การฉีดพลาสติกและการหดตัวของชิ้นงาน

Plastic Injection and Part Shrinkage

วิภู ศรีสืบสาย

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความวิชาการฉบับนี้กล่าวถึงข้อมูลสำหรับการทำงานด้านการฉีดพลาสติก ซึ่งประกอบด้วยเครื่องฉีดพลาสติก ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก แม่พิมพ์พลาสติก กระบวนการฉีดพลาสติก ปัจจัยสำหรับการฉีดพลาสติก และการหดตัวของพลาสติกซึ่งชนิดทางเข้ามีผลต่อการหดตัวของชิ้นงาน โดยที่สามารถแก้ไขได้โดยการปรับเพิ่มความดันฉีดย้ำ เวลาการฉีดย้ำและการเพิ่มขนาดทางเข้า

คำสำคัญ : การฉีดพลาสติก, ความดันฉีดย้ำ, การหดตัว

Abstract

This paper presents the information about plastic injection molding which consists of types of injection molding machines and their main structure, types of plastic injection molds, plastics injection process, factor for injection process and plastic shrinkage which caused by the type of gate. The solution for reducing shrinkage was increasing packing pressure, packing time and size of gate.

Keywords : Injection Molding, Packing Pressure, Shrinkage

1. บทนำ

การฉีดพลาสติกเป็นกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกวิธีหนึ่งที่ถือได้ว่ามีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในด้านเครื่องฉีดพลาสติกและแม่พิมพ์ เครื่องฉีดพลาสติกปัจจุบันสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท คือเครื่องฉีดที่เป็นระบบไฮดรอลิกส์ เครื่องฉีดที่เป็นทั้งระบบไฮดรอลิกส์และระบบมอเตอร์ไฟฟ้าร่วมกัน และเครื่องฉีดพลาสติกที่เป็นระบบมอเตอร์ไฟฟ้าทั้งเครื่อง สำหรับแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือแม่พิมพ์ฉีดแบบทางวิ่งเย็นและแบบทางวิ่งร้อน การเลือกใช้เครื่องฉีดและแม่พิมพ์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ปริมาณการผลิต ลักษณะของผลิตภัณฑ์ ราคาและต้นทุน เป็นต้น คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพลาสติกที่เลือกมาใช้และปัจจัยในการฉีดพลาสติก ได้แก่ อุณหภูมิในการหลอมเหลว ความเร็ว ความดันและเวลาในการฉีดพลาสติก ความดันและเวลาในการฉีดย้ำ และเวลาในการหล่อเย็น ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ในการปรับตั้งค่าไม่ถูกต้องจะทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายหรือเกิดรอยตำหนิได้ เช่น การฉีดไม่เต็มแบบ การเกิดรอยไหม้ การบิดงอโก่งขอของชิ้นงาน การเกิดรอยยุบที่ผิวชิ้นงาน การหดตัว เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยวิเคราะห์การฉีดพลาสติก เช่น โปรแกรม Moldex3D และโปรแกรม Mold Flow เป็นต้น ซึ่งสามารถช่วยทำนายและวิเคราะห์ลักษณะของชิ้นงานเมื่อมีการกำหนดปัจจัยการฉีดในลักษณะต่าง ๆ ได้ ทำให้ลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องฉีดพลาสติก อย่างไรก็ตามปัญหาการหดตัวของชิ้นงานพลาสติกยังคงเป็นสิ่งที่บางครั้งยากต่อการแก้ไข ถ้ามีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

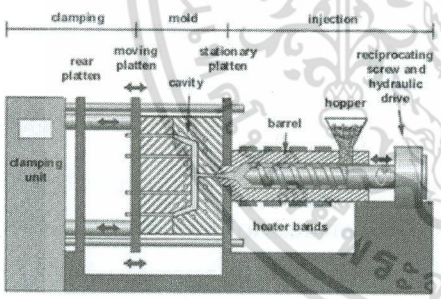
ออกแบบแม่พิมพ์หรือการใช้ปัจจัยการฉีดที่ไม่ถูกต้อง รวมถึงการเลือกเครื่องฉีดที่ไม่เหมาะสม

2. เครื่องฉีดพลาสติก

จากที่กล่าวมาข้างต้นเครื่องฉีดพลาสติกแบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่

1. เครื่องฉีดพลาสติกระบบไฮดรอลิกส์ เป็นเครื่องฉีดที่ใช้ระบบไฮดรอลิกส์ทั้งในระบบยึดจับแม่พิมพ์และชุดฉีด
2. เครื่องฉีดพลาสติกแบบผสมระหว่างไฮดรอลิกส์และมอเตอร์ไฟฟ้า ระบบไฮดรอลิกส์จะใช้ในส่วนของการยึดจับแม่พิมพ์และมอเตอร์ไฟฟ้าจะใช้ในชุดฉีดพลาสติก
3. เครื่องฉีดพลาสติกแบบไฟฟ้าจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าทั้งส่วนยึดจับแม่พิมพ์และชุดฉีดพลาสติก

ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก ประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ 2 ส่วนได้แก่ ชุดยึดจับแม่พิมพ์และชุดฉีดพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประเครื่องฉีดพลาสติก[1]

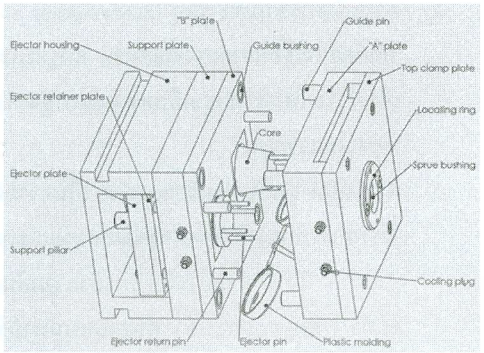
ชุดฉีดประกอบด้วย กรวยเติม (Hopper) กระบอกฉีด (Barrel) ภายในมีเกลียวหนอน (Screw) เพื่อใช้หลอมเหลวพลาสติกและฉีดพลาสติก เกลียวหนอนโดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 ช่วง ดังแสดงในรูปที่ 2 ช่วงแรกเรียก feed zone มีความลึกของร่องเกลียวมากที่สุด รับพลาสติกจาก hopper และดันพลาสติกให้เข้าสู่ช่วง transition zone ช่วงนี้พลาสติกจะถูกแรงเฉือน ความเสียดทานระหว่างเม็ดพลาสติกกับกระบอกฉีดและสกรูจะทำให้เกิดความร้อน ทำให้พลาสติกเริ่มหลอมละลายที่ส่วนนี้ ความร้อนยังถูกควบคุมจากภายนอกกระบอกฉีดด้วย heater band ที่หุ้มกระบอกฉีดไว้ จากนั้นพลาสติกถูกดันเข้าสู่ช่วงสุดท้ายคือ metering zone ที่มีความลึกของล่องเกลียวน้อยที่สุดเป็นช่วงที่พลาสติกหลอมละลายทั้งหมดและผ่านไปยังด้านหน้าสกรูและรอการฉีด ระหว่างที่สกรูหมุนทำให้พลาสติกไหลมาสู่ด้านหน้า สกรูจะถอยหลังเพื่อเพิ่มพื้นที่สำหรับเก็บพลาสติกหลอมเหลว เมื่อถึงเวลาสกรูจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วและความดันที่กำหนดไว้ทำให้พลาสติกไหลเข้าสู่แม่พิมพ์ พลาสติกจะไม่ไหลย้อมกลับมาด้านในสกรูเนื่องจากมี check ring หรือ check valve อยู่ด้านหน้าสกรูที่จะยอมให้พลาสติกไหลผ่านเมื่อสกรูหมุนเท่านั้น

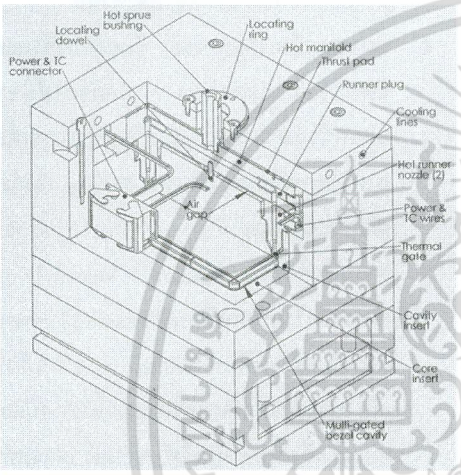
สำหรับส่วนยึดจับแม่พิมพ์เป็นส่วนที่แม่พิมพ์ถูกติดตั้งด้านหนึ่งจะอยู่กับที่อีกด้านหนึ่งเคลื่อนที่ได้ เพื่อเปิดปิดแม่พิมพ์ การเปิดปิดมี 2 ระบบคือระบบทางกลเรียกว่า toggle และระบบกระบอกสูบ สำหรับด้านที่เคลื่อนที่ได้จะมีกลไกไว้สำหรับปลดชิ้นงานด้วย

3. แม่พิมพ์พลาสติกฉีด

โดยทั่วไปแม่พิมพ์จะมีส่วนประกอบหลัก ๆ ได้แก่ เบ้าหรือหลุมแบบ (Cavity) คอร์ (Core) ทางเข้า (Gate) ทางวิ่ง (Runner) แกนรูฉีด (Sprue) ทางน้ำหล่อเย็น (Cooling line)และส่วนประกอบของการปลดชิ้นงาน ปัจจุบันทางวิ่งมีด้วยกัน 2 ลักษณะคือ แม่พิมพ์ทางวิ่งเย็นและแม่พิมพ์ทางวิ่งร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2 การใช้แม่พิมพ์ทางวิ่งเย็นจะมีเศษพลาสติกในส่วนของ sprue และ runner ออกมาพร้อมกับชิ้นงาน การเลือกใช้ทางเข้า (Gate) บางประเภทจะทำให้ส่วน sprue และ gate ติดอยู่กับชิ้นงาน สำหรับแม่พิมพ์ทางวิ่งร้อนจะมีการให้ความร้อนกับชุดทางวิ่ง ทางเข้าจะใช้เป็นหัวฉีด (Nozzle) แม่พิมพ์ลักษณะนี้มีข้อดีสำหรับการใช้ฉีดขึ้นรูปหลายเบ้าแบบหรือชิ้นงานที่มีความบาง เนื่องจากสูญเสียความดันฉีดในแม่พิมพ์น้อยกว่าแม่พิมพ์ทางวิ่งเย็น แต่มีข้อเสียคือแม่พิมพ์มีราคาสูงและมีความซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 2 แม่พิมพ์ทางวิ่งเย็น(บน)
และแม่พิมพ์ทางวิ่งร้อน (ล่าง) [2]

ในงานวิจัยของ Santis และคณะ[3] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการฉีดพลาสติกระหว่างการใช้แม่พิมพ์ทางวิ่งร้อนและเย็น พบว่าความดันที่ใช้ในการฉีดพลาสติกเมื่อใช้แม่พิมพ์ทางวิ่งร้อนจะน้อยกว่าการใช้แม่พิมพ์ทางวิ่งเย็น ทำให้ประหยัดพลังงานลงได้และยังสามารถใช้เครื่องฉีดพลาสติกที่มีขนาดเล็กลงเนื่องจากต้องการแรงดันในการปิดแม่พิมพ์น้อยลง และยังพบว่าการหดตัวของพลาสติกจะลดลงเมื่อเพิ่มความดันในการฉีด การใช้แม่พิมพ์ทางวิ่งร้อนลดอัตราการหดตัวของพลาสติก เนื่องจากการเย็นตัวที่ช้ากว่าในบริเวณทางเข้าแม่พิมพ์เมื่อเทียบกับกรณีการใช้แม่พิมพ์ทางวิ่งเย็น ทำให้สามารถทำการอัดย้ำได้ดีกว่า และจากงานวิจัยยังพบว่าการใช้แม่พิมพ์ทางวิ่งร้อนจะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีน้ำหนักหรือความหนาแน่นมากกว่าการใช้แม่พิมพ์ทางวิ่งเย็นส่งผลให้คุณสมบัติทางกลดีขึ้น

การออกแบบระบบหล่อเย็นสำหรับแม่พิมพ์เป็นสิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการหดตัวของชิ้นงาน จากการศึกษาของ Guang-hong Hu [4] พบว่าการวางตำแหน่งของทางน้ำหล่อเย็นมีผลต่ออัตราการหดตัว (Shrinkage rate) เมื่อ

$$Shrinkage\ rate = 1 - \frac{\rho(p,T)}{\rho(p_{atm},T_{amb})} \quad (1)$$

จากงานวิจัยพบว่าการวางตำแหน่งของเส้นทางการหล่อเย็นให้มีการถ่ายเทความร้อนได้ดี ไม่ได้ทำให้เกิดการหดตัวน้อยที่สุด การออกแบบแม่พิมพ์จึงควรพิจารณาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนควบคู่ไปกับการหดตัวของพลาสติกด้วย

4. กระบวนการฉีดพลาสติก

ในการฉีดพลาสติกเพื่อให้ได้ชิ้นงานในแต่ละครั้งจะประกอบไปด้วย 7 ขั้นตอน ได้แก่

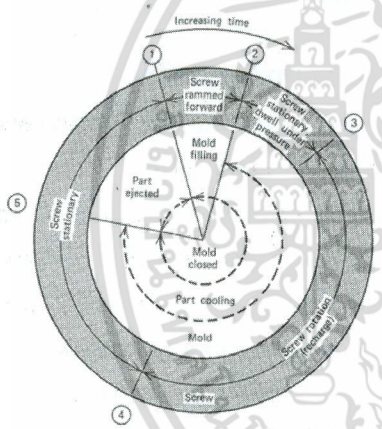
1. การฉีดพลาสติกเข้าเบ้าแบบ (Filling) สกรูหรือเกลียวหนอนจะเคลื่อนที่ตรงมาด้านหน้าด้วยความดันและความเร็วที่ตั้งไว้ ดันพลาสติกหลอมเหลวด้านหน้าสกรูผ่านไปยัง sprue เข้าสู่ runner และผ่าน gate เข้าเบ้าแบบ
2. การเติมเนื้อพลาสติกให้เต็มแบบ (Packing) เมื่อพลาสติกไหลเข้าเต็มเบ้าแบบพลาสติกจะเริ่มเย็นตัวและหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่ต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของพลาสติก ดังนั้นเพื่อให้พลาสติกเต็มเบ้าจะต้องยังคงให้ความดันกับสกรูเพื่อดันพลาสติกหลอมเหลวเข้าเติมในแม่พิมพ์
3. รอจนกระทั่งการเข้าแข็งตัว (Holding) ต่อจากการ packing ความดันยังคงให้ต่อเนื่องจนกระทั่งทางเข้าแข็งตัว พลาสติกไม่สามารถไหลย้อนกลับและไม่สามารถเติมพลาสติกเข้าเบ้าแบบได้แล้ว จึงจะยกเลิกความดันที่สกรู
4. การหล่อเย็น (Cooling) เป็นช่วงระยะเวลาการรอให้พลาสติกเย็นตัวจนถึงอุณหภูมิที่สามารถนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้ โดยปกติจะต้องต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าอุณหภูมิโก่งตัวด้วยความร้อน (Heat Distortion Temperature, T_{HDT}) ระหว่างนี้สกรูจะหมุนเพิ่มเตรียมหลอมละลายพลาสติกไว้ใช้ในการฉีดครั้งถัดไป

5. เปิดแม่พิมพ์ (Open Mold) แม่พิมพ์จะเปิดออกเมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้สำหรับการหล่อเย็น
6. ปลดชิ้นงานออก (Ejection) ชิ้นงานถูกนำออกจากแม่พิมพ์
7. ปิดแม่พิมพ์ (Close Mold) แม่พิมพ์ถูกปิดเพื่อเตรียมฉีดครั้งถัดไป

จากขั้นตอนดังกล่าวสามารถเขียนแสดงวงจรการฉีดพลาสติกได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 รอบการฉีดพลาสติก[5]

5. ปัจจัยการฉีดพลาสติก

ในขั้นตอนการฉีดพลาสติกดังที่กล่าวมาข้างต้น มีปัจจัยที่ต้องกำหนดสำหรับการฉีด ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. อุณหภูมิหลอมเหลว (Melt Temperature) อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้พลาสติกเสียคุณสมบัติ แต่ถ้าต่ำเกินไปพลาสติกอาจจะหลอมเหลวไม่สมบูรณ์ อุณหภูมิที่พลาสติกหลอมเหลวเกิดจากความร้อนจากแรงเสียดทานและความร้อนจาก heater band ดังนั้นจึงควรมีตัววัดอุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลวที่หัวฉีดของชุดฉีดเพื่อวัดอุณหภูมิพลาสติกหลอมเหลว
2. ความเร็วการหมุนของสกรู (Screw Speed) จะทำให้เกิดความร้อนจากแรงเสียดทาน สกรูหมุนเร็วเกิดความร้อนจากแรงเสียดทานมากอุณหภูมิหลอมเหลวจะสูง
3. ความดันต้านกลับ (Back Pressure) เป็นความดันที่ต้านการถอยกลับของสกรูขณะหมุนและถอยหลังเพื่อหลอมเหลวพลาสติก การตั้งความดันสูงจะทำให้สกรูถอยกลับช้า สกรูจะหมุนนานขึ้น ความร้อนจากแรงเสียดทานจะสูงขึ้น
4. ขนาดการฉีด (Shot Size) ขึ้นอยู่กับปริมาณการฉีดหรือขนาดของชิ้นงาน ปกติจะให้มีขนาดมากกว่าชิ้นงานจริงเล็กน้อยเป็นการเผื่อไว้สำหรับการเติมพลาสติกช่วง Packing เรียกระยะเผื่อนี้ว่า Cushion
5. ความเร็วการฉีด (Injection Velocity) เป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ของสกรูในขณะดันพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ (Filling) ความเร็วที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดรอยไหม้บนชิ้นงานเนื่องจากเกิดแรงเฉือนมากเกินไป ความเร็วต่ำจะทำให้พลาสติกแข็งตัวก่อนที่จะเต็มแม่พิมพ์
6. ความดันในการฉีด (Injection Pressure) สัมพันธ์กับความเร็วฉีด ทำให้สกรูเคลื่อนที่ด้วยความเร็วตามที่กำหนดและดันพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์
7. ระยะเวลาฉีด (Fill Time) กำหนดช่วงเวลาของการฉีด (Filling) ที่ใช้ความเร็วและความดันของสกรูฉีดพลาสติกหลอมเหลวเข้าแม่พิมพ์ ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นการ Packing โดยการใช้ความดันเพียงอย่างเดียวในการเติมพลาสติก การเปลี่ยนช่วงนี้มักเรียกว่า V/P switch over
8. ความดันฉีดย้ำ (Packing Pressure) เป็นความดันเพื่อชดเชยพลาสติกที่หดตัวของพลาสติก
9. เวลาสำหรับความดันฉีดย้ำ (Packing Time) เป็นการกำหนดช่วงเวลาสำหรับความดันฉีดย้ำ
10. ความดันแช่ (Holding Pressure) เป็นการให้ความดันต่อเนื่องจากความดันฉีดย้ำเพื่อรอให้ gate ซึ่งเป็นส่วนที่เล็กหรือบางที่สุดในเส้นทาง

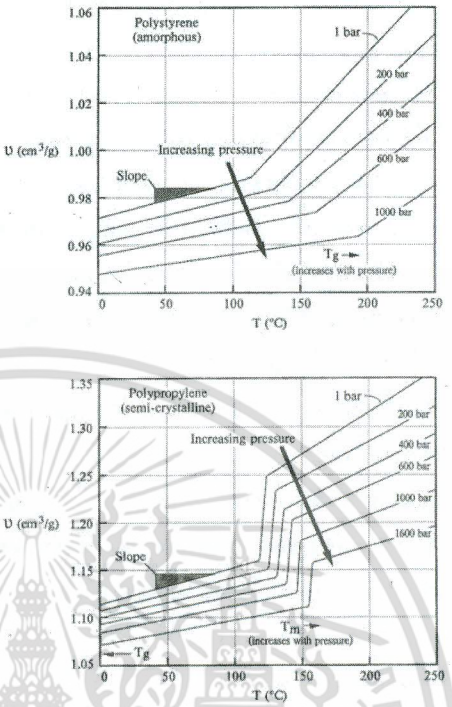
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลของพลาสติกแข็งตัว ป้องกันไม่ให้พลาสติกไหลย้อนกลับ

11. เวลาสำหรับความดันแช่ (Holding Time) เป็นการกำหนดช่วงเวลาสำหรับการใช้ความดันแช่
12. เวลาสำหรับการหล่อเย็น (Cooling Time) กำหนดเวลาสำหรับการหล่อเย็นชิ้นงาน โดยปกติควรกำหนดให้เวลาการหล่อเย็นนานเพียงพอที่จะทำให้พลาสติกเย็นตัวและมีอุณหภูมิต่ำกว่า T_{HDT} (Heat Distortion Temperature)
13. อุณหภูมิสำหรับการหล่อเย็น (Cooling Temperature) กำหนดอุณหภูมิสำหรับน้ำหล่อเย็นชิ้นงาน มีผลต่อเวลาในการเย็นตัวของชิ้นงานและมีผลต่อการหดตัวและการโก่งงอของชิ้นงาน
14. แรงในการปลดชิ้นงาน (Ejection Force) เป็นแรงที่ใช้ดันชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

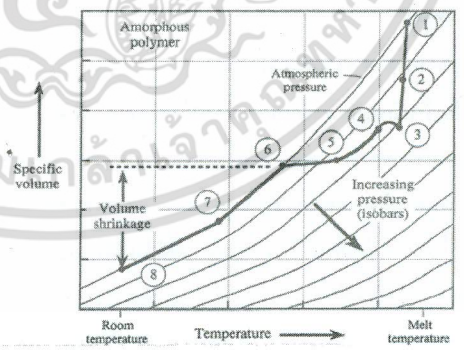
6. การหดตัวของพลาสติก (Shrinkage)

การหดตัวของพลาสติกเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเสมอเมื่อพลาสติกเย็นตัวจากการขึ้นรูปด้วยความร้อน การหดตัวจะขึ้นกับชนิดของพลาสติก กรณีพิจารณาด้านคุณสมบัติทางความร้อนสามารถแบ่งพลาสติกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ กลุ่มเทอร์โมพลาสติก เป็นพลาสติกที่เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการอ่อนตัว นำไปขึ้นรูปได้ และเมื่อเย็นจะแข็งตัว คุณลักษณะที่สำคัญคือสามารถนำมาใช้ใหม่หรือนำมาให้ความร้อนและขึ้นรูปใหม่ได้ กลุ่มเทอร์โมเซตติ้ง เป็นพลาสติกที่คุณสมบัติพิเศษเช่นความแข็งแรง ทนต่ออุณหภูมิสูงหรือทนทานต่อสารเคมี เมื่อขึ้นรูปด้วยวิธีทางความร้อนแล้วไม่สามารถนำมาขึ้นรูปใหม่ได้อีก เมื่อพิจารณาสัณฐานวิทยา สามารถแบ่งพลาสติกได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มอสัณฐาน (Amorphous) และกึ่งผลึก (Semi-Crystalline) พบว่าพลาสติกทั้งสองกลุ่มมีความสัมพันธ์ของ ความดัน ปริมาตรจำเพาะและอุณหภูมิ (PvT) ดังแสดงในรูปที่ 4 การฉีดพลาสติกโดยทั่วไปพลาสติกจะหลอมเหลวและขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงกว่า 150°C จากนั้นทำการหล่อเย็นจนถึง



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ PvT ของพลาสติกชนิด Amorphous(บน) และ Semi Crystalline (ล่าง) [6]

อุณหภูมิปลดชิ้นงาน ความสัมพันธ์ของPvT แสดงให้เห็นถึงการหดตัวของพลาสติกในช่วงของการหล่อเย็นดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ PvT ระหว่างกระบวนการฉีดพลาสติก ของพลาสติกชนิด Amorphous [6]

โดยขั้นตอนการฉีดพลาสติกตามรูปเป็นดังนี้

1 ปิดแม่พิมพ์ เป็นความดันบรรยากาศ (Closed Mold)

2-3 ความดันเพิ่มขึ้นเนื่องจากการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ (Filling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3-4 เปลี่ยนจาก Filling เป็นการฉีดย้ำ (V/P switch over) ความดันเริ่มลดลง

4-5 ช่วงความดันฉีดย้ำ (Packing Pressure) ใช้แรงดันเพื่อเติมพลาสติกให้เต็มแบบเนื่องจากการหดตัว

5-6 ช่วงความดันแช่ (Holding Pressure) รอทางเข้า (gate) แข็งตัว ความดันลดลงถึงความดันบรรยากาศ

6-7 ช่วงการหล่อเย็น มีการหดตัวในแม่พิมพ์

7-8 เปิดแม่พิมพ์ ชิ้นงานเย็นตัวภายนอกแม่พิมพ์

8 ชิ้นงานเย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง

การเพิ่ม packing time จะทำให้การหดตัวลดลงแต่เมื่อใช้เวลานานเกินกว่าเวลาการแข็งตัวของทางเข้าการใช้ความดันอัดย้ำไม่มีความจำเป็นเนื่องจากไม่สามารถเพิ่มพลาสติกเข้าไปชดเชยการหดตัวได้ การเพิ่มขนาดของทางเข้าทำให้เวลาการแข็งตัวนานขึ้นทำให้สามารถเพิ่มเวลาการอัดย้ำเพื่อลดการหดตัวของชิ้นงานได้[7] และปัจจัยที่มีผลมากต่อการหดตัวคือความดันอัดย้ำและอุณหภูมิหลอมเหลว [8] จากงานวิจัยของพิชัยและคณะ[9] ได้ศึกษาถึงชนิดของทางเข้าซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของทางเข้ามีผลต่อการหดตัวของชิ้นงานเนื่องจากความแตกต่างของอัตราเฉือนที่มีผลต่ออุณหภูมิที่ทางเข้าและชิ้นงาน

7. สรุป

การหดตัวของพลาสติกเกิดขึ้นเมื่อพลาสติกเริ่มเย็นตัวเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ อย่างไรก็ตามการออกแบบแม่พิมพ์เพื่อชดเชยการหดตัวเป็นสิ่งที่ทำได้ การออกแบบทางน้ำหล่อเย็นควรพิจารณาการหดตัวของพลาสติกร่วมด้วย ซึ่งการหล่อเย็นที่มีประสิทธิภาพดีไม่ได้ส่งผลในการลดอัตราการหดตัวของพลาสติก จะเป็นการง่ายขึ้นถ้าผู้ออกแบบใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์การฉีดช่วยในการพิจารณาในประเด็นดังกล่าวควบคู่กันไป การเลือกชนิดทางเข้าและขนาดทางเข้ามีผลต่อเวลาการแข็งตัวของทางเข้าโดยการอัดย้ำเพื่อชดเชยการหดตัวของพลาสติกจะทำได้ก่อนการแข็งตัวของทางเข้าเท่านั้น หลังจากนั้นจะเป็นการหดตัวในแม่พิมพ์ อีกหนทางหนึ่งที่สามารถลดการหดตัวของพลาสติกคือการเพิ่มแรงดันทั้งแรงดันในการฉีดและแรงดันในการอัดย้ำดังที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ของ PvT ในข้างต้น

8. เอกสารอ้างอิง

[1] P.K. Kenned, "Practical and Scientific Aspects of Injection Molding Simulation," M.S. Thesis 2008, Technische Universities Eindhoven Netherlands, ISBN 978-90-386-1275-1, ISBN 978-90-386-1275-1.

[2] O. David Kazmer, "Injection Mold Design Engineering, Hanser, " Cincinnati, pp.7-12, 2007.

[3] Demirer, Y. Soydan and A.O. Kapti, "An experimental investigation of the effects of hot runner system on injection moulding process in comparison with conventional runner system," Materials and Design, Vol.28, pp.1467–1476, 2007.

[4] H. Hassan, N. Regnier, C. Pujos, E. Arquis and G. Defaye, "Modeling the effect of cooling system on the shrinkage and temperature of the polymer by injection molding," Applied Thermal Eng., Vol.30, No.13., pp.1547-1557, Sept., 2010.

[5] Z. Tedmor and C. G.Gogos, "Principle of Polymer Processing, " John Wiley & Sons, pp.13, 1979.

[6] R. A. Malloy, "Plastic past design for injection molding," Hanser Verlag, New York, pp.20, 1994.

[7] G. Hu and Z. Cui, "Effect of packing parameters and gate size on shrinkage of aspheric lens parts," J. Shanghai Jiaotong Uni. (Science), Vol.15, No.1., pp. 84-87, 2010.

[8] K. M. B. Jansen, D. J. Van Dijk and M. H. Husselman, "Effect of processing conditions on shrinkage in injection molding," Polymer Eng. & Sci.,Vol. 38, No.5., pp 838–846, 1998.

[9] พิชัย เล็กโล่ง, วิภู ศรีสืบสาย, "การวิเคราะห์อิทธิพลของชนิดทางเข้าและความเร็วฉีดที่มีต่อการหดตัวของชิ้นงานฉีดชนิดโพลีเอททีลีนชนิดความหนาแน่นสูง," ประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ 2554.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้