

# เทคนิคการเลือกวัสดุทำแม่พิมพ์

ประพิศ ประคุณหังสิต

วรรณภา ตันยีนยงค์

วาสนา คงสุข

แม่พิมพ์เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการขึ้นรูปของชิ้นงาน เพื่อใช้ประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ โดยทำหน้าที่เป็นแม่แบบกำหนดขนาดและรูปทรงของชิ้นงานให้มีลักษณะเหมือนแม่แบบทุกประการ แม่พิมพ์ชนิดง่ายและมีราคาถูกที่สุดคือ แม่พิมพ์งานอัดขึ้นรูปซึ่งเป็นแม่พิมพ์ที่ประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนบนจะประกอบด้วยพินซ์ (punch) และส่วนล่างจะประกอบด้วยตาย (die) พินซ์จะมีรูปลักษณะสอดคล้องกับตาย แต่จะมีขนาดเล็กกว่าตายเล็กน้อย การทำงานของแม่พิมพ์นี้จะใช้แผ่นโลหะหรือวัสดุที่จะนำมาอัดขึ้นรูปสอดเข้าไประหว่างแม่พิมพ์ทั้งสองส่วนนี้ เมื่อแม่พิมพ์ทั้งสองส่วน เคลื่อนที่เข้าหากัน พินซ์จะเคลื่อนที่เข้าไปในตาย เมื่ออัดด้วยแรงที่กำหนดไว้ทำให้เกิดชิ้นงานตามต้องการได้

ปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกวัสดุทำแม่พิมพ์ ต้องพิจารณาถึงชนิดและปริมาณชิ้นงานที่จะผลิต แม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุต่างชนิดกันและกรรมวิธีแตกต่างกันควรใช้ในการผลิตชิ้นงานต่างชนิดกันด้วย การเลือกวัสดุเพื่อใช้ทำแม่พิมพ์จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานของแม่พิมพ์โดยคำนึงถึงความประหยัดในการทำแม่พิมพ์ ในขณะที่เดียวกันก็ต้องคำนึงถึงความแม่นยำ (accuracy) ของชิ้นงานที่ผลิตตามต้องการด้วย หากเลือกวัสดุโดยคำนึงด้านราคาอย่างเดียวแล้วอาจได้วัสดุที่ไม่ดีพอหรือคุณภาพไม่คงที่ ทำให้เกิดปัญหาติดตามซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นภายหลัง นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงรูปร่างของแม่พิมพ์ที่จะนำไปทำผลิตภัณฑ์ชิ้นงาน ความยากง่ายในการตกแต่งผิวหน้าของชิ้นงานหลักสำคัญ ๆ ที่ต้องพิจารณามีดังนี้

## 1. การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

การระบาย หรือ การกระจายความร้อนของตัวแม่พิมพ์สำคัญมากต่องานผลิตเพื่อให้เกิดความแข็งตัวโดยสม่ำเสมอตลอดชิ้นงาน

## 2. การทนต่อการชะกัดของน้ำโลหะ (Erosion)

การเลือกวัสดุที่ทนต่อการกัดชะของน้ำโลหะได้ดีจะทำให้ยืดอายุการใช้งานให้ยาวนานขึ้น

## 3. การทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิความร้อนแบบ

กะทันหัน (Thermal heat shock)

ต้องเลือกวัสดุที่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อน ตั้งแต่สัมผัสกับน้ำโลหะเมื่อเริ่มเทจนกระทั่งแข็งตัวสมบูรณ์ตลอดชิ้นงาน และแกะชิ้นงานออก แล้วเทหล่อชิ้นงานใหม่ได้อย่างต่อเนื่องโดยที่ผิวของแม่พิมพ์ไม่มีรอยแตกกร้าว เนื่องจากการสัมผัสกับความร้อน

## 4. ความสามารถในด้านบริการ (Serviceability)

ถ้าเป็นวัสดุเนื้ออ่อนจะเกิดความเสียหายจากการใช้งานได้ง่าย อายุในการใช้งานจะสั้นลง รวมทั้งต้องพิจารณาถึงการ ซ่อมบำรุง ส่วนที่เสียหาย และความยากง่ายในการเชื่อมประกอบด้วย

## 5. ในเชิงเศรษฐกิจ (Economy)

ต้องพิจารณาด้านต้นทุนของวัสดุที่เลือกมาทำแม่พิมพ์ด้านต่าง ๆ เช่น ต้นทุนแรงงาน ขั้นตอนการผลิต ประสิทธิภาพการผลิตของพนักงาน ระยะเวลาในการผลิต กระบวนการที่ยุงยากซับซ้อน เครื่องมือพิเศษอื่น ๆ ที่ช่วยในการผลิต และอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ วัสดุที่เลือกใช้ทำแม่พิมพ์ต้องสามารถนำไปหล่อขึ้นรูปให้ใกล้เคียงกับชิ้นงานได้มากที่สุด เพื่อลดขั้นตอนการตกแต่งด้วยเครื่องจักรซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการทำงานลงได้

วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ได้ดังนี้

1. เหล็กกล้า
2. เหล็กหล่อ
3. โลหะอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เหล็ก
4. อโลหะ
5. วัสดุอื่น ๆ

คุณสมบัติ ข้อดี ข้อเสีย ของวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ทำแม่พิมพ์ของแต่ละกลุ่มมีดังนี้

### เหล็กกล้า (Tool steel)

แบ่งตามลักษณะของงานขึ้นรูป สำหรับทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปเย็น และทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปร้อน

เหล็กกล้าสำหรับทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปเย็น ใช้ในงานอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิปกติ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นบ้างในบริเวณคมตัดและส่วนที่รับแรงดันโดยตรงคุณสมบัติที่ต่างกันจะแตกต่างกันไปตามชนิด

รูปร่างขนาดความกว้าง และคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน ซึ่งต้องมีความแข็งแรงและความเหนียวสูง ความต้านทานการสึกหรอสูง การเสียรูปและความคลาดเคลื่อนไม่เกินขนาดที่กำหนด ต้องทำการชุบด้วยความร้อนได้ง่าย ความสามารถตัดปาดผิวได้ดี สิ่งสำคัญคือ การทนแรงดัน หรือแรงกระแทกเนื่องจากงานตัด ดัดและดึงขึ้นรูป เพื่อยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ และยังทนต่อการ สึกหรอได้ดี เหล็กกล้าผสม (alloy steel) จะทนการสึกหรอจากความร้อนได้ดีกว่าเหล็กกล้าคาร์บอน (carbon steel) เหล็กกล้า ชนิดพิเศษ ที่มีธาตุผสมของแมงกานีส นิกเกิล โครเมียม หรือ โคบอลต์ จะเหมาะกับการทำแม่พิมพ์ที่ผลิตชิ้นงานจำนวนมาก ๆ หรือทำแม่พิมพ์ที่มีความแม่นยำสูง เหล็กกล้าชนิดพิเศษ ต่าง ๆ ที่นิยมใช้กันมาก คือ

1. เหล็กเครื่องมือคาร์บอนประเภทสัณฐานลักษณะ SK เป็นเหล็กที่มีราคาถูกที่สุดในกลุ่มของเหล็กกล้าชนิดพิเศษนี้ การตัดปาดผิวทำได้ง่าย จึงนิยมใช้ทำแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปมีความแข็งแรงระหว่าง 58 - 62 ร็อคเวล (HRC) แต่ในการชุบแข็งจะมีโอกาสผิวดูและร้าวได้ง่าย มีความต้านทานการสึกหรอต่ำ

2. เหล็กเครื่องมือผสมประเภท SKS 2 หรือ SKS 3 มีปริมาณคาร์บอนมากแต่โครเมียมน้อย ใช้ทำแม่พิมพ์ตัดชิ้นงานที่มีความแม่นยำ แต่ทนการสึกหรอน้อยกว่าเหล็กแม่พิมพ์ และมีราคาถูกกว่า จึงเหมาะในการทำแม่พิมพ์คุณภาพปานกลาง

3. เหล็กแม่พิมพ์ (SKD) เช่น SKD 1 หรือ SKD 11 มีคุณสมบัติเหนือกว่าเหล็กเครื่องมือผสม (SKS) ในด้านความแข็งแรงทนต่อการสึกหรอและการกระแทกได้ดี เหมาะสำหรับการทำแม่พิมพ์ตัดวัสดุที่แข็งมาก ๆ เช่น เหล็กกล้าและสแตนเลส เป็นต้น สามารถทำแม่พิมพ์ตัด ดึงขึ้นรูป กดขึ้นรูป และแม่พิมพ์ดึงลวดได้ดี

4. เหล็กروبสูงประเภทสัณฐานลักษณะ SKH มีปริมาณธาตุต่างๆ ผสมมาก เช่น คาร์บอน โครเมียม ทังสเทน วาเนเดียม และโคบอลต์ เป็นต้น ทำการชุบแข็งได้ดีมากเมื่ออบชุบด้วยความร้อนอย่างเหมาะสม ทนต่อการสึกหรอสูงและมีคุณสมบัติอื่น ๆ ตามต้องการ แต่เนื่องจากมีราคาแพง จึงมักใช้ทำพื้นซ์ และตายขนาดเล็ก สำหรับเจาะรูขนาดเล็กบนเหล็กแผ่นหนาเป็นเหล็กชนิด ที่คงความแข็งแรงทนการสึกหรอได้ที่อุณหภูมิสูง จึงนิยมใช้ทำแม่พิมพ์ซึ่งใช้ในงานที่อุณหภูมิสูง

**เหล็กกล้าสำหรับทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปร้อน** ใช้ในงานทุบขึ้นรูป ทุบแบน คดรีด หล่ออัด และงานอื่นๆ ซึ่งต้องการเหล็กทำแม่พิมพ์ที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่อุณหภูมิสูง ซึ่งต้องมีความแข็งแรงและเหนียวมาก ทนการสึกหรอและทนความร้อนได้ดีเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูง คงความแข็งแรงได้ที่อุณหภูมิสูง สามารถชุบแข็งได้ และง่ายต่อการอบชุบด้วยความร้อน การเสียรูปเนื่องจากการอบชุบด้วยความร้อนน้อยที่สุด ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี นำความร้อนได้ดี ตัดปาดผิวได้ง่าย สิ่งสำคัญคือต้องมีความแข็งแรง ทนการสึกหรอและความเหนียวเช่นเดียวกับเหล็กทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปเย็นนอกจากนี้การใช้งานที่อุณหภูมิสูงจะต้องทนความล้าจากความร้อน เนื่องจากได้รับความร้อนและความเย็นสลับกัน และทนต่อการกระแทกกับชิ้นงานที่ร้อน คุณสมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีขึ้นรูปชิ้นงาน เหล็กกล้าสำหรับทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปร้อน เช่น

SKD.4 และ SKD.5 ซึ่งมีปริมาณทังสเทนสูง  
SKD.6 และ SKD.61 มีปริมาณโครเมียม 5 %  
SKT.2 และ SKT.5 ใช้ทำแม่พิมพ์ทุบขึ้นรูป

นอกจากประเภทต่างๆที่กล่าวมาแล้ว ยังสามารถใช้เหล็กประเภท SKS.2 และ SKS.4 กับงานขึ้นรูปร้อนได้ด้วย

#### เหล็กหล่อ

เป็นวัสดุพื้นฐานที่ใช้ในอุตสาหกรรมและมีคุณสมบัติต่างๆตามต้องการ เช่น ความแข็งแรง ความแข็งแรง ตัดปาดผิวง่าย หล่อขึ้นรูปง่ายและมีผิวลื่นเป็นต้น เหล็กหล่อทนต่อแรงดันได้ดี และสามารถขึ้นรูปที่ซับซ้อนได้โดยมีค่าใช้จ่ายต่ำ มักใช้ทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปขนาดใหญ่ซึ่งมีแรงดันที่ผิวต่ำ เช่น เหล็กหล่อเทา (gray cast iron) ประเภท FC.25 เป็นเหล็กหล่อเทาที่ใช้กันทั่วไป ถ้าต้องการแม่พิมพ์ที่มีความแข็งแรงสูงต้องใช้เหล็กหล่อผสม(alloy cast iron) หรือเหล็กหล่อกราไฟต์

#### กลุ่มโลหะอื่น ๆที่ไม่ใช่เหล็ก

เนื่องจากแม่พิมพ์ที่เป็นเหล็กเมื่ออัดขึ้นรูป ทำให้เหล็กติดหรือขีดผิวแม่พิมพ์ได้ง่ายทำให้การขึ้นรูปมีปัญหาและแม่พิมพ์เสียหายง่าย จึงแก้ปัญหาโดยใช้แม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุอื่น ที่มีผิวลื่นเช่น โลหะผสมของทองแดงกับอะลูมิเนียมใช้ทำแม่พิมพ์ดึงขึ้นรูปได้ดีลดแรงที่แม่พิมพ์ต้องรับความร้อนจากการเสียดสีและทน ต่อแรงอัดได้ดีโลหะผสมที่มีทองแดงเป็นส่วนประกอบหลักและมีอะลูมิเนียมร้อยละ 14.5 เหล็กร้อยละ 5 ผสมกับธาตุอื่นๆ ซึ่งมีปริมาณรวมกันไม่เกินร้อยละ 1 โลหะผสมชนิดนี้มีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีความเหนียวเหมือนโลหะทองแดง

#### ซีเมนต์คาร์ไบด์ (Cement carbide)

ทำด้วยเทคนิคการอัดขึ้นรูปผงโลหะของทังสเทนคาร์ไบด์และโคบอลต์ เป็นวัสดุที่แข็งที่สุดชนิดหนึ่ง มีความแข็งแรงระหว่าง 8.5-9.0 ร็อคเวล (HRA) ทนการสึกหรอได้ดีกว่าวัสดุอื่นๆ แต่ทนแรงกระตุก (shock) ได้ต่ำ เหมาะสำหรับการทำแม่พิมพ์ที่ผลิตชิ้นงานจำนวนมาก เช่น แม่พิมพ์เครื่องมือตัดโลหะคาร์ไบด์ที่ผสมโคบอลต์และมีความเหนียวใช้ทำแม่พิมพ์ที่ต้องทนทานการสึกหรอถ้ามีโคบอลต์ผสมอยู่ร้อยละ 20 จะใช้ทำแม่พิมพ์อัด แต่แม่พิมพ์ที่ทำจากคาร์ไบด์มีความแข็งแรงมากจึงต้องตัดปาดผิวด้วยเพชร

#### Ferro-Tic

เป็นวัสดุชนิดใหม่ที่พัฒนาขึ้นครั้งแรกในอเมริกาเพื่อแทนที่คาร์ไบด์ซึ่งตัดปาดผิวได้ยาก เป็นส่วนผสมของเหล็กเครื่องมือผสม (SKS) เหล็กแม่พิมพ์ (SKD) และ Tic ที่นำมาอัดโดยกรรมวิธีขึ้นรูปผงโลหะวัสดุชนิดนี้สามารถปาดผิวได้ง่ายเช่นเดียวกับเหล็กแม่พิมพ์เมื่ออบชุบแข็งจะมีความแข็งแรงและเหนียวเท่ากับคาร์ไบด์

#### สังกะสีผสม (Zinc alloy)

เป็นโลหะผสมของสังกะสีบริสุทธิ์ (99.99%) กับอะลูมิเนียมร้อยละ 4 และทองแดงร้อยละ 3 มีคุณสมบัติคล้าย mild steel และอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ คือ 380 องศาเซลเซียส จึงหล่อเป็นแม่พิมพ์ได้ง่าย โดยใช้แบบหล่อทราย ปูนปลาสเตอร์หรือโลหะ เมื่อไม่ต้องการใช้งานแม่พิมพ์นั้นก็สลายหลอมนำ

กลับมาใช้ใหม่ได้อีก ใช้ทำแม่พิมพ์ตัด ดัด ดึง ขึ้นรูปโลหะแผ่น แม่พิมพ์ขึ้นรูปพลาสติก แต่เป็นแม่พิมพ์ที่สามารถผลิตชิ้นงาน จำนวนน้อย หรือ ใช้ทำแม่พิมพ์เพื่อการทดลองงาน

### โลหะผสมจุดหลอมเหลวต่ำ

เป็นโลหะผสมของตะกั่วกับบิสมัทร้อยละ 45 ดีบุกร้อยละ 14.5 และพลวงร้อยละ 9 เป็นโลหะผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าสังกะสีผสม มีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวระหว่าง 70-240 องศาเซลเซียส ไม่เหมาะสำหรับทำแม่พิมพ์ขึ้นรูป เนื่องจากมีราคาแพง และจะขยายตัวเมื่อกลายเป็นของแข็ง จึงเหมาะสำหรับใช้เติมช่องว่างเพื่อจับยึด พันซ์ บุช และชิ้นส่วนอื่นๆ ของ แม่พิมพ์

### โลหะผสมเบริลเลียม-ทองแดง

เป็นโลหะผสมของทองแดงที่มีเบริลเลียม ร้อยละ 0.5-3.0 และโคบอลต์อีกเล็กน้อย เมื่ออบชุบด้วยความร้อนแล้วจะมีความแข็ง ยืดหยุ่น ทนการสึกหรอ และทนความล้า มักใช้ทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปพลาสติก

### Stellite

เป็นโลหะผสมของโคบอลต์ กับ โครเมียม ทั้งสแตนคาร์บอน และเหล็ก ไม่เกินร้อยละ 3 มีความแข็ง ทนการสึกหรอและการกัดกร่อนได้ดี ไม่อ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง ใช้ทำส่วนของแม่พิมพ์ที่ผิวต้องทนต่อการสึกหรอสูง ทำให้ยืดอายุการใช้งานได้

### อลูมิเนียม

พลาสติก แม่พิมพ์ที่ทำจากพลาสติกจะมีความแข็งแรง และทนทานน้อยกว่าแม่พิมพ์โลหะ มักใช้กับงานที่ผลิตจำนวนน้อยและใช้งานระยะสั้น หรือทำแม่พิมพ์ทดลองงานพลาสติก ชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ อีพอกซีเรซิน (epoxy resin) เพราะใช้งานได้ดี อาจผสมใยแก้ว หรือผงโลหะลงในพลาสติก เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรง

**ยางและโพลียูรีเทน (Polyurethane)** ยางมีความยืดหยุ่น และอ่อนตัวจึงเหมาะสำหรับใช้ทำพันธและตายที่รับแรงน้อยสำหรับผลิตชิ้นงานจำนวนน้อย เพราะทำแม่พิมพ์ง่ายปัจจุบันนิยมใช้โพลียูรีเทนแทนยาง โพลียูรีเทนเป็นยางสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างยางกับพลาสติก มักจะใช้ทำแม่พิมพ์ตัด เพราะมีความยืดหยุ่นและทนการสึกหรอได้ดี

วัสดุอื่นๆ เช่น พลาสติกอร์ ไมคอนกรีต เป็นต้น มักใช้ทำแม่พิมพ์บางประเภทเฉพาะงานที่ต้องการ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมที่ใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานโลหะแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ 2 ประเภทได้แก่

1. อุตสาหกรรมที่ดำเนินการผลิตอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งต้องการความเที่ยงตรงสูงและผลิตในปริมาณมาก ๆ เช่น การผลิตหลีดเฟรม (lead frame) ของไอซี (IC) หรือขั้วต่อไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งต้องเลือกใช้โลหะแข็งที่แข็งเป็นพิเศษเช่น โลหะเจือประเภท  $KF_2$  เป็นเหล็กเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นใหม่มีความทนทานการขัดสีเช่นเดียวกับเหล็กกล้า ซึ่งมีความแข็งแรงพิเศษและมีความแกร่งสูงเช่นเดียวกับเหล็กอบสูง โลหะเจือชนิดนี้เป็นโลหะผสมของเหล็กกับคาร์บอนซึ่งมีปริมาณสูงสุดไม่เกินร้อยละ 9 และวานาเดียมสูงสุดไม่เกินร้อยละ 38 หรือจะใช้โลหะผงอัดขึ้นรูปพวกคาร์ไบด์ (carbide) เช่น ซีเมนต์คาร์ไบด์

หรือทั้งสแตนคาร์ไบด์ ซึ่งเป็นวัสดุที่แข็งที่สุดชนิดหนึ่ง ใช้เป็นวัสดุทำแม่พิมพ์ ถึงแม้ราคาจะสูงแต่มีความทนทานใช้งานได้นาน ไม่สึกหรอง่าย

2. อุตสาหกรรมซึ่งผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ หลายๆ ประเภท ที่มีปริมาณการผลิตไม่มากนัก และต้องเปลี่ยนแปลง รูปแบบของผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของตลาด เช่น การผลิต พื้นรองเท้า อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้ในครัวเรือน อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้ประจำวัน หรือทำแม่พิมพ์ที่ทำขึ้นเพื่อการทดลองงาน การอัดขึ้นรูปชิ้นงานทั่วไป ซึ่งจำเป็นต้องลดต้นทุน การทำแม่พิมพ์ให้มีราคาถูกเพื่อการแข่งขันด้านราคาของผลิตภัณฑ์ จึงต้องใช้แม่พิมพ์ที่ทำจากเหล็กกล้า เช่น เหล็กกล้าประเภท SK, SKS, SKB หรือเหล็กกล้าพรีฮาร์ดเนด (pre-hardened) แม่พิมพ์ประเภทนี้ไม่ทนทานเหมือนประเภทแรก แต่มีราคาถูกกว่า

คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ คือ ต้องมีความแข็งแรงและทนการสึกหรอ ควรมีความเหนียวพอสมควร ทำให้ตัดปาดผิวหรือขึ้นรูปได้ง่าย คุณสมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุต่างๆ ที่เติมลงไป ในวัสดุที่จะใช้ทำแม่พิมพ์ การเลือกเหล็กกล้าทำแม่พิมพ์ต้องมีความรู้เรื่องคุณสมบัติของธาตุต่างๆ ที่เติมลงไป และผลที่จะเกิดขึ้นด้วย ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1. คาร์บอน (C) มีผลต่อคุณสมบัติของเหล็กทั้งทางกายภาพ และเชิงกล ทำให้ความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้น ความแข็งเพิ่มขึ้นแต่เชื่อมได้ยากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอน

2. โครเมียม (Cr) ช่วยเพิ่มความต้านแรงดึง และความแข็งแรงขณะที่ความเหนียว และการทนแรงกระแทกจะลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณโครเมียมมากขึ้นทำให้ความสามารถในการชุบแข็ง และความต้านทานการสึกหรอจะเพิ่มขึ้นด้วย ถ้าใช้ร่วมกับการเพิ่มปริมาณทั้งสแตนจะทำให้เกิดผลดีมาก

3. ทั้งสแตน (W) มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับโครเมียมเมื่อเพิ่มในปริมาณน้อย ถ้าเพิ่มในปริมาณมากทำให้เกิดคาร์ไบด์ซึ่งแข็ง จึงช่วยคงความแข็งแรง ความต้านทานการสึกหรอ และความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูงได้ดี

4. นิกเกิล (Ni) ช่วยเพิ่มความแข็งแรง ความแข็งแรง ความต้านแรงกระแทก และความสามารถในการชุบแข็งได้ดี โดยไม่ได้ลดความเหนียวของเหล็กกล้า แต่มักผสมร่วมกับโครเมียมและโมลิบดีนัม เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้เนื้อเหล็ก

5. โมลิบดีนัม (Mo) มีคุณสมบัติคล้ายกับทั้งสแตน แต่ให้ผลมากกว่าเป็นสองเท่า ช่วยเพิ่มความแข็งแรง และความลึกในการชุบแข็ง ความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง และความแข็งแรงจากการอบด้วยความร้อนได้เช่นเดียวกับโครเมียม

6. วานาเดียม (V) ช่วยให้เม็ดเกรนมีความละเอียดและแน่น เพิ่มความสามารถในการชุบแข็งและความแข็งแรงเมื่อได้รับความร้อน ถ้าใช้ร่วมกับโครเมียมหรือ โครเมียม ทั้งสแตน ทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

7. โคบอลต์ (Co) ทำให้มีความแข็งแรง และความต้านทานที่อุณหภูมิสูง เมื่อใช้ร่วมกับโครเมียม ทั้งสแตน โมลิบดีนัม

8. แมงกานีส (Mn) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงในการชุบแข็ง และความต้านทานการสึกหรอ และลดการเสียรูปในระหว่างการอบชุบด้วยความร้อน และยังป้องกันความเปราะเนื่องจากธาตุซัลเฟอร์ที่ผสมอยู่ด้วย

โดยสรุปจะเห็นได้ว่าการเลือกวัสดุมาทำแม่พิมพ์นั้น ต้องพิจารณาให้รอบคอบและเหมาะสม โดยต้องพิจารณาถึงปริมาณการผลิตต้นทุนการผลิต ความทนทานของแม่พิมพ์ กรรมวิธีใน

การผลิตความแม่นยำของผลิตภัณฑ์และอื่น ๆ ที่จะช่วยให้ชิ้นงานของผลิตภัณฑ์ ที่ทำจากแม่พิมพ์นั้นๆ มีคุณภาพดีและเหมาะสมตามความต้องการทุกประการ

#### เอกสารอ้างอิง

- Japanese Standards Association. Alloy tool steels JIS G 4404. 1983.  
 \_\_\_\_\_ . Carbon tool steels JIS G 440. 1983.  
 \_\_\_\_\_ . High speed tool steels JIS G 4403.  
 ชาญ ถนังงานและคณะ. คู่มือการออกแบบ และสร้างแม่พิมพ์ขนาดเล็ก.  
 กรุงเทพฯ : มูลนิธิเพื่อสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกล และโลหะการ ,  
 2539. หน้า 1 - 21.  
 \_\_\_\_\_ . คู่มือการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ราคาถูกสำหรับงานเพรส. พิมพ์ครั้งที่ 2.  
 กรุงเทพฯ : บริษัทสามัคคีสาร (ดอกหญ้า) จำกัด, 2539. หน้า 1 -16 .  
 วิจิตร พงษ์บัณฑิต. เทคโนโลยีการหล่อโลหะ (Metal casting technology). 2542 .  
 พฤศจิกายน, 5-6 กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC).  
 ศูนย์แสดงสินค้านานาชาติกรุงเทพฯ (ไบเทค). หน้า 54 -74 .  
 วิวัฒน์ ดันดิขจรโกศล. วัสดุแม่พิมพ์. วารสารแม่พิมพ์, ตุลาคม - ธันวาคม. 2536,  
 ปีที่ 5, ฉบับที่ 20, หน้า 17 - 28.