หน่วยที่ 3
วัสดุชิ้นงานและวัสดุผลิตชิ้นสวนแมพิมพโลหะ

สาระสำคัญ

ความรู้ความเข้าใจที่เกี่ยวข้องกับวัสดุทำพิมพ์มีความจำเป็นสำหรับผู้ที่ออกแบบ ผลิต หรือใช้แม่พิมพ์ เพื่อการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสภาวะและเงื่อนไขการผลิตที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้ววัสดุทำพิมพ์ที่ดีย่อมหมายถึงวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง มีค่าความแข็งสูง ทนต่อการสึกหรอ ทนต่อการกัดกร่อน มีความเหนียว แตกหักยาก แต่ยิ่งวัสดุมีสมบัติที่ดีเท่าใด ต้นทุนของวัสดุก็จะมีราคาสูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนั้นวัสดุที่มีความแข็งสูงมาก ๆ แม้จะมีข้อดีทางด้านความต้านทานการสึกหรอสูงแต่ก็มักจะมีความเหนียวต่ำ ไม่ทนต่อแรงกระแทก เกิดการแตกหักได้ง่าย รวมถึงแปรรูปให้เป็นรูปทรงแม่พิมพ์ที่ต้องการได้ยาก ซึ่งหมายถึงค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น รวมทั้งวัสดุบางชนิดก็ต้องการเทคนิคเฉพาะในการแปรรูป

หัวข้อเนื้อหาประจำหน่วย

3.1 ชนิดของวัสดุทำแม่พิมพ์
3.2 แนวทางการเลือกใช้วัสดุทำม่พิมพ์
3.3 วัสดุชิ้นงาน
3.4 สมบัติของวัสดุชิ้นงานตามอุณหภูมิในการขึ้นรูป
3.5 สมบัติของวัสดุชิ้นงานตามรูปแบบของวัสดุเริ่มต้น

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. บอกชนิดของวัสดุทำแม่พิมพ์ได้
2. บอกแนวทางการเลือกใช้วัสดุทำม่พิมพ์ได้
3. เลือกวัสดุชิ้นงานได้
4. อธิบายสมบัติของวัสดุชิ้นงานตามอุณหภูมิในการขึ้นรูปได้
5. อธิบายสมบัติของวัสดุชิ้นงานตามรูปแบบของวัสดุเริ่มต้นได้

วิธีการสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. ครูชี้แจงวัตถุประสงค์ให้ผู้เรียนเข้าใจก่อนเรียน
2. ครูบรรยายประกอบสื่อของจริงและสื่อ Power Point
3. นักเรียนร่วมอภิปรายเนื้อหาในชั้นเรียน
4. นักเรียนทำแบบทดสอบประจำหน่วยที่ 3

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาผลิตแม่พิมพ์ตัด
2. สื่อการสอนของจริง
3. สื่อ Power Point ประกอบการบรรยาย

การวัดผลและประเมินผล

1. ครูสังเกตการร่วมอภิปรายและตอบคำถามในชั้นเรียน
2. นักเรียนทำแบบทดสอบประจำหน่วยที่ 3

หน่วยที่ 3
วัสดุชิ้นงานและวัสดุผลิตชิ้นสวนแมพิมพตัด

ผู้ปฏิบัติงานในการสร้างชิ้นส่วนต่างๆของแม่พิมพ์ควรมีความเข้าใจวัสดุชิ้นงานและวัสดุผลิตชิ้นสวนแมพิมพตัด เพื่อที่จะสามารถเลือกใช้ได้อย่างเหมาะสม สอดคล้องกับต้นทุน สมบัติ คุณภาพและปริมาณการผลิต

3.1 ชนิดของวัสดุทำพิมพ์

วัสดุที่นิยมใช้ในการทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะแสดงในตารางที่ 1.1 และวัสดุที่มีความแข็งแรงต่ำซึ่งดูเหมือนจะไม่เหมาะสมกับการทำเป็นส่วนประกอบของแม่พิมพ์ แต่มีการใช้งานเฉพาะด้านในการทำเป็นแม่พิมพ์เพื่อใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิต แสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.1 วัสดุที่นิยมใช้ในการทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะ

วัสดุ	การใชงาน
ทังสเตนคาไบด (Tungsten Carbide)	แมพิมพตัดเจาะ, แมพิมพขึ้นรูป, แมพิมพดึงลวด, มักอยูในรูปของอินเสิรท (Insert)
เหล็กกลาเครื่องมือ (Tool Steel) - เหล็กกลาเครื่องมือความเร็วสูง (High Speed Tool Steel) - เหล็กกลาเครื่องมือทำงานเย็น (Cold Work Tool Steel) - เหล็กกลาเครื่องมือทำงานรอน (Hot Work Tool Steel)	แมพิมพทั่วไป
เหล็กกลาคารบอน (Carbon Steel)	ชิ้นสวนโครงสรางของแมพิมพ ชิ้นสวนมาตรฐาน
เหล็กหลอ	ใชกับแมพิมพขนาดใหญ - โครงสรางของแมพิมพ - แมพิมพตัดขอบ (Trimming Die) - พันชและดาย (Punch and Die) ของแมพิมพขึ้นรูป

ที่มา : งานขึ้นรูป เล่ม 2 หน้า 12, วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์

ตารางที่ 1.2 วัสดุที่มีความแข็งแรงต่ำแต่มีการใช้ทำแม่พิมพ์

วัสดุ	การใชงาน
อะลูมิเนียมบรอนซ	แมพิมพลากขึ้นรูปลึกที่ใชกับเหล็กกลาไรสนิม
สังกะสีผสม	แมพิมพทดลอง (Prototype Tool หรือ Soft Tool)
อิพอกซีเรซิน	แมพิมพขึ้นรูปขนาดใหญสำหรับการผลิตปริมาณต่ำ

ที่มา : งานขึ้นรูป เล่ม 2 หน้า 13, วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์

3.1.2 แนวทางการเลือกใช้วัสดุทำพิมพ์

แม่พิมพ์แต่ละแบบมีเกณฑ์ในการเลือกใช้วัสดุที่แตกต่างกัน สภาวะการใช้งานที่แตกต่างกัน เช่น ชนิดของวัสดุชิ้นงาน รูปร่าง ขนาด ความหนา ค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนที่กำหนด จะส่งผลให้การเลือกใช้วัสดุทำพิมพ์แตกต่างกัน วัสดุทำพิมพ์ที่มีคุณภาพดีมากจะมีราคาสูง แนวทางในการเลือกชนิดของวัสดุทำพิมพ์ที่เหมาะสมจึงไม่ได้ขึ้นกับสมบัติที่ดีของวัสดุเพียงอย่างเดียว แต่ต้องมองถึงความคุ้มค่าในการใช้งานด้วยเนื่องจากวัสดุในกลุ่มนี้มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นปัจจัยหลักที่ใช้ในการกำหนดเกรดของวัสดุในการทำแม่พิมพ์ทั่วไปจึงมักจะขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิตกรณีงานที่ต้องการปริมาณการผลิตสูง จะสามารถเลือกใช้วัสดุทำพิมพ์ที่เกรดสูงและราคาแพงได้ ส่วนในกรณีที่ต้องการปริมาณการผลิตไม่มาก การเลือกใช้วัสดุที่ดีราคาแพงจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ไม่เกิดความคุ้มค่าในการผลิตจึงควรเลือกใช้เกรดวัสดุที่ต่ำลง หรือกล่าวง่าย ๆ ว่าใช้วัสดุเกรดที่มีความแข็งแรงทนทานเพียงพอที่จะใช้ผลิตตามปริมาณที่ต้องการเท่านั้น แต่ก็มีข้อพึงระวังด้วยว่าการกำหนดชนิดวัสดุทำพิมพ์ไม่ได้ขึ้นกับปริมาณการผลิตเพียงอย่างเดียว ความรุนแรงในการขึ้นรูป ชนิดของวัสดุชิ้นงานขนาดของงานที่ผลิต ข้อกำหนดทางด้านความเที่ยงตรงในการผลิต ล้วนแต่เป็นปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงทั้งสิ้น

3.2 วัสดุชิ้นงาน

พฤติกรรมการเปลี่ยนรูปและสมบัติของวัสดุชิ้นงานเป็นข้อมูลสำคัญที่จะช่วยให้การวางแผนและการออกแบบขั้นตอนการทำงาน รวมถึงการกำหนดรายละเอียดต่าง ๆ ในแม่พิมพ์มีความสมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งสมบัติของวัสดุที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย ส่วนประกอบทางเคมี สมบัติเชิงกล และยังรวมถึงโครงสร้างและสมบัติทางโลหวิทยา และกระบวนการทางความร้อนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัสดุก่อนการขึ้นรูปด้วย สำหรับผู้ผลิตชิ้นงาน สมบัติที่ต้องการคือให้วัสดุชิ้นงานมีความสามารถในการขึ้นรูปสูง (Good Formability) มีความแข็งแรงสูงเพียงพอที่จะต้านทานการแตกหัก ฉีกขาด หรือเกิดรอยย่น สมบัติพื้นฐานทางกลของวัสดุ เช่น ค่าความแข็งแรง เป็นข้อมูลที่มีความจำเป็นในการกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบแม่พิมพ์ และกำหนดขนาดของเครื่องปั๊มโลหะในการใช้งาน วัสดุที่มีค่าความแข็งแรงสูงส่งผลโดยตรงกับแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป เมื่อแรงในการปั๊มโลหะสูง ขนาดของชิ้นส่วนประกอบในแม่พิมพ์ก็ต้องมีขนาดใหญ่เพื่อให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรองรับแรงกระทำซ้ำ ๆ ที่เกิดบนแม่พิมพ์ได้ค่าความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุ (Formability) เป็นตัวกำหนดขั้นตอนและจำนวนครั้งในการขึ้นรูป เพื่อให้ชิ้นงานเปลี่ยนรูปตามรูปร่างที่ต้องการได้โดยปราศจากรอยแตกหรือข้อบกพร่องอื่น ๆ บนผลิตภัณฑ์ สมบัติทางด้านทิศทางของวัสดุ (Anisotropy) และสมบัติในช่วงการเปลี่ยนรูปแบบไม่ถาวรของวัสดุ ใช้เป็นข้อมูล

ในการออกแบบแม่พิมพ์เพื่อให้ได้ค่าความเที่ยงตรงของงานที่ผลิตตามพิกัดของค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดในแบบ ค่าส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุชิ้นงานบางตัวเป็นตัวกำหนดชนิดของวัสดุทำพิมพ์และชนิดของสารหล่อลื่น เป็นต้น

3.2.1 สมบัติของวัสดุชิ้นงานตามอุณหภูมิในการขึ้นรูป

งานขึ้นรูปโลหะมีทั้งการขึ้นรูปแบบร้อน (Hot Work) คือ การเพิ่มอุณหภูมิที่ชิ้นงานจนร้อนแดงแต่ยังคงสภาวะของของแข็ง แล้วจึงขึ้นรูป และการขึ้นรูปแบบเย็น (Cold Work) ซึ่งมักจะหมายถึง การทำงานขึ้นรูปโลหะที่อุณหภูมิห้อง ต่อมาก็มีการพัฒนากลุ่มงานขึ้นรูปแบบอุ่น ซึ่งมีอุณหภูมิในการทำงานอยู่ระหว่างงานขึ้นรูปร้อนและงานขึ้นรูปเย็นอย่างไรก็ตาม การพิจารณาว่าเป็นงานขึ้นรูปร้อนหรือเย็นนั้นที่ถูกต้องแล้วจะกำหนดตามสมบัติของวัสดุชิ้นงานเป็นหลัก คือ งานขึ้นรูปร้อนจะเปลี่ยนรูปชิ้นงานขณะที่มีอุณหภูมิการทำงานสูงกว่าอุณหภูมิการเกิดผลึกใหม่(Recrystallization Temperature) แต่ไม่ถึงอุณหภูมิหลอมเหลวของวัสดุนั้น ๆ อุณหภูมิการเกิดผลึกใหม่ของวัสดุทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 0.3Tm - 0.5Tm (Tm หมายถึง อุณหภูมิหลอมละลายของวัสดุ) นิยามของอุณหภูมิการเกิดผลึกใหม่คือ อุณหภูมิที่วัสดุเกิดผลึกใหม่อย่างสมบูรณ์ในเวลา 1 ชั่วโมง ตัวอย่างอุณหภูมิทำงานของวัสดุชนิดต่าง ๆ ในงานขึ้นรูปร้อนแสดงในตารางที่ 1.3 ส่วนกระบวนการขึ้นรูปวัสดุที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของวัสดุจัดเป็นกระบวนการทำงานอีกกลุ่มหนึ่ง คือ กระบวนการหล่อโลหะ

ตารางที่ 1.3 อุณหภูมิทำงานของวัสดุชนิดต่าง ๆ ในงานขึ้นรูปร้อน

วัสดุ	อุณหภูมิขึ้นรูป (˚C)
อะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมผสม	375-475
ทองแดงและทองแดงผสม	650-975
เหล็ก	875-1,300
วัสดุทนไฟ (Refractory Alloy)	975-2,200

ที่มา : งานขึ้นรูป เล่ม 2 หน้า 14, วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์

ในการพิจารณาการขึ้นรูปร้อนหรือเย็นจึงต้องเปรียบเทียบอุณหภูมิการทำงานกับอุณหภูมิการเกิดผลึกใหม่ของวัสดุด้วย เช่น การขึ้นรูปที่อุณหภูมิห้องของวัสดุบางตัว เช่น ตะกั่ว (Lead) ดีบุก (Tin) แคดเมียม (Cadmium)จัดเป็นการขึ้นรูปร้อน เนื่องจากอุณหภูมิห้องเป็นจุดที่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดผลึกใหม่ของตะกั่ว ดีบุก และแคดเมียม ในขณะที่การขึ้นรูปวัสดุโมลิบดีนัม แม้จะทำงานขณะที่วัสดุร้อนแดงก็ยังคงจัดเป็นงานขึ้นรูปเย็น เนื่องจากวัสดุโมลิบดีนัมมีจุดหลอมเหลวที่สูงมากนั่นเอง

3.2.1.1 วัสดุชิ้นงานภายใต้สภาวะการขึ้นรูปร้อน

สมบัติโดยทั่วไปของวัสดุขณะทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการเกิดผลึกใหม่ (Hot Work) ในเชิงเปรียบเทียบกับสมบัติของวัสดุที่อุณหภูมิการขึ้นรูปเย็นเป็นดังนี้

- ค่าความแข็งแรงของวัสดุลดลง

• ค่าความสามารถในการเปลี่ยนรูปของวัสดุสูงขึ้น (High Formability)
• การเพิ่มความแข็งจากความเครียด (Work Hardening) ของวัสดุลดลง
• เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ที่ผิวได้ง่าย
• เกิดการขยายตัวของวัสดุเมื่อได้รับความร้อนและหดตัวเมื่ออุณหภูมิเย็นลง

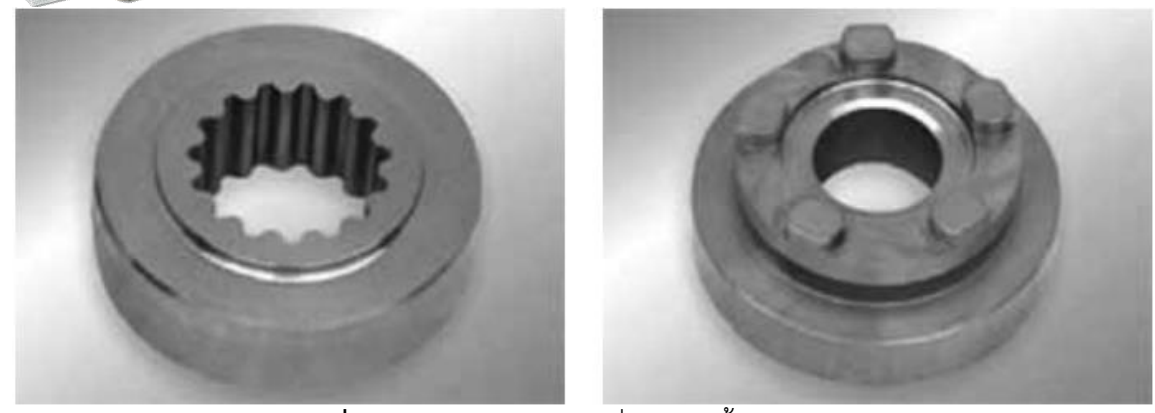
ดังนั้นงานขึ้นรูปโลหะที่อุณหภูมิสูงจึงมีข้อดีคือใช้แรงในการขึ้นรูปลดลงประหยัดพลังงานในการขึ้นรูป ความสามารถในการยืดตัวของวัสดุสูงขึ้นส่งผลให้การขึ้นรูปชิ้นส่วนที่มีรูปร่างซับซ้อนทำได้ง่ายขึ้น แต่ขณะเดียวกันก็มีข้อเสียคือควบคุมความเที่ยงตรงทางด้านขนาดและรูปร่างได้ยาก เนื่องจากการขยายตัวและหดตัวของวัสดุเมื่อได้รับความร้อนและเกิดการเย็นตัว การเกิดออกไซด์ที่ผิว ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น รวมถึงความสิ้นเปลืองพลังงานจากอุปกรณ์ในการให้ความร้อนกับชิ้นงานและในบางกรณีที่ต้องมีการให้ความร้อนกับแม่พิมพ์ด้วย รวมไปถึงความยุ่งยากซับซ้อนของอุปกรณ์ที่ใช้จับหรือเคลื่อนย้ายชิ้นงานระหว่างกระบวนการผลิตเมื่อการขึ้นรูปโลหะทำที่อุณหภูมิการทำงานสูง สมบัติของวัสดุที่จะนำมาใช้ในการพิจารณาเพื่อวางแผนออกแบบแม่พิมพ์จึงต้องเป็นสมบัติของวัสดุที่อุณหภูมินั้น ๆ

3.2.1.2 วัสดุชิ้นงานภายใต้สภาวะการขึ้นรูปเย็น

การขึ้นรูปวัสดุขณะเย็น (Cold Work) มีลักษณะตรงกันข้ามกับงานขึ้นรูปร้อนคือ ได้ชิ้นงานที่มีความเที่ยงตรงทางด้านขนาดและรูปร่างสูงไม่เกิดการบิดตัวหรือเสียรูปของชิ้นงาน ได้ผิวงานที่ดีกว่าเนื่องจากไม่เกิดออกไซด์ที่ผิว ไม่เกิดค่าใช้จ่ายจากอุปกรณ์ให้ความร้อนกับชิ้นงาน การจับยึด เคลื่อนย้ายชิ้นงานทำได้ง่ายโดยอาจใช้มือเปล่าหรืออุปกรณ์เสริมอื่น ๆ ได้ แต่ก็มีข้อด้อยคือต้องการแรงในการขึ้นรูปสูง และมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปของวัสดุ กรณีที่ผลิตภัณฑ์มีความซับซ้อนก็จะทำให้มีขั้นตอนในการเปลี่ยนรูปมากขึ้น เพิ่มค่าใช้จ่ายในการทำแม่พิมพ์และเสียเวลาในการผลิตเพิ่มขึ้น สมบัติของวัสดุที่อุณหภูมิห้องและวิธีการทดสอบ

3.2.1.3 วัสดุชิ้นงานภายใต้สภาวะการขึ้นรูปอุ่น

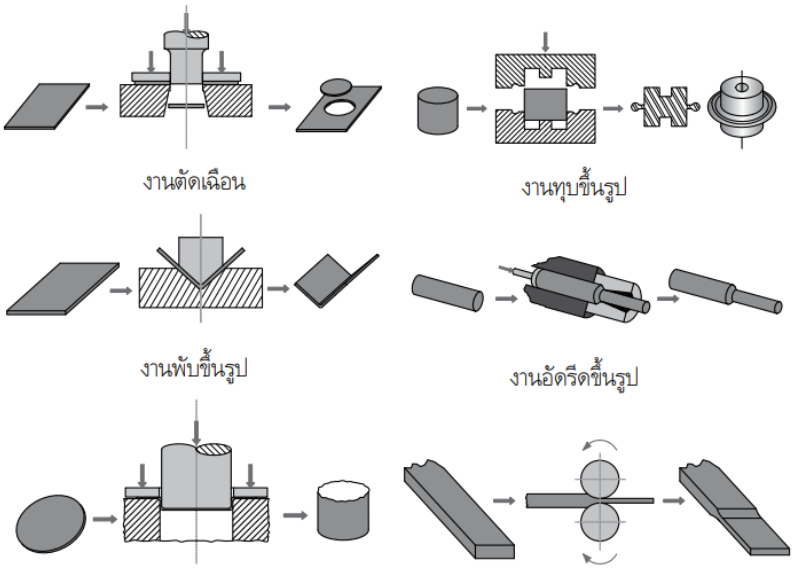
การขึ้นรูปแบบอุ่น (Warm Work) เป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นใหม่มีคำจำกัดความว่า วัสดุถูกเปลี่ยนรูปในช่วงอุณหภูมิสูง แต่ไม่ถึงอุณหภูมิการเกิดผลึกใหม่ของวัสดุ (ยกตัวอย่างงานขึ้นรูปอุ่นของเหล็กทั่วไปทำงานในช่วงอุณหภูมิ500-800˚C) โดยมีแนวคิดคือการผสมผสานข้อดีและกำจัดข้อบกพร่องของงานขึ้นรูปร้อนและงานขึ้นรูปเย็น โดยการเพิ่มอุณหภูมิให้กับชิ้นงานเพื่อลดความแข็งแรงลงและเพิ่มความสามารถในการยืดตัวของวัสดุ แต่ไม่ให้สูงมากจนเกิดออกซิเดชันที่ผิวและการเสียรูปหลังการเย็นตัว ในปัจจุบันมีการใช้วิธีขึ้นรูปแบบอุ่นกับงานทุบขึ้นรูป (Forging) ค่อนข้างมาก เช่น การผลิตชิ้นส่วนที่ใช้ในชุดส่งกำลังของเครื่องยนต์ เช่น เฟืองส่งแรง (Transmission Gear) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งนอกจากข้อดีที่กล่าวมาแล้วยังช่วยลดขั้นตอนการทำกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment) ของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปด้วย



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการขึ้นรูปแบบอุ่น
ที่มา : งานขึ้นรูป เล่ม 2 หน้า 17, วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์

3.3 สมบัติของวัสดุชิ้นงานตามรูปแบบของวัสดุเริ่มต้น

งานขึ้นรูปโลหะแบ่งตามรูปแบบของวัสดุเริ่มต้นได้เป็นงานขึ้นรูปโลหะก้อน (Bulk Metal Forming) และงานขึ้นรูปโลหะแผ่น (Sheet Metal Forming)ดังแสดงในรูปที่ 3.2 งานขึ้นรูปโลหะก้อน ตัววัสดุชิ้นงานจะได้รับแรงกระทำจนเกิดการเปลี่ยนรูปทุกทิศทาง ขณะที่งานขึ้นรูปโลหะแผ่นมักจะไม่มีแรงกระทำตามแนวความหนาของโลหะแผ่นเริ่มต้น โดยทั่วไปแล้วงานขึ้นรูปโลหะก้อนต้องการแรงในการขึ้นรูปมากกว่า ซึ่งจะทำให้การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ต้องคำนึงถึงความแข็งแรงทนทานที่ต้องเพิ่มมากกว่างานขึ้นรูปโลหะแผ่น ขนาดของเครื่องปั๊มโลหะก็มักจะใหญ่กว่า ต้องการความมั่นคงแข็งแรงมากกว่าก่อน ตั้งแต่ยุคสมัยการทำเครื่องมือเครื่องใช้จากโลหะ ซึ่งมักจะได้จากการทุบขึ้นรูป (Forging หรือ Hammering) ต่อมาเริ่มมีการผลิตโลหะโดยรีดออกมาเป็นแผ่น (งานรีดโลหะยังจัดเป็นงานขึ้นรูปก้อน) เมื่อพัฒนามาจนได้ค่าความเที่ยงตรงของความหนาในระดับที่ใช้งานได้ จึงเริ่มเข้าสู่ยุคสมัยของการพัฒนางานขึ้นรูปโลหะแผ่น



(ก) กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (ข) กระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน

รูปที่ 3.2 งานขึ้นรูปโลหะแผ่นและงานขึ้นรูปโลหะก้อน
ที่มา : งานขึ้นรูป เล่ม 2 หน้า 18, วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์

แบบฝึกหัดประจำหน่วยที่ 3

จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว

1. วัสดุที่ใช้ทำแมพิมพทั่วไป คือข้อใด
   - ก. ทังสเตนคาร์ไบด (Tungsten Carbide)
   - ข. เหล็กกลาเครื่องมือทำงานรอน (Hot Work Tool Steel)
   - ค. เหล็กกลาคารบอน (Carbon Steel)
   - ง. เหล็กหลอ
2. วัสดุที่ใช้โครงสรางของแมพิมพที่ใชขนาดใหญคือข้อใด
   - ก. เหล็กหล่อ
   - ข. เหล็กเหนียว
   - ค. เหล็กคาร์บอนต่ำ
   - ง. เหล็กรอบสูง
3. วัสดุใดที่ใช้ทำแมพิมพทดลอง (Prototype Tool หรือ Soft Tool)
   - ก. อะลูมิเนียมบรอนซ
   - ข. อิพอกซีเรซิน
   - ค. สังกะสีผสม
   - ง. เหล็กกล้า
4. วัสดุชิ้นงานควรมีสมบัติตามข้อใด
   - ก. ความสามารถในทางความร้อน
   - ข. ความสามารถในทางไฟฟ้า
   - ค. ความสามารถในการตัดเฉือน
   - ง. ความสามารถในการขึ้นรูปสูง
5. ข้อใดคือสมบัติโดยทั่วไปของวัสดุขณะทำการขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูง
   - ก. ความสามารถในการเปลี่ยนรูปของวัสดุต่ำขึ้น
   - ข. ไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ที่ผิว
   - ค. เกิดการหดตัวของวัสดุเมื่อได้รับความร้อน
   - ง. ค่าความแข็งแรงของวัสดุลดลง

6. ข้อดีของการขึ้นรูปโลหะที่อุณหภูมิสูงคือ
   - ก. ต้นทุนต่ำ
   - ข. ผิวงานมีคุณภาพดี
   - ค. ประหยัดพลังงานในการขึ้นรูป
   - ง. ควบคุมขนาดได้ถูกต้องแม่นยำ

7. วัสดุชิ้นงานภายใต้สภาวะการขึ้นรูปเย็นจะเป็นอย่างไร
   ก. ชิ้นงานเกิดการบิดตัวหรือเสียรูป
   ข. ชิ้นงานที่มีความเที่ยงตรงทางด้านขนาดและรูปร่าง
   ค. ชิ้นงานมีความแข็งแรงต่ำลงมาก
   ง. ชิ้นงานขยายตัวเพิ่มขึ้นมาก
8. งานขึ้นรูปอุ่นของเหล็กทั่วไปจะทำงานในช่วงอุณหภูมิใด
   ก. 500-800˚C
   ข. 1000-1200˚C
   ค. 1500-2000˚C
   ง. 2500-3000˚C
9. การขึ้นรูปที่อุณหภูมิห้องวัสดุชนิดใดทำได้ง่ายที่สุด
   ก. สังกะสี
   ข. ทองเหลือง
   ค. ทองแดง
   ง. ตะกั่ว
10. วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ที่อยู่ในรูปของอินเสิรท(Insert) จะใช้วัสดุตัวใด
   ก. เหล็กกล้า
   ข. ทังสเตนคาร์ไบด์
   ค. เพชร
   ง. เซรามิก