

เทคโนโลยีการฉีดขึ้นงานพลาสติกขนาดเล็ก

MICRO PLASTIC PART WITH PLASTICS INJECTION MOLDING TECHNOLOGY

วัชระ ลายลักษณ์

อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล
วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail : vatcharal@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้สนใจได้ทราบถึงความสำคัญของเทคโนโลยีการฉีดขึ้นงานพลาสติกขนาดเล็ก บทบาทที่สำคัญของเทคโนโลยีที่มีต่อภาคอุตสาหกรรมต่างๆ สามารถเข้าใจกระบวนการฉีดขึ้นงานพลาสติกขนาดเล็ก รวมไปถึงระบบการควบคุมคุณภาพชิ้นงานขนาดเล็ก เทคโนโลยีการฉีดขึ้นงานพลาสติกขนาดเล็ก ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีให้ก้าวหน้าทั้งในด้านเครื่องฉีด แม่พิมพ์และอุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพเป็นเวลานานหลายปีแล้ว การฉีดขึ้นงานพลาสติกขนาดเล็ก เป็นงานที่ต้องการความชำนาญพิเศษเพราะงานมีความละเอียด และต้องใช้เครื่องฉีดและแม่พิมพ์ที่มีความแม่นยำสูง ซึ่งแตกต่างจากการฉีดขึ้นงานพลาสติกแบบทั่วไป การพัฒนาเทคโนโลยีการฉีดขึ้นงานพลาสติกให้มีขนาดเล็กลงยังคงดำเนินการอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการของภาคอุตสาหกรรม และมีความเป็นไปได้ที่จะฉีดขึ้นงานพลาสติกที่มีขนาดนาโนในอนาคต

คำสำคัญ : ชิ้นงานพลาสติกขนาดเล็ก แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขนาดเล็ก เครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็ก เครื่องจักรขึ้นรูปชิ้นงานขนาดเล็ก

ABSTRACT

The objectives of this article are to impart information about the importance of micro plastic injection molding technology and the important roles of micro plastic injection molding technology in various sectors of industry, and to enable interested people to understand the process of micro plastic parts injection molding and the micro plastic parts quality control system. The micro plastic parts injection molding technology has been developed for several years and advancement in the technology including the injection machine, the mold, and the quality inspection equipment has been achieved. Micro plastic parts injection molding work requires special skills because the parts are delicate and small, and the operator has to use the very high precision injection and molding machine which is different from the conventional injection machine. The development of micro plastic injection molding technology has been in continuous progress to meet the needs of the industrial sector and it is possible that in the future the injection molding of Nano plastic parts can be made.

KEYWORDS : Micro Plastic Part, Micro Plastic Injection Molding, Micro Plastic Injection Molding Machine, Micro Machining

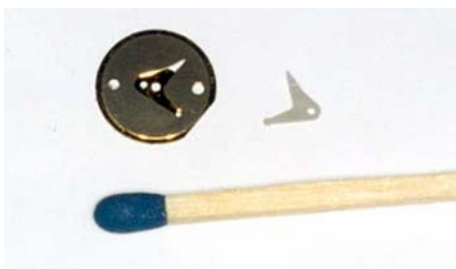
1. บทนำ

ชิ้นงานพลาสติกขนาดเล็ก (Micro Plastic Part) คือ ชิ้นงานที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 1 กรัม (วัลลภ ลีวิวัฒน์พรชัย, 2549) ส่วนแม่พิมพ์ขนาดเล็ก (Micro Mold) คือ แม่พิมพ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก ซึ่งในปัจจุบันชิ้นงานพลาสติกขนาดเล็ก มีบทบาทสำคัญต่อภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมยานยนต์ อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ เฟอร์นิเจอร์ การแพทย์ และอื่นๆ เช่น เฟืองชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือ เเลนส์กล้อง อุปกรณ์ทางการแพทย์ หัวฉีดเครื่องพิมพ์ เป็นต้น ทำให้มีความต้องการชิ้นส่วนพลาสติกขนาดเล็ก มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้อุตสาหกรรมแม่พิมพ์ขนาดเล็ก ทั่วโลกเติบโตอย่างต่อเนื่อง เทคโนโลยีการผลิตชิ้นงานพลาสติกขนาดเล็ก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาการผลิตชิ้นงานพลาสติกแบบธรรมดาไปสู่การผลิตชิ้นงานที่มีขนาดเล็กลงและมีความแม่นยำสูง การผลิตชิ้นงานพลาสติกขนาดเล็ก ทำให้มูลค่าของผลิตภัณฑ์สูงกว่าการผลิตชิ้นส่วนแบบธรรมดา จึงเกิดความต้องการชิ้นส่วนพลาสติกขนาดเล็ก และได้เติบโตขยายไปสู่ภาคอุตสาหกรรมต่างๆ

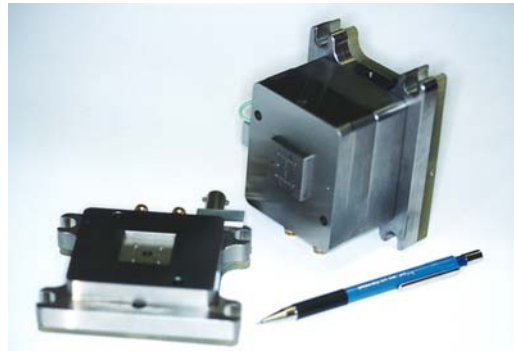
2. เทคโนโลยีการผลิตชิ้นงานพลาสติกขนาดเล็ก

(Micro Plastic Part Injection Molding Technology)

เทคโนโลยีการผลิตชิ้นงานพลาสติกขนาดเล็ก หรือ การผลิตชิ้นงานพลาสติกที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 1 กรัม ซึ่งในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกขนาดเล็กนั้น มีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ประการ คือ 1. แม่พิมพ์ที่มีโครงสร้างขนาดเล็ก 2. เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปที่เหมาะสมกับแม่พิมพ์ขนาดเล็ก



รูปที่ 1 ชิ้นงานพลาสติกขนาดเล็ก เทียบกับก้านไม้ขีดไฟ (Vishu, 2005)



รูปที่ 2 ชุดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกชิ้นงานขนาดเล็ก เทียบกับปากกา (Vishu, 2005)

กระบวนการขึ้นรูปพลาสติกด้วยแม่พิมพ์ขนาดเล็กนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ คือ กระบวนการฉีด กระบวนการฉีดร่วมเพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยา การบีบขึ้นรูปด้วยความร้อน กระบวนการฉีดประกอบกับการอัดตัว และการขึ้นรูปแผ่นพลาสติกด้วยความร้อน อย่างไรก็ตาม กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกขนาดเล็ก ส่วนใหญ่จะใช้กระบวนการฉีด กระบวนการฉีดกลไกของการฉีดในแม่พิมพ์ขนาดเล็กนั้นจะต่างไปจากกระบวนการฉีดพลาสติกทั่วไป คือ มีการเพิ่มชุดลูกสูบซึ่งมีขนาดเล็กเพื่อใช้ในการอัดพลาสติกเข้าไปในแม่พิมพ์ นอกเหนือจากการใช้ชุดสกรูลำเลียงที่ใช้หลอมพลาสติก ดังเช่น กระบวนการฉีดในแบบปกติทั่วไปสาเหตุที่ใช้ชุดลูกสูบในการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ คือ ปริมาณพลาสติก และความเร็วในการฉีด สามารถควบคุมได้อย่างแม่นยำมากกว่าแบบสกรู ส่วนขนาดของชุดสกรูที่ใช้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 20 มิลลิเมตร (คุณากร เทียนแก้ว, อนุรักษ์ โปธิศรี, ไพฑูรย์ เสือคู่ย์, ศุภโชค มุกด์ทรัพย์, อำนาจ ไตพิพัฒน์มงคล, 2556) เนื่องจากปริมาณพลาสติกที่ใช้น้อยกว่ากระบวนการฉีดปกติ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีขนาดประมาณ 12 มิลลิเมตร (คุณากร เทียนแก้ว, อนุรักษ์ โปธิศรี, ไพฑูรย์ เสือคู่ย์, ศุภโชค มุกด์ทรัพย์, อำนาจ ไตพิพัฒน์มงคล, 2556) เพื่อให้สอดคล้องกับชนิดของพลาสติก

ความแตกต่างเทคโนโลยีการผลิตชิ้นงานขนาดเล็กกับเทคโนโลยี การผลิตชิ้นงานแบบธรรมดา มีอยู่หลายประการ คือ

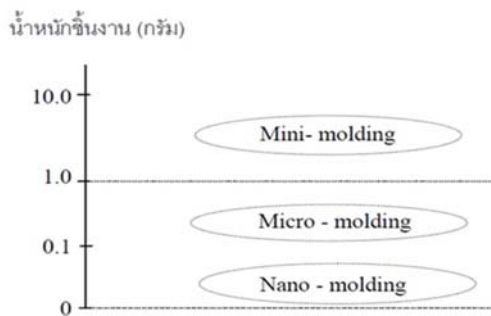
1. เครื่องฉีดพลาสติก มีความแม่นยำสูงและทันสมัยเป็นระบบการทำงานแบบอัตโนมัติ มีอุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานและเครื่องบรรจุภัณฑ์ในตัวเอง ดังนั้นสามารถ

ผลิตชิ้นงาน ได้รวดเร็วขึ้น

- แม่พิมพ์มีขนาดเล็กกว่า
- ใช้พลังงานน้อยกว่าอันเนื่องมาจากขนาดเครื่องฉีดเล็กกว่าเครื่องฉีดโดยทั่วไป
- ใช้วัตถุดิบน้อยกว่าเพราะขนาดชิ้นงานเล็กและน้ำหนักเบากว่า
- คุณภาพของชิ้นงานมีความละเอียดเที่ยงตรงและมีคุณภาพสูง

2.1 นิยามแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขนาดไมโคร (Micro Molding)

ชิ้นงานพลาสติกขนาดไมโคร (Micro Part) คือ ชิ้นงานที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 1 กรัม



รูปที่ 3 ขอบเขตน้ำหนักชิ้นงาน Mini, Micro และ Nano Molding (วัลลภ ลีวิวัฒนาพรชัย, 2549)

จากรูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักชิ้นงานในขนาดแตกต่างกัน ชิ้นงาน Mini Part มีน้ำหนัก มากกว่า 1 กรัม ส่วน Micro Part น้อยกว่า 1 กรัม และ Nano Part มีน้ำหนักน้อยกว่า 0.1 กรัม การฉีดชิ้นงาน สามารถผลิตชิ้นงานได้หลายแบบ ได้แก่

- ชิ้นงานแบบมีหลายสีในชิ้นงานเดียวกัน (Multi Color)
- ชิ้นงานแบบมีวัสดุแตกต่างกันอยู่ในชิ้นงานเดียวกัน (Multi Component)
- ชิ้นงานแบบ Insert และ Over molding

เทคโนโลยีการฉีดชิ้นงานพลาสติกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาการฉีดชิ้นงานพลาสติกแบบธรรมดาไปสู่การฉีดชิ้นงานให้มีขนาดเล็กลงและมีความแม่นยำสูง การฉีดชิ้นงานพลาสติกขนาดไมโคร ให้มีมูลค่าสูงกว่าการฉีดชิ้นส่วนแบบธรรมดา ตลาดความต้องการชิ้นงานพลาสติกขนาดไมโคร ได้เติบโตขยายไปสู่ภาคอุตสาหกรรมต่างๆ เพราะชิ้นงานพลาสติกขนาดไมโคร เป็นชิ้นส่วนสำคัญที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิด ได้แก่ สวิตช์และเซ็นเซอร์ขนาดเล็กในยานยนต์ (Automotive Micro Switch, Sensors) หัวพิมพ์ของเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท (Computer Head of an Ink-Jet Printer) โทรศัพท์มือถือ (Mobile Phone) ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กบนแผงวงจร (Electronics Micro Parts on Circuit -Boards) วาล์วและอุปกรณ์ขนาดเล็ก (Micro - Equipment Valve Technology) เซ็นเซอร์ถุงลมนิรภัย เซ็นเซอร์บนหัวอ่านแผ่นดิสก์ (Sensors Airbag Sensors , Sensor Disk) เครื่องกลขนาดเล็ก มอเตอร์ขนาดเล็ก (Micro Mechanics, Micro Motors) เลนส์สายตา (Optics Lenses, Displays) เพ็องนาฬิกาข้อมือ ระบบส่งกำลังขนาดเล็ก (Watches Gear Wheels, Latches, Micro Transmissions) เป็นต้น การพัฒนาเทคโนโลยีการฉีดชิ้นงานพลาสติกให้มีขนาดเล็กยังคงมีการวิจัยอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการของภาคอุตสาหกรรม และมีความเป็นไปได้ที่จะฉีดชิ้นงานพลาสติก ให้มีขนาดเล็กสุดหรือที่เรียกว่า ชิ้นงานขนาดนาโน

การออกแบบและการทำแม่พิมพ์ขนาดไมโคร ต้องการเทคโนโลยี CAD/CAM/CAE (Scott) และ Tooling Machines ที่มีความละเอียดและแม่นยำสูงกว่าการทำแม่พิมพ์สำหรับฉีดชิ้นงานแบบธรรมดา นอกจากเทคโนโลยีดังกล่าวแล้ว ยังต้องใช้อุปกรณ์อื่นๆ เพื่อใช้ตรวจสอบชิ้นส่วนงานขนาดไมโคร เช่น กล้องจุลทรรศน์ เป็นต้น

2.2 เทคโนโลยีเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนขนาดไมโคร (Micro Machining Technology)

การผลิตชิ้นส่วนพลาสติกขนาดไมโครนั้นอาจมีหลักการคล้ายกับการผลิตชิ้นส่วนในขนาดใหญ่ทุกตัวไป หากแต่มีเงื่อนไขและความละเอียดของกระบวนการที่ซับซ้อนและต้องใส่ใจมากกว่า ทั้งในแง่ของวัสดุ กระบวนการ และการผลิตแม่พิมพ์ที่มีความยาก

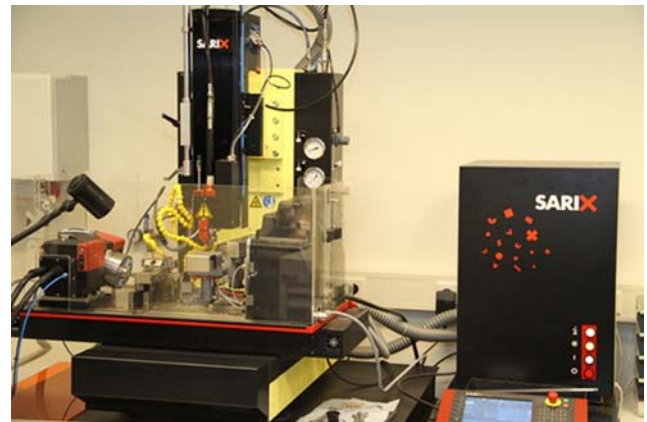
กว่าการผลิตแม่พิมพ์ในขนาดใหญ่ทั่วไป นอกจากนี้เครื่องจักรและกลไกต่างๆ ที่ใช้ยังต้องมีความแม่นยำสูงมาก เพื่อให้สามารถผลิตงานในระดับไมโครออกมาได้ถูกต้องตรงตามความต้องการความจริงแล้วหลักการขึ้นรูปพลาสติกขนาดใหญ่ ไมโคร นั้นก็เหมือนกับกระบวนการขึ้นรูปในสเกลขนาดใหญ่ทั่วไป นั่นคือ การทำให้พลาสติกอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงกว่าช่วงอุณหภูมิหลอมตัวของผลึก (Melting Temperature, T_m) หรืออุณหภูมิที่ทำให้พลาสติกมีความอ่อนตัว พอที่จะสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปทรงได้ จากนั้นทำการฉีดอัดหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปทรงด้วยแม่พิมพ์ รอให้เย็นตัว และนำชิ้นงานที่ได้ออกจากแม่พิมพ์ เพียงแต่ว่าการผลิตชิ้นงานพลาสติกในระดับไมโครนั้นยังต้องมีปัจจัยอื่นๆ ทางวิศวกรรมและวัสดุศาสตร์เข้ามาร่วมพิจารณาด้วย เนื่องจากปริมาณของวัสดุที่ใช้นั้นมีเพียงไม่กี่มิลลิกรัมต่อชิ้น และขนาดชิ้นส่วนต่างๆ อยู่ในระดับไมโคร ซึ่งถือว่ามีความยากในแง่ของการควบคุมอุณหภูมิ และปัจจัยในการขึ้นรูปอื่นๆ ที่มีความซับซ้อนมากกว่ากระบวนการขึ้นรูปพลาสติกแบบปกติทั่วไป นั้นหมายความว่า การลดขนาดของกระบวนการขึ้นรูปพลาสติก ให้เล็กลงจากขนาดปกติที่ใช้กันทั่วไปนั้นไม่เพียงพอที่จะทำให้ชิ้นงานมีคุณภาพสูงได้ การขึ้นรูปชิ้นส่วนพลาสติกขนาดใหญ่ ให้ได้ขนาดและคุณภาพตามที่ต้องการนั้น ต้องคำนึงถึงเทคโนโลยีในด้านต่างๆ นอกเหนือไปจากกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกแบบปกติทั่วไป เช่น โครงสร้างของแม่พิมพ์ คุณสมบัติของพลาสติกและวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ ความแม่นยำของกระบวนการและการวัดขนาดรวมไปถึงหลักการด้านไมโครและนาโนเทคโนโลยี

ในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกขนาดใหญ่ ไมโคร นั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ แม่พิมพ์ที่มีโครงสร้างขนาดเล็ก (Micro Structured Mold Insert) และเครื่องจักรที่ใช้ประกอบในการขึ้นรูป แม้ว่าการผลิตแม่พิมพ์ขนาดเล็กได้มีการพัฒนามาแล้วกว่า 30 ปี และกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ และเครื่องจักรที่ใช้ร่วมกับแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ นี้ก็มียุควางจำหน่ายและใช้งานทั่วไปในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนขนาดใหญ่แล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นส่วนที่เป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Polymers) หากแต่การวิจัยและพัฒนา ยังคงมีอย่างต่อเนื่อง และมีเพิ่มมากขึ้น ในหลายๆ ปีมานี้ เนื่องจากความรู้ที่เรามีเกี่ยวกับกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกในระดับไมโคร ในขณะนี้ยังถือว่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับกระบวนการขึ้นรูป

ในขนาดปกติทั่วไป การขึ้นรูปชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็ก ด้วยเครื่องผลิตชิ้นส่วนพลาสติกขนาดใหญ่ ไมโคร และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการตรวจสอบที่มีความเที่ยงตรงสูง ซึ่งประกอบไปด้วย

2.2.1 3D Micro EDM Milling Machine

เครื่อง 3D Micro EDM Milling เป็นเครื่องขึ้นรูปที่มีการผสมระหว่างเครื่องกัด (Milling) และ เครื่อง EDM เข้าด้วยกัน โดยการใช้ด้วยเส้นลวดในการเดินสปาร์ค ชิ้นงานตามรูปร่างของชิ้นงานเหมือนเครื่องกัด และสามารถทำให้เส้นลวดที่ใช้ในการสปาร์คชิ้นงานมีขนาดเล็กได้กว่า 0.02 มิลลิเมตร โดยการใช้เส้นลวดมาสปาร์คกันเองทำให้สามารถผลิตชิ้นงานที่มีขนาดเล็กๆ ได้อย่างเที่ยงตรง



รูปที่ 4 เครื่อง 3D Micro EDM Milling (คุณากร เทียนแก้ว, ณัฐกรณ์ โพธิศรี, ไพฑูรย์ เสือคู่ย์, ศุภโชค มุกด์ทรัพย์, อานาจ โดพิพัฒน์มงคล, 2556)

2.2.2 Micro Milling

เครื่อง Micro Milling เป็นเครื่องกัดที่มีความเที่ยงตรงสูง มีความเร็วรอบของเพลาขับ (Spindle Speed) 50,000 รอบ/นาที ความละเอียด (Resolution) 0.1 ไมครอน (μm) และความถูกต้องแม่นยำ (Positioning Accuracy) 1 ไมครอน (μm)



รูปที่ 5 เครื่อง Micro Milling (คุณากร เทียนแก้ว, ณัฐกรณ์ โพธิศรี, ไพฑูรย์ เสือคู่ย์, ศุภโชค มุกด์ทรัพย์, อานาจ ไตพิพัฒน์มงคล, 2556)

2.2.3 3D Microscope

เครื่อง 3D Microscope เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้ในการตรวจสอบขนาดชิ้นงานที่มีความเที่ยงตรงสูง มีความแม่นยำของแกน (Axis Accuracy) $0.2+L/100$ สามารถวัดค่าความหยาบผิวแบบ (Non-Contact)



รูปที่ 6 เครื่อง 3D Microscope (Vishu, 2005)

2.2.4 เครื่องฉีดพลาสติกแม่พิมพ์ขนาด

ไมโคร (Micro Plastic Injection Molding Machines)

เครื่องฉีดจะต้องสามารถส่งพลาสติกที่หลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันไปยังเบ้าพิมพ์ (Cavity) เพื่อให้แน่ใจว่ากระบวนการนั้นสามารถที่จะทำทวนซ้ำได้ซึ่งจะต้องสมบูรณ์ในกระบวนการฉีดพลาสติกแบบดั้งเดิมจะใช้วิธีการสกรูอัดรีด เครื่องฉีดขนาดไมโครจะดัดแปลงการฉีดจากเทคโนโลยีนี้

ในทางปฏิบัติ โดยทั่วไปสกรูจะได้รับการออกแบบให้เป็นรูปทรงเรขาคณิตเพื่อให้มีความลึกเพียงพอที่บดอัดเม็ดพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง

ในปัจจุบันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรูเครื่องฉีดไมโคร คือ ช่วง 12-16 มม. (คุณากร เทียนแก้ว, ณัฐกรณ์ โพธิศรี, ไพฑูรย์ เสือคู่ย์, ศุภโชค มุกด์ทรัพย์, อานาจ ไตพิพัฒน์มงคล, 2556) และมีพลาสติกที่หลอมเหลวอยู่ในสกรูประมาณ 6 กรัม (คุณากร เทียนแก้ว, ณัฐกรณ์ โพธิศรี, ไพฑูรย์ เสือคู่ย์, ศุภโชค มุกด์ทรัพย์, อานาจ ไตพิพัฒน์มงคล, 2556) เมื่อพิจารณาถึงการฉีดที่ 10 กรัม การฉีดย้ำที่ถูกต้องและแม่นยำนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่งโดยเฉพาะ เมื่อพิจารณาปริมาตรรวมของผลิตภัณฑ์เป็นเศษของลูกบาศก์มิลลิเมตร อุปกรณ์ของแม่พิมพ์ขนาดไมโคร ต้องมีการควบคุมที่แม่นยำของปริมาณ และการเปลี่ยนแปลงความดันคงที่ของ การละลายในช่วงกระบวนการวัด ดังนั้นมอเตอร์ในระบบการป้อนกลับตำแหน่งจะต้องมีความแม่นยำสูง ขนาดของการฉีดย้ำนั้นต้องมีการควบคุมอย่างเคร่งครัดเพราะว่าผลิตภัณฑ์ของแม่พิมพ์ขนาดเล็กมักจะมีปริมาณของวัสดุหลายชิ้นและมีขนาดเล็กกว่าระบบการฉีดที่ใช้ในการส่งพอลิเมอร์ไปยังเบ้าพิมพ์ ดังนั้นความขนาดเคลื่อนเล็กน้อยในปริมาตรรวมของวัสดุจะส่งผลให้การเติมเต็มในเบ้าพิมพ์ มีสัดส่วนที่ใหญ่ขึ้น ระบบหัวฉีดมีการตอบสนองวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

ประการแรก พื้นที่ผิวสูงเมื่อเทียบกับอัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ทำให้ในการแข็งตัวของวัสดุที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สั้นมาก ดังนั้น การฉีดแต่ละครั้ง (Shot Weight) น้ำพลาสติกจะต้องเข้าไปในเบ้าพิมพ์ให้รวดเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อการเติมเต็มที่สมบูรณ์ ประการที่สอง ในส่วนของชุดฉีดต้องสามารถทำให้เกิดแรงดันฉีดที่สูงเพื่อความถูกต้องและแม่นยำ การฉีดที่สอดคล้องกันระหว่างการไหลตัว และความร้อนเพื่อลดความแปรปรวนในคุณสมบัติของผลผลิตสุดท้าย (Final Product) ผู้ผลิตเครื่องฉีดแม่พิมพ์ขนาดไมโคร ได้พยายามกล่าวถึงความต้องการจำนวนมากโดยใช้วิธีการที่หลากหลาย เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรูอัดรีด 14 มม. ติดตั้งที่มุม 45 องศา กับแนวแกนฉีด ให้มั่นใจว่าพลาสติกสามารถหลอมเหลวกลายเป็นเนื้อเดียวกัน วัสดุที่ออกมา (Extrude) สู่อ่างเก็บ (Chamber) ที่ประกอบด้วยลูกสูบที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์มีปริมาณสูงสุดที่ 1100 มม.³ หนึ่งในเครื่องฉีดแม่พิมพ์ขนาดเล็กประสบความสำเร็จสูงสุดในเชิงพาณิชย์โดยเฉพาะ

เครื่อง BATTENFELD Micro 50 ซึ่งประกอบไปด้วยมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบมาเฉพาะเพื่อการควบคุมในกระบวนการที่ถูกต้องและแม่นยำ และตั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เป็นห้องปิด (Clean Room) เครื่องจะประกอบไปด้วยเส้นผ่าศูนย์กลางของสกรูอัดรีด 14 มิลลิเมตร ติดตั้งที่มุม 45 องศา กับแนวแกนฉีดตั้งรูปที่ 7 เพื่อให้มั่นใจว่าพลาสติกสามารถหลอมเหลวกลายเป็นเนื้อเดียวกับวัสดุที่ออกมา (Extrude) สู่อ่างเก็บ (Chamber) ที่ประกอบด้วยลูกสูบที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ จะมีปริมาณสูงสุดที่ 1100 มม.³ เพิ่มขึ้นได้ทีละ 0.01 มม.³ แรงดันกลับได้ถึง 250 บาร์ มอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนตัวที่สอง ในการฉีดจะใช้ความเร็วฉีดสูงสุดที่ 1000 มม./วินาที หัวฉีดส่งผ่านพลาสติกเข้าไปยังวงครึ่งของแม่พิมพ์ (Split-plane) เพื่อจำกัดปริมาณของวัสดุที่จำเป็นต่อการเติมเต็มภายในเบ้า เพื่อให้แน่ใจว่าพลาสติกหลอมเหลวยังอยู่ในอุณหภูมิที่ต้องการ



รูปที่ 7 ลักษณะโครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องฉีด BATTENFELD Micro50 (คุณากร เทียนแก้ว, ญัฐกรณ โปธิศรี, ไพฑูรย์ เสือคู่ย์, ศุภโชค มุกด์ทรัพย์, อานาจ ไตพิพัฒน์มงคล, 2556)

ในขณะที่พลาสติกเคลื่อนตัวมายังเบ้าด้วย อัตราการฉีดที่รวดเร็ว และอัตราการระบายความร้อนช่วยให้การเปิดแม่พิมพ์ภายในหนึ่งหรือสองวินาทีและรอบเวลารวมมีการกำหนดจากเวลาที่ใช้ในการปลดชิ้นงาน

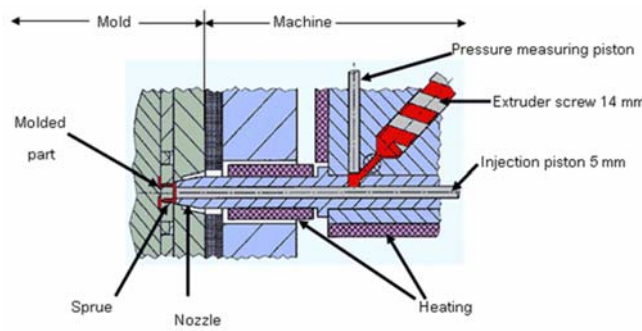
2.2.5 ลักษณะการฉีดแม่พิมพ์ขนาดไมโคร (Micro Feature Injection Molding Machines)

เครื่องฉีดพลาสติกทั่วไปจะแตกต่างจากเครื่องฉีดพลาสติกขนาดไมโคร โดยลักษณะการฉีดของเครื่องฉีดพลาสติกขนาดไมโคร อุณหภูมิการไหลตัวที่เหมาะสมในการไหลตัวไปยังแม่พิมพ์ตามลำดับจะต้องมีความสัมพันธ์กันเพื่อรักษาขอบเขตการทำงานให้สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ มวลความร้อนในส่วนของชิ้นส่วนแม่พิมพ์จะต้องเกิดความร้อนให้น้อยที่สุด แนวทางการปลดชิ้นงานระบบปลดต้องมีระยะความคลาดเคลื่อนที่น้อยมาก (Tight Tolerances) การคลาดเคลื่อนหรือการเคลื่อนไหวเพียงเล็กน้อยตามแนวขวางซึ่งทำให้เกิดความเสียหายในระหว่างการปลดและเครื่องมือที่ต้องเคลื่อนย้ายมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงไมครอน

2.2.5.1 กระบวนการฉีด (Injection Process)

กระบวนการฉีด มีขั้นตอนคือ

- ก) Extruder Screw คือ กระบอกหลอมละลายเม็ดพลาสติก สกรูจะหมุนถอยหลังเพื่อหลอมละลายพลาสติกแล้วลำเลียงไปยังหน้ากระบอกฉีด
- ข) Measuring Piston Measuring Piston คือกระบอกสำหรับตั้งปริมาณเนื้อพลาสติกที่จะฉีดเข้าแม่พิมพ์



รูปที่ 8 กระบวนการฉีดแม่พิมพ์ขนาดไมโคร (Micro Molding Injection) (คุณากร เทียนแก้ว, ญัฐกรณ โปธิศรี, ไพฑูรย์ เสือคู่ย์, ศุภโชค มุกด์ทรัพย์, อานาจ ไตพิพัฒน์มงคล, 2556)

โดยแกนเหล็ก Piston จะดันเนื้อพลาสติกเข้าไปในกระบอกฉีด Injection Piston

ค) Injection Piston คือกระบอกฉีดที่มีลูกสูบ (Piston) ทำหน้าที่ฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ หลังจากแม่พิมพ์ปิดสนิทแล้ว

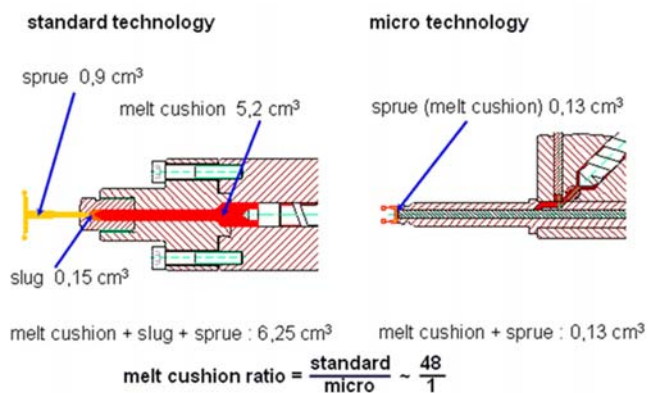
ง) Mold Cooling คือ การทำให้ชิ้นงานในแม่พิมพ์เย็นตัวลง เมื่อครบกำหนดเวลาการหล่อเย็นที่ตั้งไว้ แม่พิมพ์จะเปิดแล้วชิ้นงานถูกกระทุ้งออกจากแม่พิมพ์

จ) ความเร็วการเติมเนื้อพลาสติกเข้ากระบอกฉีดสูงสุด 760 มม./วินาที

ฉ) รอบการทำงาน (Cycle time) การฉีดชิ้นงาน 2-5 วินาที

2.2.5.2 Melt Cushion และ Sprue Size

Melt Cushion คือเนื้อพลาสติกที่เหลืออยู่ในกระบอกฉีดหลังจากการฉีดแล้ว



รูปที่ 9 ภาพเปรียบเทียบปริมาตรของพลาสติกที่หลอมเหลว (คุณากร เทียนแก้ว, ญัฐกรณ์ โพธิศรี, ไพฑูรย์ เสือคู่ย์, ศุภโชค มุกด์ทรัพย์, อำนาจ โตพิพัฒน์มงคล, 2556)

3. หลักเกณฑ์ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ขนาดไมโคร

3.1 ข้อควรพิจารณาในการออกแบบแม่พิมพ์

ก) ระวังเกี่ยวกับเส้นแบ่งแม่พิมพ์ (Parting Line) ตำแหน่งของทางเข้า และวิธีการปลดชิ้นงานออก ระบบหล่อเย็น และความเที่ยงตรงของส่วนคอร์ (Core)

ข) ระวังทิศทางการไหลของน้ำพลาสติกและการไหลมาบรรจบกันของพลาสติก ในขณะที่ทำการฉีด

ค) ควรพยายามทำให้การหล่อเย็นอยู่ในอุณหภูมิที่เท่ากัน

ง) ในการออกแบบชิ้นงานควรจะต้องคำนึงถึงวัสดุที่จะนำมาทำแม่พิมพ์และการขัดแต่งผิวของแม่พิมพ์

จ) ต้องคำนึงถึงการเสียรูปของแม่พิมพ์ขณะที่ทำการฉีดความดันภายในแม่พิมพ์จะทำให้ความหนาของชิ้นงานผิดพลาด

ฉ) การปลดชิ้นงานออกจะต้องสอดคล้องกับการขึ้นลงของแผ่นกระทุ้งจะต้องเป็นไปอย่างนุ่มนวลและอัตโนมัติ

ช) การยึดแม่พิมพ์กับเครื่องฉีดจะต้องกระทำด้วยวิธีที่ง่าย ๆ แต่แข็งแรงไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่ซับซ้อน

ซ) ต้องทำแม่พิมพ์ให้ได้มาตรฐาน

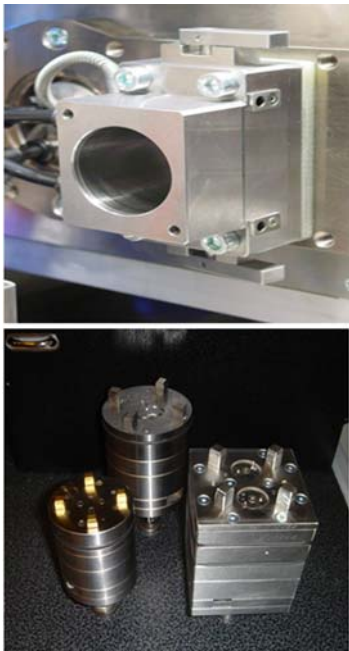
3.2 อินเสิร์ตของเบ้าและคอร์ (Inserts: Cavity and Core)

สำหรับแม่พิมพ์ที่มีอิมเพรสชันค่อนข้างประณีตซับซ้อน และแม่พิมพ์หลายอิมเพรสชัน หากพยายามทำแผ่นเบ้า และแผ่นคอร์เป็นเหล็กชิ้นเดียวกันตลอดเหมือนแม่พิมพ์แบบชิ้นเดียว จะพบว่ามีความยากลำบากและมีราคาแพง วิธีทำแม่พิมพ์ที่ได้จากการประกอบยึดอินเสิร์ตจึงถูกนำมาใช้แทน

วิธีการดังกล่าวจะขึ้นรูปอิมเพรสชันจากแผ่นเล็กๆ ซึ่งต่อมารายหลังจากการขึ้นรูปเหล็กแผ่นเล็กๆ นี้เราเรียกว่า "อินเสิร์ต" และส่วนที่ขึ้นรูปภายในของชิ้นงานหรือเป็นตัวผู้เรียกว่า อินเสิร์ตของคอร์ (Core Insert) และในทางกลับกันส่วนที่ขึ้นรูปภายนอกของชิ้นงานก็จะเป็นส่วนที่ เรียกว่า อินเสิร์ตของเบ้า (Cavity Insert) จากนั้นจึงนำเอาอินเสิร์ตเหล่านี้มาสวมและขันยึดเข้ากับรูในแผ่นเหล็กที่เรียกว่า "แผ่นยึดอินเสิร์ต" รูเหล่านี้อาจจะเป็นรูตัน หรือ เจาะรูทะลุตลอดแผ่นยึดแม่พิมพ์ สำหรับกรณีหลัง จะมีแผ่นประกบยึดกับด้านหลังของแผ่นอินเสิร์ต เพื่อยึดให้

อินเสิร์ตอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ

ซึ่งแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขนาดเล็กส่วนใหญ่จะนิยมใช้ชุดอินเสิร์ตที่ชุดการปลดชิ้นงานอยู่ในชุดเดียวกันในลักษณะทรงกระบอก เพื่อสามารถถอดหรือเปลี่ยนชิ้นส่วนได้อย่างสะดวกโดยไม่ต้องยกแม่พิมพ์ทั้งชุดลงจากเครื่องฉีด และเนื่องจากรูปทรงที่เป็นทรงกระบอกนั้นยังมีอัตราการขยายตัวของเหล็กอย่างเท่ากันทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการฉีดน้อย



รูปที่ 10 ลักษณะชุดอินเสิร์ตของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขนาดไมโคร (คุณากร เทียนแก้ว, ญรัฐกรณ์ โพลิศรี, ไพฑูรย์ เสือคู่ย์, ศุภโชค มุกค์ทรัพย์, อำนาจ โตพิพัฒน์มงคล, 2556)

3.3 การร่างแบบรูว้าง (Runner Layout)

การร่างแบบรูว้างจะขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์ต่างๆ ดังนี้

- ก) จำนวนของอิมเพรสชั่น
- ข) รูปทรงของชิ้นงาน
- ค) ชนิดของแม่พิมพ์ (คือแม่พิมพ์แบบสองแผ่นหรือแบบหลายแผ่น)
- ง) ชนิดของรูเข้า

ในการออกแบบเพื่อร่างแบบรูเข้ามีข้อพิจารณาใหญ่ๆ อยู่ 2 ประการคือ ประการที่หนึ่ง ความยาวของรูว้างควรออกแบบให้สั้นมากที่สุดเพื่อลดการสูญเสียแรงดัน ประการที่สองระบบรูว้างจะต้องสมดุลกัน

standard technology



sprue weight: 1.000 – 2.500 mg

micro technology



sprue weight: 50 - 200 mg

$$\text{sprue weight ratio} = \frac{\text{standard}}{\text{micro}} = \frac{20}{1}$$

รูปที่ 11 เปรียบเทียบทางวิ่งของน้ำพลาสติกระหว่างแม่พิมพ์ฉีดแบบปกติ (ด้านซ้าย) และแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขนาดไมโคร (ด้านขวา) (คุณากร เทียนแก้ว, ญรัฐกรณ์ โพลิศรี, ไพฑูรย์ เสือคู่ย์, ศุภโชค มุกค์ทรัพย์, อำนาจ โตพิพัฒน์มงคล, 2556)

4. สรุป

เทคโนโลยีการฉีดชิ้นงานพลาสติกขนาดไมโคร ซึ่งในกระบวนการขึ้นรูปนั้นมียอดประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ 1. แม่พิมพ์ที่มีโครงสร้างขนาดไมโคร 2. เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปมีความเหมาะสมกับแม่พิมพ์ขนาดไมโคร เทคโนโลยีนี้สามารถผลิตชิ้นงานได้หลายรูปแบบ เช่น ชิ้นงานแบบมีหลายสีในชิ้นงานเดียวกัน (Multi Color) ชิ้นงานแบบมีวัสดุแตกต่างกันอยู่ในชิ้นงานเดียวกัน (Multi Component) ชิ้นงานแบบ Insert และ Over molding เป็นต้น เทคโนโลยีการฉีดชิ้นงานพลาสติกขนาดไมโคร ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาการฉีดชิ้นงานพลาสติกแบบธรรมดาไปสู่การฉีดชิ้นงานให้มีขนาดเล็กลงและมีความแม่นยำสูง การฉีดชิ้นงานพลาสติกขนาดไมโคร ทำให้มีมูลค่าสูงกว่าการฉีดชิ้นส่วนแบบธรรมดา ตลาดความต้องการชิ้นงานพลาสติกขนาดไมโครได้เติบโตขยายไปสู่ภาคอุตสาหกรรมต่างๆ เพราะชิ้นงานพลาสติกขนาดเล็กเป็นชิ้นส่วนสำคัญที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หลาย

ภาคส่วนของอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิ สวิตช์และเซ็นเซอร์ขนาดเล็กในยานยนต์ หัวพิมพ์ของเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท โทรศัพท์มือถือ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กบนแผงวงจร เซ็นเซอร์อุณหภูมิ เซ็นเซอร์บนหัวอ่านแผ่นดิสก์ เครื่องกลขนาดเล็ก มอเตอร์ขนาดเล็ก เลนส์สายตา เพื่องานฟิสิกส์มือ

การพัฒนาเทคโนโลยีการฉีดขึ้นงานพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง ยังคงดำเนินการอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการของภาคอุตสาหกรรมและมีความเป็นไปได้ที่จะฉีดขึ้นงาน พลาสติกให้มีขนาดเล็กสุดหรือที่เรียกว่า นาโน ต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

คุณากร เทียนแก้ว, ณัฐกรณ์ โพธิศรี, ไพฑูรย์ เสือคู่ย์, ศุภโชค มุกด์ทรัพย์, อำนวย โดพิพัฒน์มงคล. 2556. การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขึ้นงานขนาดไมโคร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ. วัลลภ สีวิวัฒนาพรชัย. 2549. เทคโนโลยีการฉีดขึ้นงานไมโครพลาสติก. สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน.

Scott Herbert. The Fallacies of Injection Molding as compared to MicroMolding. Rapidwerks Inc.

Vishu Shah. 2005. Micro Injection Molding.



>> วัชระ ลายลักษณ์

สำเร็จการศึกษา ปริญญาโท (ว.ทม.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล พ.ศ. 2551 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปริญญาตรี (อ.สบ.) สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล (ออกแบบแม่พิมพ์) พ.ศ. 2547 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ