



เหมาะสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
และหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต

เทคโนโลยี แม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ

(Stamping and Punching Dies Technology)



พค. อรรถมนชาติ วันแต่ง



เทคโนโลยีแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ

โดย พศ. ธรรม์ณชาติ วันแต่ง

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย โดย พศ. ธรรม์ณชาติ วันแต่ง

ห้ามคัดลอก ลอกเลียน ตัดแปลง ทำซ้ำ จัดพิมพ์ หรือกระทำการอื่นใด โดยวิธีการใดๆ ในรูปแบบใดๆ ไม่ว่าส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้ เพื่อเผยแพร่ในสื่อทุกประเภท หรือเพื่อวัตถุประสงค์ใดๆ นอกจากจะได้รับอนุญาต

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

ธรรม์ณชาติ วันแต่ง.

เทคโนโลยีแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ. -- กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2561.

1. แม่พิมพ์ (งานโลหะ).

I. ชื่อเรื่อง.

621.93

ISBN (e-book) : 552-410-00-0226-9

ผลิตและจัดจำหน่ายโดย



บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED

เลขที่ 1858/87-90 ถนนเพชรรัตน แขวงบางนาใต้ เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260
โทรศัพท์ 0-28269-8000

[หากมีคำแนะนำหรือติชม สามารถติดต่อได้ที่ comment@se-ed.com]



คำนำ

หนังสือ เทคโนโลยีแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ (Stamping and Punching Dies Technology) เล่มนี้ ผู้เขียนได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นหนังสือประกอบการเรียนการสอนในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต และหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต รายวิชาเทคโนโลยีแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ ซึ่งเนื้อหาภายในเล่มครอบคลุมตามคำอธิบายรายวิชาในหลักสูตร และเหมาะสมสำหรับหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) และหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ประเภทวิชาอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานสร้างแม่พิมพ์ รวมทั้งเนื้อหาในเล่มนี้ยังเหมาะสมสำหรับผู้สนใจต้องการศึกษาเพิ่มพูนความรู้เกี่ยวกับแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะได้อีกด้วย โดยเนื้อหาแบ่งออกเป็น 5 บท ได้แก่ พื้นฐานแม่พิมพ์โลหะ ประเภทแม่พิมพ์ตัดโลหะ ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ การคำนวณและการออกแบบในงานสร้างแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ และการสร้างแม่พิมพ์และการประกอบชุดแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ ซึ่งในการอธิบายเนื้อหาแต่ละบทนั้นจะใช้คำศัพท์ที่ง่าย มีรูปประกอบ มีการยกตัวอย่างชิ้นงานต่างๆ มีแบบงานสำหรับการฝึกปฏิบัติ พร้อมแทรกงานวิจัยและเนื้อหาความรู้ใหม่ๆ ที่เป็นปัจจุบัน เพื่อมุ่งหวังให้ผู้เรียนเกิดความรู้ ความเข้าใจ มีทักษะด้านการสร้างแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ ตลอดจนการประยุกต์ความรู้เพื่อใช้งานจริงได้

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะให้ประโยชน์สำหรับอาจารย์ผู้สอน นักศึกษา หรือผู้ที่สนใจได้ตามสมควร หากท่านที่นำหนังสือเล่มนี้ไปใช้มีข้อเสนอแนะ ผู้เขียน ยินดีน้อมรับฟังและขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผศ. ธรรม์ณชาติ วันแต่ง





สารบัญ

บทที่ 1 พื้นฐานแม่พิมพ์โลหะ.....	9
1.1 กรรมวิธีการตัดโลหะแผ่น.....	9
1.2 งานขึ้นรูปโลหะแผ่น.....	22
1.3 บทสรุป.....	31
คำถามทบทวน.....	33
เอกสารอ้างอิง.....	35
บทที่ 2 ประเภทแม่พิมพ์ตัดโลหะ.....	37
2.1 ประเภทแม่พิมพ์งานโลหะแผ่น.....	38
2.2 ประเภทแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ.....	39
2.3 พื้นฐานการตัดโลหะแผ่น.....	45
2.4 การคำนวณแรงสำหรับแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ.....	51
2.5 เครื่องปั๊มโลหะ.....	59
2.6 บทสรุป.....	61

คำถามทบทวน.....	63
เอกสารอ้างอิง.....	64
บทที่ 3 ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ.....	65
3.1 ชุดยึดแม่พิมพ์.....	65
3.2 ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ.....	68
3.3 คุณสมบัติของวัสดุทำแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ.....	73
3.4 บทสรุป.....	80
คำถามทบทวน.....	81
เอกสารอ้างอิง.....	83
บทที่ 4 การคำนวณและการออกแบบในงานสร้างแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ.....	85
4.1 การคำนวณแรงตัด.....	85
4.2 การออกแบบในงานสร้างแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ.....	87
4.3 บทสรุป.....	101
เอกสารอ้างอิง.....	103
บทที่ 5 การสร้างแม่พิมพ์และการประกอบชุดแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ.....	105
5.1 การสร้างแม่พิมพ์.....	105
5.2 การติดตั้งชุดแม่พิมพ์.....	110
5.3 หลักการทำงานของชุดแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ.....	115
5.4 การนำชิ้นงานสำเร็จที่ผ่านการปั๊มไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ.....	117
5.5 บทสรุป.....	118
เอกสารอ้างอิง.....	120

ภาคผนวก.....	121
ภาคผนวก ก. ความหนาโลหะแผ่น.....	122
ภาคผนวก ข. แบบงานแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะของที่ระลึก พวงกุญแจโลหะรูปมะขาม.....	124
ภาคผนวก ค. แบบงานแม่พิมพ์ตัดแผ่นเปล่าแบบง่าย	142
ภาคผนวก ง. แบบงานแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปถ้วยแบบง่าย.....	150
บรรณานุกรม	157



SE-ED

บทที่

2

ประเภท แม่พิมพ์ตัดโลหะ



แม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะเป็นเครื่องมือที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ให้ได้ปริมาณมากโดยที่มีขนาดและรูปร่างเหมือนกัน ใช้เวลาในการผลิตต่อชิ้นต่ำ ราคาต่อชิ้นมีราคาถูก ใช้ทรัพยากรน้อยลงเมื่อเทียบกับการใช้แรงงานคนหรือการทำงานด้วยเครื่องจักรแบบอื่น ด้วยเหตุนี้ในอุตสาหกรรมต่างๆ จึงจำเป็นต้องใช้แม่พิมพ์เข้ามาช่วยในการปฏิบัติงาน เพราะจะเป็นต้นทุนทางในกระบวนการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพและมีข้อดีดังกล่าวข้างต้น อุตสาหกรรมที่ใช้แม่พิมพ์ในการกระบวนการผลิต ได้แก่ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์สินค้า อุตสาหกรรมเครื่องตีหรืออุตสาหกรรมเครื่องครัว เป็นต้น และในบทนี้จะได้กล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับประเภทแม่พิมพ์ตัดโลหะ แม่พิมพ์ตัดแผ่นเปล่า แม่พิมพ์เจาะรู แม่พิมพ์แบบผสม แม่พิมพ์แบบต่อเนื่องหลายขั้นตอน และแม่พิมพ์แบบมีชุดป้อนเลื่อนผ่าน รวมถึงพื้นฐานการตัดโลหะ ความแข็งแรงเฉือน ระยะกินลึก ระยะช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ แรงดัดตัวกลับ การวางแบบบนแผ่นวัสดุงาน การคำนวณแรงสำหรับแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ และเครื่องปั๊มโลหะ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจพื้นฐานงานด้านแม่พิมพ์ได้มากขึ้น

2.1 ประเภทแม่พิมพ์งานโลหะแผ่น

แม่พิมพ์เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการตัด การปั๊มสร้างรูปร่าง หรือการขึ้นรูปชิ้นงาน ชิ้นงานสำเร็จที่ผ่านกระบวนการของแม่พิมพ์มีทั้งที่นำไปใช้งานหรือเป็นชิ้นส่วนที่ต้องนำไปประกอบเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จก่อนที่นำไปใช้งาน หลักการทำงานของแม่พิมพ์มีตั้งแต่กระบวนการที่ง่ายจนถึงกระบวนการที่ซับซ้อนมาก กระบวนการที่ทำให้เข้าใจหลักการทำงานของแม่พิมพ์ได้ง่ายขึ้น ได้แก่ การใช้ตัวตัดเจาะกระดาษให้เป็นรู หรือการใช้แบบตัวอักษรกดดินน้ำมันให้เป็นตัวอักษรต่างๆ ได้ เป็นต้น โดยในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะแม่พิมพ์งานโลหะ ในวงการอุตสาหกรรมการผลิตที่มีปริมาณการผลิตจำนวนมาก มีคุณภาพชิ้นงานที่ดี แรงงานฝีมือทั่วไปสามารถปฏิบัติงานได้ การออกแบบแม่พิมพ์จึงจำเป็นต้องใช้ผู้ที่เชี่ยวชาญและมีประสบการณ์ในการสร้าง เพื่อให้แม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นสามารถผลิตชิ้นงานได้ตามวัตถุประสงค์ และสามารถใช้แรงงานฝีมือปฏิบัติงานได้โดยมีความปลอดภัย เพราะส่วนใหญ่ผู้ที่สร้างแม่พิมพ์กับผู้ปฏิบัติงานไม่ใช่คนเดียวกัน นอกจากนี้แล้วต้องคำนึงถึงด้านเศรษฐศาสตร์ในการสร้างแม่พิมพ์ด้วยว่ามีจุดคุ้มทุนที่เท่าไรและให้ผลกำไรได้ที่เท่าไร ตลอดจนความสวยงามเรียบร้อยทั้งชุดแม่พิมพ์เมื่อประกอบสำเร็จ และชนิดของแม่พิมพ์ที่ถูกกำหนดด้วยชิ้นงานของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ประเภทของแม่พิมพ์สำหรับงานโลหะแผ่นสามารถแบ่งได้ดังนี้ ชุดแม่พิมพ์งานปั๊มตัด ชุดแม่พิมพ์งานขึ้นรูป ชุดแม่พิมพ์งานขึ้นรูปลึก และชุดแม่พิมพ์งานอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ประเภทของแม่พิมพ์สำหรับงานโลหะแผ่น

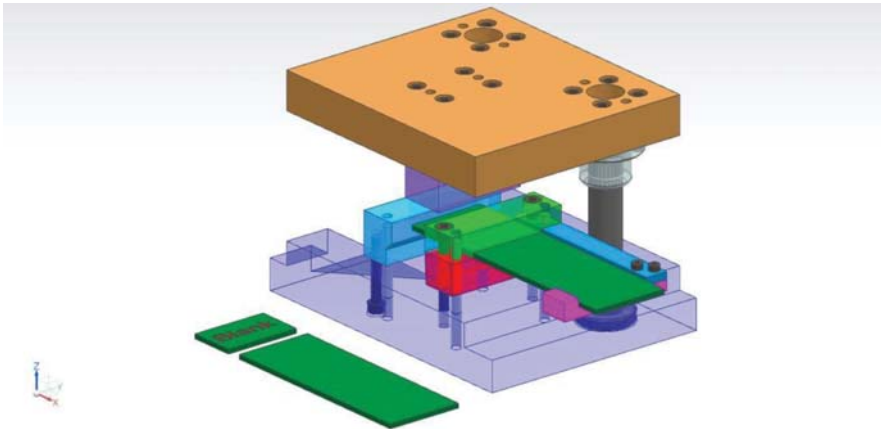
2.2 ประเภทแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ

ในหนังสือเล่มนี้จะนำเสนอประเภทของแม่พิมพ์สำหรับงานโลหะแผ่นในส่วน of แม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะเป็นหลัก โดยแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะถูกแบ่งตามลักษณะการทำงานของ แม่พิมพ์และตามรูปร่างของชิ้นงาน ซึ่งในปัจจุบันมีการจำแนกที่หลากหลายประเภทเพราะ ในวงการของแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะนั้นมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งภาคอุตสาหกรรมและ ภาคการศึกษาวิจัยอยู่ตลอดเวลา แต่อย่างไรก็ตาม ในการเลือกใช้งานแต่ละประเภทต้อง คำนึงถึงหลายส่วนประกอบกัน เช่น ลักษณะความซับซ้อนของชิ้นงาน ปริมาณงานที่ผลิต ความพร้อมของเครื่องจักรและจุดคุ้มทุน เพื่อนำมาประกอบในการเลือกใช้แม่พิมพ์ปั๊มตัด โลหะแต่ละประเภท ในบทนี้จะแบ่งประเภทของแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะตามสภาพของการใช้ งานเป็นหลัก โดยหลักการทำงานของแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะนั้นจะเริ่มตั้งแต่แบบการทำงาน ตัดชิ้นงานเพียงครั้งเดียวจนถึงแบบการตัดชิ้นงานที่ซับซ้อนและหลายขั้นตอนมากขึ้น ตลอด จนอธิบายถึงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะและหลักการทำงานของแต่ละชิ้นส่วน ซึ่งในวงการ แม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะนั้นมักเรียกชื่อชิ้นส่วนต่างๆ ทับศัพท์เป็นภาษาอังกฤษ เพื่อให้เกิดความ เข้าใจที่ตรงกันในการปฏิบัติงาน ประเภทแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะจึงประกอบด้วยดังนี้

2.2.1 แม่พิมพ์ปั๊มตัดแผ่นเปล่า

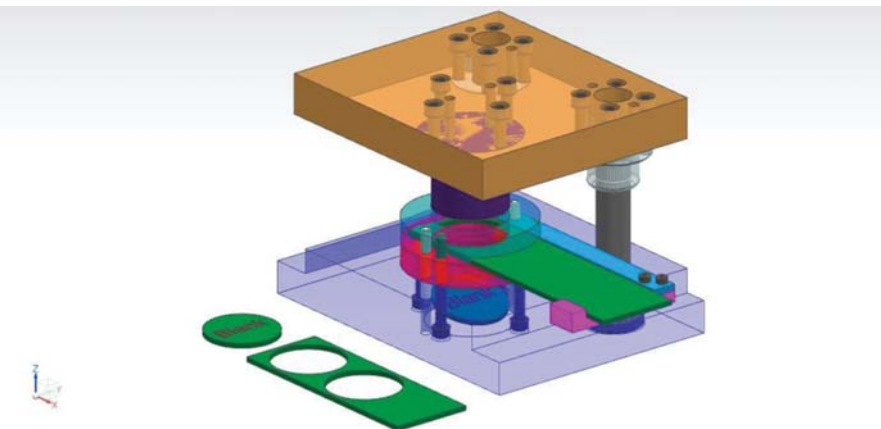
แม่พิมพ์ปั๊มตัดแผ่นเปล่า (Blanking Dies) แม่พิมพ์ปั๊มตัดแบบนี้ใช้ผลิตชิ้นงานที่มี ลักษณะไม่ซับซ้อน โดยหลักการในการลงตัดชิ้นงานของแม่พิมพ์มีเพียงขั้นตอนเดียว แล้ว ตัดให้ออกมาเป็นรูปร่างต่างๆ ซึ่งชิ้นงานที่ผ่านการปั๊มตัดแผ่นเปล่านี้อาจนำไปใช้งานต่อได้ หรืออาจนำไปเข้าสู่กระบวนการของแม่พิมพ์ปั๊มโลหะตัวอื่นก็ได้ กลไกการตัดโลหะแผ่นของ แม่พิมพ์นี้ใช้หลักการการตัดเฉือนวัสดุ โดยเมื่อมีแรงกระทำผ่านคมตัดของแม่พิมพ์ไปบน วัสดุชิ้นงานจึงเกิดการเปลี่ยนรูปจนเกิดการแตกของวัสดุ การแบ่งชนิดของแม่พิมพ์ปั๊มตัด แผ่นเปล่าสามารถแบ่งได้อีก 3 แบบ ได้แก่

1. แม่พิมพ์ปั๊มตัดแผ่นเปล่าแบบตัดแบ่ง (Cutoff Dies) แม่พิมพ์ปั๊มตัดนี้มีหลัก การทำงานแบบพื้นฐานที่สุด โดยมีหลักการใช้แรงกระทำผ่านคมตัดของแม่พิมพ์จนเกิดการ แตกของวัสดุ ในการใช้งานจะทำการตัดแผ่นสตริปออกให้ไปเป็นชิ้นๆ เพื่อเตรียมนำไปตัด บนแม่พิมพ์ หรือในปัจจุบันสามารถใช้แผ่นชิ้นงานที่เป็นม้วนเพื่อนำไปเข้ากระบวนการปั๊มตัด จึงได้งานที่ต่อเนื่อง ในกระบวนการนี้ไม่มีเศษเกิดขึ้นเพราะเป็นการตัดทั้งชิ้นงาน ดังแสดง ในรูปที่ 2.2



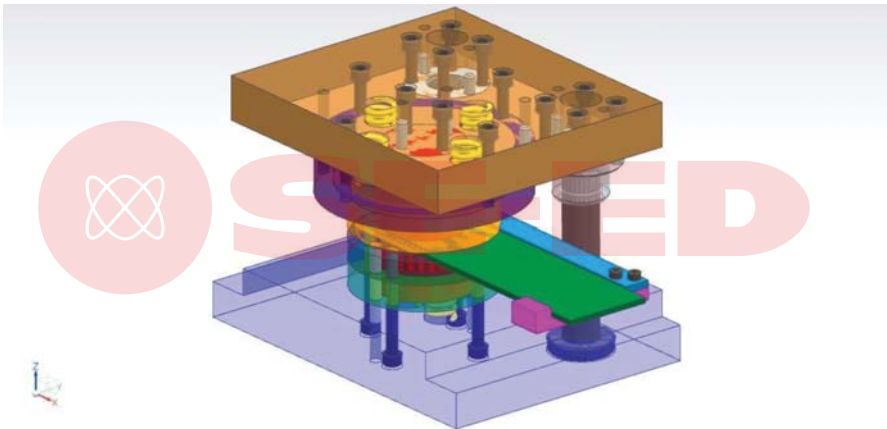
รูปที่ 2.2 แม่พิมพ์ปั๊มตัดแผ่นเปล่าแบบตัดแบ่ง

2. แม่พิมพ์ปั๊มตัดแผ่นเปล่าแบบเลื่อนผ่าน (Drop-through Dies) แม่พิมพ์ปั๊มตัดแบบนี้ทำการตัดแผ่นชิ้นงานให้ได้แผ่นเปล่าตามรูปร่างแม่พิมพ์ โดยชุดแม่พิมพ์จะยึดแผ่นชิ้นงานไว้แล้วชุดแม่พิมพ์ตัวผู้กดตัดลงมาชิ้นงานที่ถูกตัดออกเรียกว่า แผ่นเปล่า ส่วนขอบของแผ่นชิ้นงานที่เหลือเรียกว่า เศษ (Scrap) เมื่อต้องการตัดในขั้นตอนต่อไปก็เลื่อนแผ่นชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการตัดต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.3

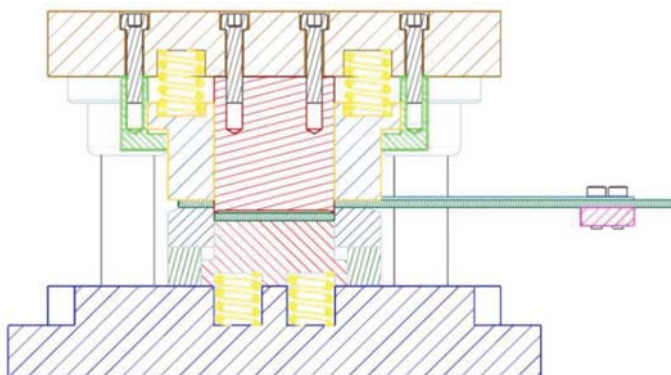


รูปที่ 2.3 แม่พิมพ์ปั๊มตัดแผ่นเปล่าแบบเลื่อนผ่าน

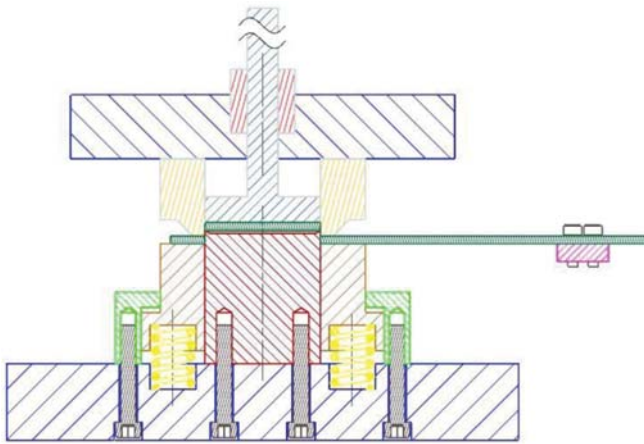
3. แม่พิมพ์ปั๊มตัดแผ่นเปล่าแบบดันกลับ (Return Blanking Dies) หรือแม่พิมพ์ปั๊มตัดละเอียด (Fine Blanking Dies) ในการตัดแบบนี้มีความเที่ยงตรงสูง ไม่มีครีบก้นและไม่รื้อยตำหนิ เพราะในขณะตัดมีทั้งแรงกดยึดชิ้นงานและแรงดันกลับที่ผิวหน้าชิ้นงานให้ติดเข้าอยู่กับแม่พิมพ์ตัวผู้ตลอดเวลา จึงมีหลักการทำงานคล้ายกับตัวประกบชิ้นงานให้อยู่ตรงกลางระหว่างแม่พิมพ์ตัวผู้กับชุดดันตลอดเวลาการปั๊มตัด ดังแสดงในรูปที่ 2.4 แม่พิมพ์ตัดแผ่นเปล่าแบบนี้ประกอบด้วย 2 ประเภทคือ แบบดันกลับทั่วไปและแบบกลับทิศทางแบบดันกลับทั่วไปเมื่อทำการตัดลงมาจะมีชุดแรงดันกลับให้ชิ้นงานติดกับแม่พิมพ์ตัวผู้เสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ส่วนแบบดันกลับทิศทางจะนำแม่พิมพ์ตัวผู้มาไว้ด้านล่างแทน ส่วนด้านบนมีอุปกรณ์สำหรับดันชิ้นงานลงมามาติดกับแม่พิมพ์ตัวผู้ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.4 แม่พิมพ์ปั๊มตัดแผ่นเปล่าแบบดันกลับ



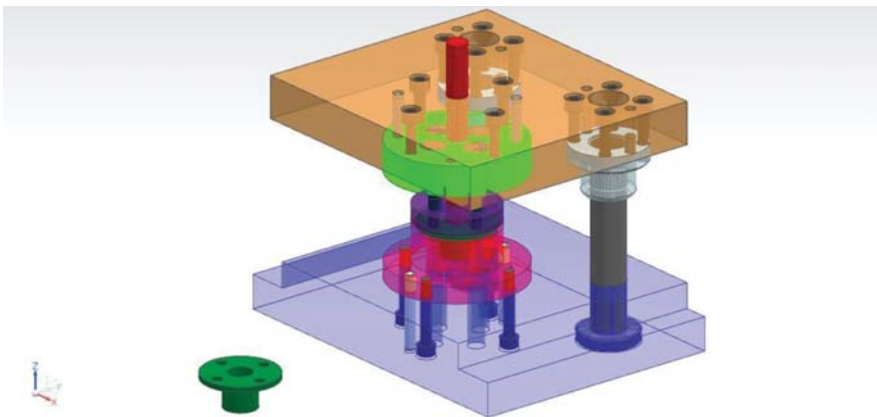
รูปที่ 2.5 แบบงานแม่พิมพ์ปั๊มตัดแบบดันกลับทั่วไป



รูปที่ 2.6 แบบงานแม่พิมพ์ปั๊มตัดแบบกลับทิศทาง

2.2.2 แม่พิมพ์เจาะรู

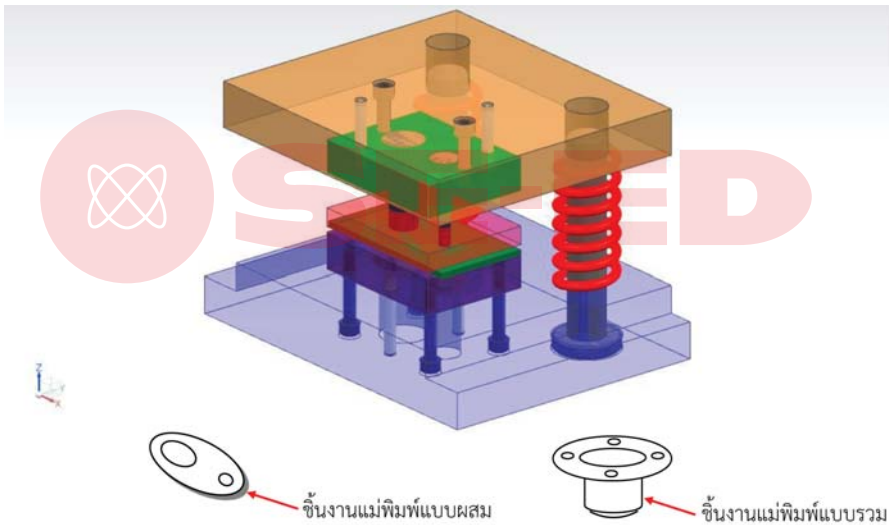
แม่พิมพ์เจาะรูหรือแม่พิมพ์เพียร์ซิง (Piercing Dies) ทำหน้าที่ในการเจาะรูบนชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งชิ้นงานที่มีการเจาะรูเหล่านี้ส่วนมากเป็นชิ้นงานที่ขึ้นรูปมาเป็นรูปทรงต่างๆ เสร็จแล้วจึงมาทำการเจาะรูเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการประกอบ ซึ่งถ้าหากทำการเจาะรูก่อนแล้วจะทำให้ในระหว่างการขึ้นรูปอาจเกิดการขาดได้ ยกตัวอย่างเช่น ในงานขึ้นรูปลึ้กถ้าเจาะรูก่อนแล้วอาจเกิดการฉีกขาดหรือบิดเบี้ยวของรูได้ ดังนั้นแม่พิมพ์เจาะรูส่วนใหญ่จึงถูกออกแบบให้รองรับรูปร่างชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปมาแล้วหรือนำไปใส่ไว้ในแม่พิมพ์แบบอื่นเพื่อให้ทำงานร่วมกัน



รูปที่ 2.7 แม่พิมพ์เจาะรู

2.2.3 แม่พิมพ์แบบผสม

แม่พิมพ์แบบผสม (Compound Dies) เป็นแม่พิมพ์ที่ออกแบบให้มีการทำงานผสมกันระหว่างแม่พิมพ์ปั๊มตัดแผ่นเปล่าและแม่พิมพ์เจาะรูไว้ในการทำงานเพียงครั้งเดียว ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ชิ้นงานรูทั้ง 2 รูถูกเจาะโดยแม่พิมพ์ตัวผู้เจาะรูส่วนขอบชิ้นงานด้านนอกถูกตัดโดยแม่พิมพ์ปั๊มตัดแผ่นเปล่า ส่วนแม่พิมพ์แบบผสมอีกแบบหนึ่งคือแม่พิมพ์แบบรวม (Combination Dies) เป็นการรวมกันระหว่างแม่พิมพ์ปั๊มตัดแผ่นเปล่าและแม่พิมพ์ขึ้นรูปไว้ในการทำงานเพียงครั้งเดียว การขึ้นรูปในกระบวนการนี้ เช่น การขึ้นรูปถ้วยดินๆ พร้อมทำการตัด หรือการโค้งงอขึ้นรูปพร้อมทำการตัด เป็นต้น ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการนี้จึงสามารถเป็นชิ้นงานสำเร็จได้

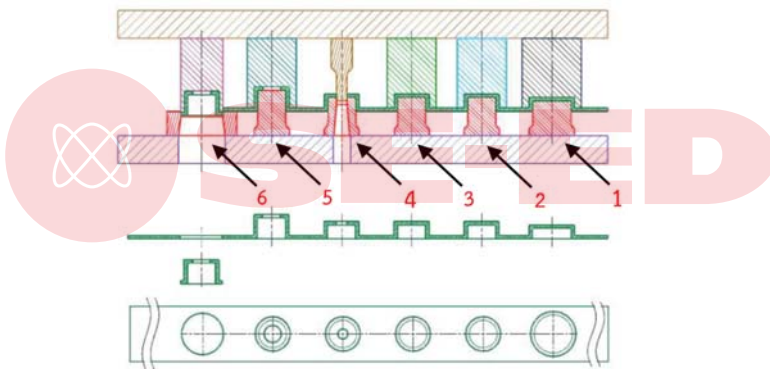


รูปที่ 2.8 แม่พิมพ์แบบผสม

2.2.4 แม่พิมพ์แบบต่อเนื่องหลายขั้นตอนและแม่พิมพ์แบบมีชุดป้อนเลื่อนผ่าน

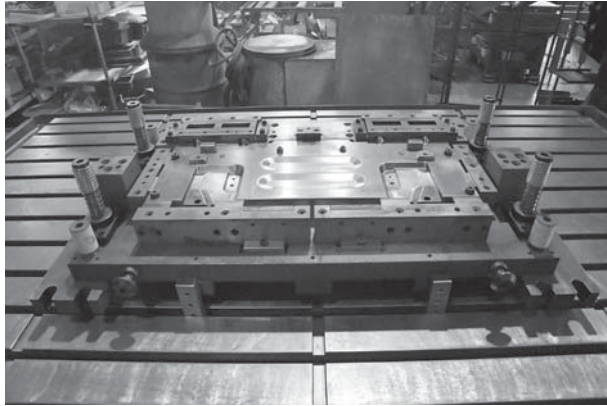
แม่พิมพ์แบบต่อเนื่องหลายขั้นตอน (Progressive Dies) เป็นแม่พิมพ์ที่มีการทำงานแบบต่อเนื่องในทิศทางแถวเดียวกัน โดยการทำงานมีหลายขั้นตอน เช่น มีการเจาะก่อนแล้วจึงไปขั้นตอนตัด จากนั้นจึงไปขั้นตอนการขึ้นรูป เป็นต้น การเลื่อนของแผ่นชิ้นงานในแต่ละครั้งสามารถลงในตำแหน่งการทำงานที่ต่อเนื่องจากขั้นตอนก่อนหน้า โดยอาศัยตัวกำหนด

ตำแหน่งในการช่วยให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการจึงเป็นกระบวนการที่ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพและมีความรวดเร็ว จากรูปเป็นการทำงานของแม่พิมพ์แบบต่อเนื่องแบบหลายขั้นตอนสำหรับขึ้นรูปแหวนรองรับแรงกด ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยขั้นตอนเริ่มจากการนำปลายแผ่นชิ้นงานสำเร็จป้อนเข้าแม่พิมพ์ ซึ่งอาจเป็นแผ่นเดี่ยวหรือเป็นม้วนขนาดใหญ่มีขนาดกว้างตามชิ้นงาน ในขั้นตอนที่ 1-3 ประกอบด้วยการปั๊มขึ้นรูปจากแม่พิมพ์ตัวผู้และแหวนขึ้นรูป (Drawing Ring) ที่ติดอยู่ด้านบน เป็นการขึ้นรูปจากขนาดใหญ่มาเป็นขนาดเล็กและมีความลึกตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 หมายเลข 1-3 ในขั้นตอนที่ 4 จะเป็นขั้นตอนการเจาะรูที่กัน ขั้นตอนที่ 5 ทำการขึ้นรูปอีกครั้งให้มีความลึกเพิ่มขึ้นผนังด้วยมีความบางขึ้น ขั้นตอนที่ 6 เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่จะทำการตัดชิ้นงานออกจากแผ่นชิ้นงานและได้ชิ้นงานสำเร็จ โดยในแต่ละขั้นตอนมีการลงทำงานพร้อมกันในคราวเดียว



รูปที่ 2.9 แบบงานแม่พิมพ์แบบต่อเนื่องหลายขั้นตอน

ส่วนแม่พิมพ์แบบมีชุดป้อนเลื่อนผ่าน (Transfer Dies) เป็นแม่พิมพ์แบบต่อเนื่องหลายขั้นตอนเช่นกัน แต่การทำงานจะใช้การเลื่อนแผ่นชิ้นงานด้วยระบบอัตโนมัติด้วยชุดป้อนที่มีรางและตัวกำหนดตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ข้อดีของแม่พิมพ์แบบมีชุดป้อนเลื่อนผ่านจะลดค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน และประหยัดวัสดุ เพราะเป็นการใช้แผ่นชิ้นงานเป็นม้วนต่อเนื่องและมีอัตราการผลิตที่สูงขึ้น



รูปที่ 2.10 แม่พิมพ์แบบต่อเนื่องหลายขั้นตอน

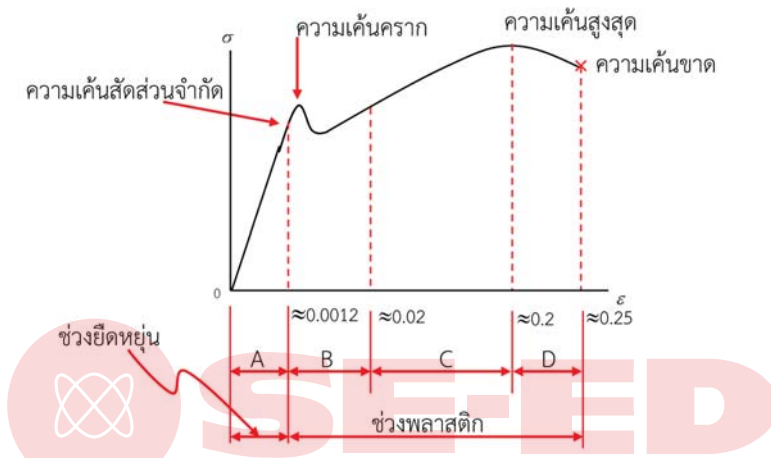
2.3 พื้นฐานการตัดโลหะแผ่น

พื้นฐานการตัดโลหะแผ่นประกอบด้วยหลายขั้นตอน โดยเริ่มตั้งแต่การเปลี่ยนรูปถาวร จนถึง การแตกหักของชิ้นงาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบถึงข้อมูลคุณสมบัติพื้นฐานของ ชิ้นงาน เช่น ความแข็งแรงของวัสดุ ชนิดของวัสดุ ค่าความเค้น-ความเครียดที่เกิดขึ้นในวัสดุ เมื่อผ่านกระบวนการตัดโลหะแผ่น ระยะกินลึก ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ตัวผู้กับแม่พิมพ์ ตัวเมีย หรือระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์และแรงที่ใช้ในกระบวนการตัด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 กลไกการตัดโลหะ

กลไกการตัดโลหะแผ่นประกอบด้วย ขั้นตอนที่ 1 การเริ่มการเปลี่ยนรูปถาวรของ ชิ้นงานเมื่อกดคมตัดแม่พิมพ์ตัวผู้ลงบนชิ้นงานที่วางอยู่บนแม่พิมพ์ตัวเมีย วัสดุชิ้นงานจะมีแรงต้านเพื่อทำการรักษารูปร่างของวัสดุไว้และเกิดการยืดตัวไปตามแนวแรงกระทำ เมื่อแรงกดเพิ่มมากขึ้นบริเวณที่สัมผัสกับคมตัดของแม่พิมพ์ตัวผู้และแม่พิมพ์ตัวเมียจนเกินขีด จำกัดการยืดหยุ่นของวัสดุ (Elastic Limit) จะเกิดการเปลี่ยนรูปถาวรที่บริเวณขอบเรียกว่า ส่วนโค้งมน (Die Roll) ขั้นตอนที่ 2 การกดลึก (Penetration) เมื่อแรงกดแม่พิมพ์ตัวผู้เพิ่มมากขึ้น แม่พิมพ์ตัวผู้กดลึกลงไปเนื้อวัสดุจนทำให้เกิดการตัดเฉือนชิ้นงานระหว่างแม่พิมพ์ ตัวผู้กับแม่พิมพ์ตัวเมียจนเกิดเป็นรอยขอบตัดขึ้น ขอบตัดของชิ้นงานที่ได้ในช่วงนี้มีผิวเรียบ

ตรง **ขั้นตอนที่ 3** การแตกขาดของวัสดุ (Fracture) เมื่อแรงกดแม่พิมพ์ตัวผู้เพิ่มมากขึ้นจนสูงกว่าค่าความเค้นสูงสุด หรือค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดของวัสดุ จะเกิดการแตกของวัสดุทั้งด้านบนและด้านล่าง แต่แรงในการกดแม่พิมพ์ตัวผู้จะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งเป็นเวลาเดียวกับรอยแตกมาบรรจบกันจนทำให้เกิดการแตกขาดของเนื้อชิ้นงานหลุดลง ในขั้นตอนนี้มีการเกิดเสียงดังแรงมากเรียกว่า เบรกทรู (Break Through)



รูปที่ 2.11 ความเค้น-ความเครียดที่เกิดขึ้นในการตัดโลหะแผ่น

ที่มา : (ธรรมณชาติ วันแดง, 2560)

2.3.2 ความแข็งแรงเฉือน

ความแข็งแรงเฉือนคือ ค่าที่ต้านทานแรงเฉือนของวัสดุเป็นค่าที่บ่งบอกว่าต้องใช้แรงปริมาณมากเท่าใดเพื่อให้เกิดการแตกขาดของวัสดุได้ กระบวนการตัดโลหะแผ่นจะใช้หลักการตัดเฉือนโลหะซึ่งโลหะแต่ละชนิดจะมีค่าความแข็งแรงเฉือนที่ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยค่าความแข็งแรงเฉือนจะเป็นค่าที่ตัดหรือทำลายวัสดุได้มากที่สุด หากวัสดุมีค่าความแข็งแรงดึงที่ทำลายวัสดุได้ที่ 1 เท้า ค่าแข็งแรงเฉือนจะสามารถทำลายวัสดุได้เพียง 0.5 เท้า

ตารางที่ 2.1 ความแข็งแรงเฉือนของวัสดุชนิดต่างๆ

วัสดุ	ความแข็งแรงเฉือน	
	นิวตันต่อตารางเมตร (N/m ² หรือ Pa)	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi หรือ lbf/in ²)
ตะกั่ว	24,100	3,500
ดีบุก	34,500	5,000
อะลูมิเนียม	55,200	8,000
สังกะสี	96,500	14,000
ทองแดง	151,700	22,000
ทองเหลือง	227,500	33,000
เหล็กกล้า 0.1%C (ผ่านการอบอ่อน)	241,300	35,000
เหล็กกล้า 0.1%C (รีดเย็น)	296,500	43,000
เหล็กกล้า 0.2%C (ผ่านการอบอ่อน)	303,400	44,000
เหล็กกล้า 0.2%C (รีดเย็น)	379,200	55,000
เหล็กกล้า 0.3%C (ผ่านการอบอ่อน)	358,500	52,000
เหล็กกล้า 0.3%C (รีดเย็น)	462,000	67,000
เหล็กกล้าไร้สนิม	393,000	57,000
เหล็กกล้าผสมซิลิคอน	462,000	67,000

ที่มา : (Vukota Boljanovic, 2013, p. 182)

2.3.3 ระยะกินลึก

ระยะกินลึก (Penetration) คือระยะที่แม่พิมพ์ตัวผู้กดตัดลงบนชิ้นงานจนเกิดการครากและแตกขาดออกจากกัน โดยสามารถสังเกตได้ในบริเวณขอบชิ้นงานที่ผ่านการตัดจะมีรอยแบ่งเป็นชั้นๆ ซึ่งประกอบด้วยชั้นของการโค้งมน รอยเรียบระยะกินลึก และรอยแตกของวัสดุ ระยะกินลึกของวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าที่แตกต่างกัน เช่น วัสดุที่แข็งมากจะมีการแตกของวัสดุที่เร็ว ซึ่งจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ระยะกินลึกที่ต่ำ ส่วนวัสดุที่อ่อนนุ่มนั้นต้องมีระยะที่กดลึกลงไปจนชิ้นงานขาดมาก ค่าเปอร์เซ็นต์ระยะกินลึกจึงมีค่าที่สูงขึ้นตาม ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปอร์เซนต์ระยะกินลึกของวัสดุชนิดต่างๆ

วัสดุ	เปอร์เซนต์ระยะกินลึก (%)
ตะกั่ว	50%
ดีบุก	40%
อะลูมิเนียม	60%
สังกะสี	50%
ทองแดง	55%
ทองเหลือง	50%
เหล็กกล้า 0.1%C (ผ่านการอบอ่อน)	50%
เหล็กกล้า 0.1%C (รีดเย็น)	38%
เหล็กกล้า 0.2%C (ผ่านการอบอ่อน)	40%
เหล็กกล้า 0.2%C (รีดเย็น)	28%
เหล็กกล้า 0.3%C (ผ่านการอบอ่อน)	33%
เหล็กกล้า 0.3%C (รีดเย็น)	22%
นิกเกิล	55%
บรอนซ์	25%
เหล็กกล้าผสมซิลิคอน	30%

ที่มา : (วารุณี เปรมานนท์ และพงศ์พันธ์ แก้วตาพิพย์, 2553)

2.3.4 ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์

ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ (Clearance) คือระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ตัวผู้กับแม่พิมพ์ตัวเมีย ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งจะมีค่าที่น้อยมาก แต่ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์นี้จะส่งผลต่อชีวิตตดของชิ้นงาน แรงในการตัดและการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัวผู้กับแม่พิมพ์ตัวเมีย โดยจะทำการเปรียบเทียบคมตดแม่พิมพ์ตัวผู้กับแม่พิมพ์ตัวเมียบกับคมตดกรรไกรตัดกระดาษ เพื่อให้เกิดความเข้าใจได้ง่ายขึ้น โดยถ้าหากคมตดของกรรไกรมีระยะห่างมากหรือหลวมมาก เมื่อนำไปตดกระดาษจะขาดไม่สวยงามเนื่องจากมีรอยการดึงกระดาษเข้าไปเป็นรอยฉีกกรรไกรซึ่งมีระยะห่างที่มากแบบนี้เหมือนระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่มากเกินไป ส่วนในกรณี

ที่กรรไกรทำการขันตัวยึดจนแน่นมาก เมื่อตัดกระดาษจะขาดได้ แต่จะเกิดการสึกหรอของกรรไกรมาก แต่หากกรรไกรมีระยะห่างของคมตัดที่พอดี จะทำให้ตัดกระดาษได้สวยงามและเกิดการสึกหรอของกรรไกรที่น้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์สามารถหาได้จากสมการที่ (2.1) (Vukota Boljanovic, 2013, p. 3) ในการกำหนดค่าห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสมสำหรับแม่พิมพ์ตัวผู้กับแม่พิมพ์ตัวเมียที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อนและใช้วัสดุทั่วไป เราสามารถกำหนดค่าระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ได้ดังนี้ สำหรับวัสดุแข็ง ค่าระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสมประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ถ้าวัสดุหนาเพิ่มเป็น 9 เปอร์เซ็นต์ และถ้าวัสดุหนามากควรเพิ่มเป็น 18 เปอร์เซ็นต์ สำหรับวัสดุที่มีความแข็งสูงค่าระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ที่เหมาะสมประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

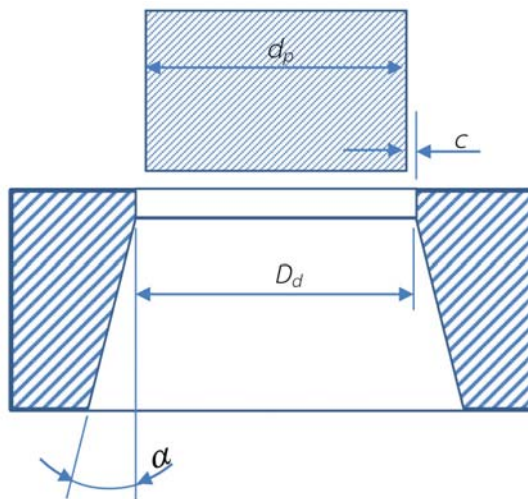
$$C = \frac{D_d - d_p}{2} \quad \dots(2.1)$$

เมื่อ

C คือระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์

D_d คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแม่พิมพ์ตัวเมีย

d_p คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแม่พิมพ์ตัวผู้



รูปที่ 2.12 ระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ตัวผู้กับแม่พิมพ์ตัวเมีย



รูปที่ 2.13 การเปรียบเทียบคมตัดแม่พิมพ์ตัวผู้กับแม่พิมพ์ตัวเมียกับคมตัดกรรไกรตัดกระดาษ

2.3.5 แรงดีดตัวกลับ

แรงดีดตัวกลับ (Spring Back) คือแรงดีดตัวที่เกิดขึ้นเมื่อตัดโลหะแผ่น ซึ่งเกิดจากพฤติกรรมในช่วงยืดหยุ่นของวัสดุจึงเกิดการดีดตัวกลับเสมอ แรงดีดตัวกลับจะทำให้ชิ้นงานไม่ได้รูปร่างตามต้องการและในงานเจาะรูแผ่นสไตรปอาจติดกับแม่พิมพ์ตัวผู้ได้ การแก้ไขควรเพิ่มแผ่นกดที่ชิ้นงาน เมื่อเกิดการแตกขาดแล้วจะช่วยปลดชิ้นงานให้ร่วงลงไปได้

2.3.6 การวางแผนบนแผ่นวัสดุงาน

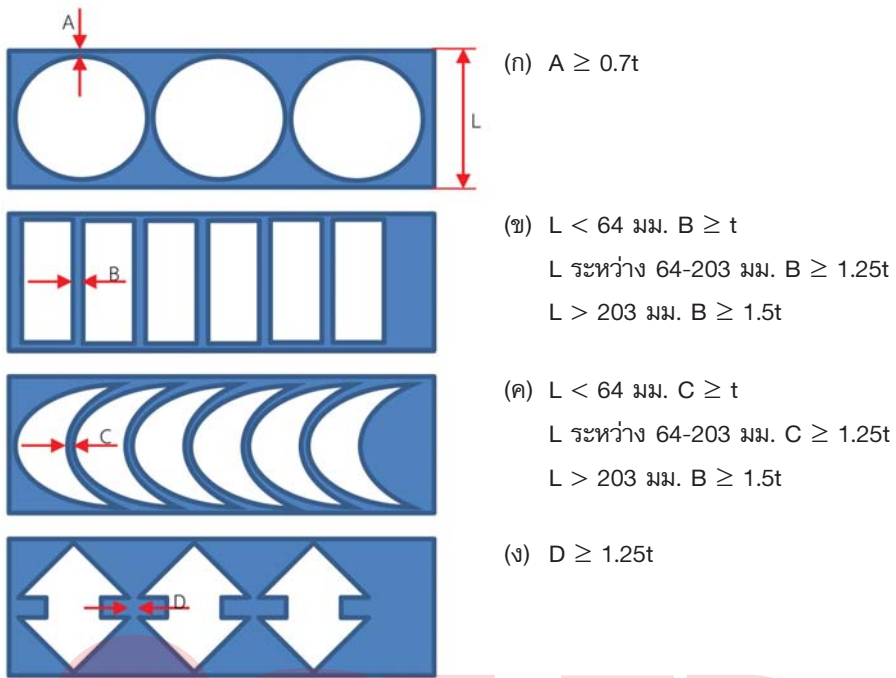
ในการออกแบบแม่พิมพ์โลหะต้องทำการวางแผนรูปแบบของชิ้นส่วนบนแผ่นวัสดุงาน (Scrap Strip) ก่อนเพื่อไม่ให้เกิดการบิดเบี้ยวของชิ้นงานเนื่องจากมีระยะขอบน้อยเกินไปหรือระยะขอบมีเหลือมากจนเกินไปก็ส่งผลด้านต้นทุนวัสดุที่สูงได้ ดังนั้นระยะขอบของวัสดุโดยเฉพาะบริเวณขอบรู รูที่ตัดใกล้กัน หรือรอยตัดที่ใกล้ขอบชิ้นงานจะทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของวัสดุในขณะตัดได้ ในการกำหนดประเภทของรูปร่างชิ้นงานที่ใช้ในการกำหนดระยะขอบที่น้อยที่สุดขณะทำการตัด ดังแสดงในรูปที่ 2.14 โดยแบ่งออกตามรูปร่างชิ้นงานได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

แบบที่ 1 กรณีที่รูปร่างชิ้นงานเป็นโค้งวงกลมหรือเป็นการเจาะรู ดังแสดงในรูปที่ 2.14 (ก)

แบบที่ 2 กรณีที่รูปร่างชิ้นงานเป็นเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.14 (ข)

แบบที่ 3 กรณีที่รูปร่างชิ้นงานเป็นเส้นโค้งที่ขนานกันต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.14 (ค)

แบบที่ 4 กรณีที่รูปร่างชิ้นงานเป็นขอบชิ้นงานเป็นมุมแหลมอยู่ใกล้กัน ดังแสดงในรูปที่ 2.14 (ง)



รูปที่ 2.14 ประเภทของรูปร่างชิ้นงานที่ใช้ในการกำหนดระยะขอบที่น้อยที่สุด

2.4 การคำนวณแรงสำหรับแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะ

สูตรคำนวณแรงในงานตัดแม่พิมพ์จะแบ่งตามรูปร่างของแม่พิมพ์ตัวผู้และแม่พิมพ์ตัวเมียเป็นหลัก จึงมีสูตรการคำนวณแรงตัดสำหรับแม่พิมพ์รูปร่างแบบเรียบกับแม่พิมพ์งานตัดรูปร่างแบบเอียงเป็นรูปทรงต่างๆ และการคำนวณแรงติดตัวกลับ

2.4.1 แรงตัดสำหรับแม่พิมพ์รูปร่างแบบเรียบ

สูตรการคำนวณแรงตัดสำหรับแม่พิมพ์รูปร่างแบบเรียบจะใช้ระยะขอบของคมตัดแม่พิมพ์ตัวผู้และความหนาของชิ้นงานโลหะแผ่นมาคำนวณ ซึ่งในหัวข้อนี้จะนำเสนอทั้งการคำนวณแรงในระบบอังกฤษและระบบเมตริกควบคู่กัน โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (2.2) (Vukota Boljanovic, 2013, p. 6)

$$F = Lt\tau = 0.7 Lt (\sigma_U) \quad \dots(2.2)$$

เมื่อ

F คือแรงตัด (ปอนด์ หรือ lb)

L คือเส้นรอบรูปร่าง (นิ้ว)

t คือความหนาแผ่นโลหะ (นิ้ว)

τ คือความเค้นเฉือนวัสดุ (ปอนด์/ตารางนิ้ว หรือ lb/in²)

σ_U คือความแข็งแรงดึงสูงสุดของวัสดุ (ปอนด์/ตารางนิ้ว)

สำหรับคมตัดทรงสี่เหลี่ยมสามารถหาแรงตัดได้จากสมการที่ (2.3)

$$F = 0.7(\sigma_U) \cdot 2(a+b)t \quad \dots(2.3)$$

และคมตัดทรงกลมสามารถหาแรงตัดได้จากสมการที่ 2.4

$$F = 0.7(\sigma_U)\pi Dt \quad \dots(2.4)$$

เมื่อ

a คือความยาว (นิ้ว)

b คือความกว้าง (นิ้ว)

D คือเส้นผ่านศูนย์กลางรู (นิ้ว)

สำหรับการคำนวณหาแรงตัดสูงสุดหน่วยเป็นมิลลิเมตรสามารถหาได้จากสมการที่ (2.5) (ชานนท์ สุขตาอยู่ และคณะ, 2547)

$$F = Lt\tau \quad \dots(2.5)$$

เมื่อ

F คือแรงตัด (ตัน)

τ คือความแข็งแรงเฉือนของวัสดุ (กิโลกรัม/มิลลิเมตร² หรือ kg/mm²)

L คือความยาวเส้นรอบรูป (มิลลิเมตร)

t คือความหนาของวัสดุ (มิลลิเมตร)

หรือสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.6) (ชาญชัย ทรัพย์ากรและคณะ, 2557, น. 15)

$$F = \tau A (1/1,000) \quad \dots (2.6)$$

เมื่อ

τ คือความแข็งแรงเฉือนของวัสดุ (กิโลกรัม/มิลลิเมตร²)

A คือพื้นที่ตัด (ตารางมิลลิเมตร) หาได้จาก $L \times t$

2.4.2 แรงตัดสำหรับแม่พิมพ์รูปร่างแบบเอียง

ในการออกแบบแม่พิมพ์ให้มีรูปร่างเอียง ไม่ว่าจะเป็นแม่พิมพ์ตัวผู้เอียงหรือให้แม่พิมพ์ตัวเมียเอียงก็ตาม จะสามารถลดแรงตัดลงได้ ถ้ามุมเอียงยิ่งมากแรงที่ใช้ยิ่งน้อยลง ดังนั้น ถ้าหากว่าแรงที่ใช้ตัดมีมากกว่าขนาดของเครื่องปั๊มโลหะมุมนี้จะทำให้ขนาดของเครื่องปั๊มโลหะที่มีอยู่ใช้ตัดโลหะได้ แต่ในกระบวนการสร้างก็ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายและเวลาในการสร้างแม่พิมพ์ให้มีรูปร่างเอียงเช่นกัน มุมเอียงของแม่พิมพ์ที่เหมาะสม 5 องศา สำหรับความหนาของวัสดุที่น้อยกว่า 0.125 นิ้ว (3.2 มิลลิเมตร) และ 8 องศา สำหรับความหนาของวัสดุที่มากกว่า 0.125 นิ้ว ในการคำนวณต้องทราบค่าสัดส่วนระหว่างความหนาของวัสดุกับความสูงของการเอียงแม่พิมพ์ รูปที่ 2.15 โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.7) (Vukota Boljanovic, 2013, p. 7)

$$F = 0.7 \text{ kpt } (\sigma_u) \quad \dots(2.7)$$

เมื่อ

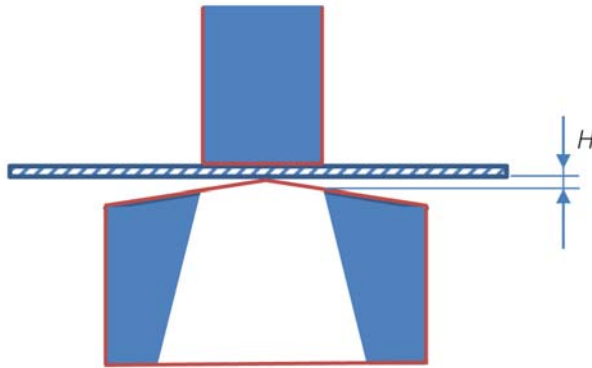
F คือแรงตัด (ปอนด์ หรือ lb)

k คือค่าสัดส่วนระหว่างความหนาของวัสดุกับความสูงของการเอียงแม่พิมพ์

0.4 – 0.6 สำหรับ $t \leq H < 2t$, 0.2 – 0.4 สำหรับ $H = 2t$

p คือเส้นรอบรูปร่าง (นิ้ว)

H คือความสูงของการเอียงแม่พิมพ์ตัวผู้หรือแม่พิมพ์ตัวเมีย (นิ้ว)



รูปที่ 2.15 ความสูงของการเอียงแม่พิมพ์ตัวเมีย

หรือสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.8) (จุลศิริ ศรีงามพ่อง, 2541)

$$F = KF \quad \dots(2.8)$$

เมื่อ

F คือแรงที่ใช้ในการตัดแผ่นคมตัด (ตัน)

K คือค่าคงที่เป็นอัตราส่วนระหว่างระยะกินลึกกับระยะตัดแผ่นคมตัด คำนวณได้จากสมการที่ (2.9)

โดย

$$K = tP/s \quad \dots(2.9)$$

เมื่อ

P คือเปอร์เซ็นต์ระยะกินลึก

s คือระยะตัดแผ่นคมตัดบนแม่พิมพ์ตัวผู้หรือแม่พิมพ์ตัวเมีย (นิ้ว)

2.4.3 แรงปลดแผ่นชิ้นงานให้หลุดออก

เมื่อแม่พิมพ์ตัดชิ้นงานโลหะแผ่นออกไปแล้วรูตัดจะติดแม่พิมพ์ตัวผู้ขึ้นไป เนื่องจากการยืดหยุ่นตัวและการติดตัวกลับของโลหะแผ่น จึงจำเป็นต้องมีแผ่นปลดชิ้นงานเพื่อทำหน้าที่ดันกลับชิ้นงานให้หลุดออก การคำนวณหาแรงปลดแผ่นชิ้นงานให้หลุดออก (Stripping Force) มีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปออกแบบกำหนดค่าความแข็งแรงของชุดสปริงให้เหมาะสมกับการใช้งาน แรงปลดแผ่นชิ้นงานให้หลุดออกนี้สามารถออกแบบได้

ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของแรงตัด ตัวแปรที่ทำให้แรงปลดแผ่นขึ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงมีดังนี้ ความหนาของแผ่นขึ้นงาน โลหะแผ่นที่อ่อนหรือผ่านการอบอ่อนมาต้องใช้แรงปลดแผ่นขึ้นงานสูงกว่าปกติ การเชื่อมเย็บของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมในขณะตัดทำให้ใช้แรงปลดแผ่นขึ้นงานสูงขึ้น ช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ที่น้อยต้องใช้แรงปลดแผ่นขึ้นงานที่สูงขึ้น การขาดสารหล่อลื่นส่งผลให้แรงปลดแผ่นขึ้นงานสูงขึ้น การชุบเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งเคลือบผิวแบบไทเทเนียมคาร์โบไนไตรด์บนแม่พิมพ์จะช่วยลดแรงเสียดทานและทำให้แรงปลดแผ่นขึ้นงานลดลงได้ (ปกรณ ชุมชุม และคณะ, 2559) ดังนั้นแรงปลดแผ่นขึ้นงานให้หลุดออกจึงมีตัวแปรตัวอื่นๆ ที่หลากหลาย จึงเป็นข้อควรพิจารณาในการออกแบบ แรงปลดแผ่นขึ้นงานสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.10) (Vukota Boljanovic, 2013, p. 9)

$$F_s = Ak_s \quad \dots(2.10)$$

เมื่อ

F_s คือแรงปลดแผ่นขึ้นงานให้หลุด (ปอนด์)

A คือพื้นที่ตัด (ตารางนิ้ว)

k_s คือค่าคงที่ของแรงในการปลดแผ่นขึ้นงาน (ปอนด์/ตารางนิ้ว) ตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่ของการปลดแผ่นขึ้นงาน

ความหนาของแผ่นขึ้นงาน (นิ้ว)	ค่าคงที่ของการปลดแผ่นขึ้นงาน (ปอนด์/ตารางนิ้ว)
$t < 0.0625$	2,100
$t \geq 0.0625$	3,000
$t < 0.0625$ กรณีที่ย่อยตัดอยู่ใกล้ขอบขึ้นงานมาก	1,500

ที่มา : (Vukota Boljanovic, 2013, p. 9)

หรือสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.11) (จุลศิริ ศรีงามพ่อง, 2541)

$$F_s = 3,500Lt \quad \dots(2.11)$$

เมื่อ

F_s คือแรงปลดแผ่นขึ้นงาน (ปอนด์)

หรือสามารถใช้สมการที่ (2.12) (ชาญชัย ทรัพย์ากร และคณะ, 2557, น. 15)

$$F_s = 2.5Lt \ (1/1,000) \quad \dots(2.12)$$

เมื่อ

F_s คือแรงปลดแผ่นชิ้นงานให้หลุด (ตัน)

L คือความยาวรอยตัด (มิลลิเมตร)

t คือความหนาของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)

2.4.4 แรงสำหรับกำหนดขนาดเครื่องปั๊มโลหะ

เมื่อคำนวณในสมการข้างต้นแล้วในการกำหนดขนาดเครื่องปั๊มสำหรับนำแม่พิมพ์ไปติดตั้งต้องเผื่อแรงให้เพิ่มขึ้น เพราะในความเป็นจริงแล้วจะเกิดแรงเสียดทานระหว่างแม่พิมพ์ตัวผู้และชิ้นงาน และแรงเพิ่มมากขึ้นในกรณีที่รูปร่างของแม่พิมพ์ตัวผู้และแม่พิมพ์ตัวเมียมีรูปทรงไม่สมมาตรหรือความหนาของแผ่นชิ้นงานที่นำมาตัดมีขนาดความหนาไม่เท่ากัน ดังนั้นแรงตัดที่เกิดขึ้นสามารถเพิ่มขึ้นมากกว่าที่ได้คำนวณในสมการได้อีกประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้แรงที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากคมตัดของแม่พิมพ์ตัวผู้และแม่พิมพ์ตัวเมียเกิดการสึกหรอ ไม่คม หรือระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์เพิ่มมากขึ้น ในการกำหนดแรงตัดสูงสุดสำหรับเลือกขนาดเครื่องปั๊ม (F_p) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.13) (Vukota Boljanovic, 2013, p. 6)

$$F_p = 1.3 F \quad \dots(2.13)$$

ตัวอย่างที่ 2.1 จงคำนวณแรงในงานตัดของแม่พิมพ์ปั๊มโลหะรูปร่างแบบเรียบและจงคำนวณแรงปลดแผ่นชิ้นงาน เมื่อใช้แผ่นวัสดุอะลูมิเนียมรอยตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 10×10 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ความเค้นเฉือนวัสดุ 11 กิโลกรัม/มิลลิเมตร² มีเปอร์เซ็นต์ระยะกินลึกเท่ากับ 60

วิธีทำ

การคำนวณหาแรงในงานตัด

$$F = \tau (Lt) = (11)(40)(2)$$

$$F = 880 \text{ กิโลกรัม}$$

หรือ

$$F = \tau A (1/1,000) = (11)(100)(0.001)$$

$$F = 0.88 \text{ ตัน}$$

หรือ

$$F = Lt\tau = (1.575)(0.079)(15,641.352)$$

$$F = 1,939.532 \text{ ปอนด์} = (1,939.532/2.204) = 880 \text{ กิโลกรัม}$$

การคำนวณหาแรงปลดแผ่นขึ้นงาน

$$F_s = 2.5Lt (1/1,000) = 2.5 (10 + 10 + 10 + 10)(2)(0.001)$$

$$F_s = 0.2 \text{ ตัน}$$

หรือ

$$F_s = k_s A = 3,000 (0.155)$$

$$F_s = 465 \text{ ปอนด์} = 0.211 \text{ ตัน}$$

หรือ

$$F_s = 3,500Lt = 3,500 (0.394 + 0.394 + 0.394 + 0.394)(0.079)$$

$$F_s = 434 \text{ ปอนด์} = 0.197 \text{ ตัน}$$

ตัวอย่างที่ 2.2 จงคำนวณแรงในงานตัดโลหะแผ่นเกรด 0.10C รีดเย็น วงกลมขนาด 1 นิ้ว ความหนาโลหะแผ่น 0.062 นิ้ว ความแข็งแรงดึงสูงสุดของวัสดุ 55,900 ปอนด์/ตารางนิ้ว และแรงสำหรับกำหนดขนาดเครื่องปั๊มโลหะ

วิธีทำ

การคำนวณหาแรงในงานตัด

$$F = 0.7(\sigma_u)\pi Dt = (0.7)(55,900)(3.14)(1)(0.062)$$

$$F = 7,618 \text{ ปอนด์}$$

การคำนวณหาแรงสำหรับกำหนดขนาดเครื่องปั๊มโลหะ

$$F_p = 1.3F = (1.3)(7,618) = 9,903 \text{ ปอนด์}$$

$$F_p = 9,903/2,204$$

$$F_p = 4.50 \text{ ตัน}$$

ตัวอย่างที่ 2.3 จงคำนวณหาแรงในงานตัดของแม่พิมพ์ปั๊มตัดโลหะรูปร่างเอียงใช้ตัดโลหะแผ่นวงกลมขนาด 1 นิ้ว เมื่อใช้แผ่นวัสดุโลหะเกรด 0.10C รีดเย็น ความหนาโลหะแผ่น 0.062 นิ้ว ความแข็งแรงดึงสูงสุดของวัสดุ 55,900 ปอนด์/ตารางนิ้ว มีค่าสัดส่วนระหว่างความหนาของวัสดุกับความสูงของการเอียงแม่พิมพ์เท่ากับ 0.5 และจงคำนวณหาขนาดแรงปลดแผ่นชิ้นงาน พร้อมคำนวณหาแรงสำหรับกำหนดขนาดเครื่องปั๊มโลหะ

วิธีทำ

การคำนวณหาแรงในงานตัด

$$F = 0.7 \text{ kpt } (\sigma_U) = (0.7)(0.5)(1)(3.14)(0.062)(55,900)$$

$$F = 3,809 \text{ ปอนด์} = 1.728 \text{ ตัน}$$

การคำนวณหาแรงปลดแผ่นชิ้นงาน

$$F_s = k_s A = \text{kpt} = (2,100)(3.14)(0.062)$$

$$F_s = 409 \text{ ปอนด์} = 0.186 \text{ ตัน}$$

การคำนวณหาแรงสำหรับกำหนดขนาดเครื่องปั๊มโลหะ

$$F_p = 1.3F = (1.3)(3,809) = 4,952 \text{ ปอนด์}$$

$$F_p = 4,952/2,204$$

$$F_p = 2.25 \text{ ตัน}$$

หนังสือ เทคโนโลยีแม่พิมพ์บีดัดโลหะ (Stamping and Punching Dies Technology) เล่มนี้ เป็นหนังสือประกอบการเรียนการสอนในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต และหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต รายวิชาเทคโนโลยีแม่พิมพ์บีดัดโลหะ ซึ่งเนื้อหาครอบคลุมตามคำอธิบายรายวิชาในหลักสูตร อีกทั้งสามารถนำไปเรียนเสริมในหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) และหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ประเภทวิชาอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานสร้างแม่พิมพ์ หนังสือเล่มนี้มีเนื้อหารวม 5 บท ประกอบด้วยพื้นฐานแม่พิมพ์โลหะ ประเภทแม่พิมพ์ดัดโลหะ ชิ้นส่วนแม่พิมพ์บีดัดโลหะ การคำนวณและการออกแบบในงานสร้างแม่พิมพ์บีดัดโลหะ รวมทั้งการสร้างแม่พิมพ์และการประกอบชุดแม่พิมพ์บีดัดโลหะ ผู้เรียนจะได้รับความรู้ความเข้าใจ และมีทักษะด้านการสร้างแม่พิมพ์บีดัดโลหะ ตลอดจนการประยุกต์ใช้ความรู้เพื่อการใช้งานจริงได้

ประวัติผู้เขียน

พ.ศ. ธรรมณ์ชาติ วันแต่บ



การศึกษา

- จบการศึกษา วศ.ม. (เทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การทำงาน

- ปัจจุบัน
 - ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
 - คณะกรรมการวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) สาขาภาคเหนือ 2

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- ผู้จัดการหน่วยบ่มเพาะวิสาหกิจ (UBI) มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- บรรณาธิการวารสาร “ราชภัฏเพชรบูรณ์สาร”
- ผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม (กว.) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ระดับภาคีวิศวกร สภาวิศวกร

• เคยดำรงตำแหน่ง

- ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายภูมิทัศน์ (2559-2560)
- ประธานหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (2555-2560)

ผลงานด้านวิชาการและงานวิจัย

- ผลงานการเขียนตำรา ได้แก่ ความแข็งแรงของวัสดุ และ กลศาสตร์ของวัสดุ
- ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหนังสือเล่มนี้ ได้แก่
 - การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ปั๊มโลหะเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าของที่ระลึกพวงกุญแจโลหะรูปฝักมะขาม สินค้า OTOP กลุ่มสตรีก้าวหน้า จังหวัดเพชรบูรณ์
 - การพัฒนาแม่พิมพ์ขึ้นรูปสำหรับผลิตสินค้าของที่ระลึกจังหวัดเพชรบูรณ์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
 - การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการทำงานเป็นกลุ่มในการสร้างแม่พิมพ์โลหะให้สำเร็จ
 - การศึกษาอิทธิพลของฟิล์มแข็งเคลือบผิวแม่พิมพ์ในกรรมวิธีการดึงลวดเหล็กกล้าไร้สนิม
 - การเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ OTOP ด้วยวิศวกรรมกระบวนการเคลือบผิว
 - การวิจัยและพัฒนาวัสดุในงานประดับยนต์สำหรับทำแผ่นเกราะกันกระสุนป้องกันภัยคุกคาม ระดับ 2-3A (อนุสิทธิบัตร เลขที่ 9250, ใบรับรอง ที่ กท.๐๒๐๖.๑๒/๑๔๖ เลือเกราะกันกระสุนอินทิล ป้องกันภัยคุกคาม ระดับ 2A ตามมาตรฐานยุโรปกรณีย์ เทียบเท่าตามมาตรฐาน U.S. NIJ. 0101.04 จากโรงงานวัตถุระเบิดทหาร กรมการอุตสาหกรรมทหาร ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร กระทรวงกลาโหม)
 - การเพิ่มประสิทธิภาพความแข็งแรงของแผ่นเหล็กในเลื่อยเกราะกันกระสุนโดยการเคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiC และ TiCN
 - การวิจัยและพัฒนาเลื่อยเกราะกันกระสุนอินทิลเพื่อการใช้งานสำหรับเจ้าหน้าที่รัฐชั้นประทวน ในจังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นต้น



www.se-ed.com



sbc.fans

ISBN 978-616-08-3293-4



9 786160 832934
160 บาท

คู่มือเรียน - สอบ/อุดมศึกษา -
แม่พิมพ์ (งานโลหะ)