปอร์เซนต์

   ก. 0.5% ข. 1.2%

   ค. 1.5% ง. 2%

6. ข้อใดไม่ใช่คุณสมบัติของเหล็กไร้สนิม

   ก. ต้านทานกระแสไฟฟ้าได้ดี ข. มีความต้านทานการกัดกร่อนสูง

   ค. มีผิวสวยเป็นเงางาม ง. เชื่อมได้ง่าย

7. เหล็กไร้สนิม 18-8 หมายถึงอะไร

ก. มีส่วนผสมของโครเมียม 18% นิกเกิล8%

ข. มีส่วนผสมของนิกเกิล 18% โครเมียม8%

ค. มีส่วนผสมของโครเมียม 18% วาเนเดียม 8%

ง. มีส่วนผสมของวาเนเดียม 18% โครเมียม 8%

8. เหล็กไร้สนิมชนิดใดไม่มีคุณสมบัติแม่เหล็ก

ก. เหล็กไร้สนิมประเภทเฟอร์ริติก

ข. เหล็กไร้สนิมประเภทมาร์เทนซิติก

ค. เหล็กไร้สนิมประเภทออสเทนนำติก

ง. เหล็กไร้สนิมรหัส 500

9. ภาชนะประกอบอาหาร เช่น หม้อ กระทะ และภาชนะบรรจุอาหารอื่น ๆ ทำมาจากเหล็กไร้สนิมประเภทใด

ก. เหล็กไร้สนิมประเภทเฟอร์ริติก

ข. เหล็กไร้สนิมประเภทมาร์เทนซิติก

ค. เหล็กไร้สนิมประเภทออสเทนนิตก

ง. เหล็กไร้สนิมรหัส 500

10. ความจำเป็นที่ต้องผลิตชิ้นส่วนหรือเครื่องมือด้วยกรรมวิธีการผลิตจากผงโลหะมีสาเหตุจากอะไร

ก. เนื่องจากโลหะมีความแข็งมาก มาสามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรกลได้

ข. ทำได้ง่าย สะดวก และราคาถูก

ค. สามารถผลิตชิ้นส่วนที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดี

ง. เนื่องจากชิ้นส่วนมีขนาดเล็ก มาสามารถผลิตด้วยวิธีอื่น

11. โพรงอากาศขนาดเล็กระหว่างเม็ดเกรนของชิ้นส่วนที่ผลิตจากผงโลหะ มีประโยชน์อย่างไร

ก. ช่วยระบายอากาศได้ดี

ข. ช่วยระบายความร้อนได้ดี

ค. ช่วยกักเก็บและการไหลซึมของน้ำมันได้ดี

ง. ช่วยในการตัดเฉือนได้ง่าย

12. ขั้นตอนใดของการผลิตชิ้นส่วนจากผงโลหะที่มีความสำคัญมาก ถ้าผิดพลาดไปจะทำให้ขั้นตอนต่อไปไร้ความหมาย

ก. ขั้นตอนการผลิตผงโลหะ

ข. ขั้นตอนการผสมผงโลหะ

ค. ขั้นตอนการจัดขึ้นรูป

ง. ขั้นตอนการเผา

13. ขั้นตอนใดของการผลิตชิ้นส่วนจากผงโลหะที่เสี่ยงต่อการระเบิด

ก. ขั้นตอนการผลิตผงโลหะ ข. ขั้นตอนการผสมผงโลหะ

ค. ขั้นตอนการจัดขึ้นรูป ง. ขั้นตอนการเผา

14. โลหะที่มีความแข็งมากควรทำให้เป็นผงด้วยวิธีใด

ก. สเปรย์น้ำใส่โลหะที่หลอมเหลว

ข. จากการอาร์กของขั้วโลหะ

ค. การหลอมละลาย

ง. จากการบดด้วยตัวของมันเอง

15. โลหะชนิดใดใช้เวลาเผานานที่สุด

ก. ทองแดง ข. เหล็กแกรไฟต์

ค. โมลิบดีนัม ง. แทนทาลัม

เฉลยแบบประเมินผลการเรียนรู้ก่อนเรียน/หลังเรียน

ข้อ	เฉลย
1	ง
2	ข
3	ง
4	ข
5	ค
6	ก
7	ก
8	ค
9	ค
10	ก
11	ค
12	ข
13	ข
14	ง
15	ง