สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การหดตัวและการโก่งตัวของชิ้นงาน (Shrinkage and Warpage)

2.1 ความรู้เบื้องต้นการหดตัวและการโก่งตัว (Shrinkage and Warpage)

ในบทนี้จะทำการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะในการขึ้นรูปชิ้นงาน (Process Condition) ต่อการหดตัวของชิ้นงาน (Shrinkage)

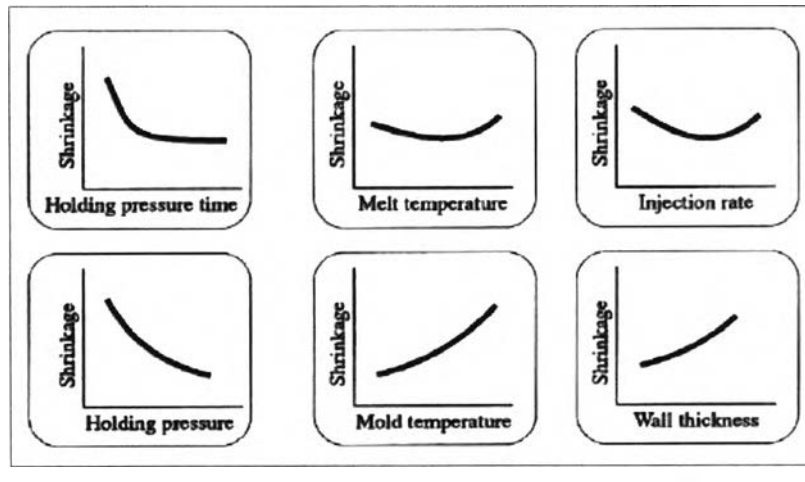
2.1.1) การหดตัวและการโก่งตัวของชิ้นงาน

การหดตัวของชิ้นงาน (Shrinkage) คือ การที่ชิ้นงานมีขนาดเล็กลงตามขนาดรูปทรงทางเรขาคณิต ซึ่งจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดของชิ้นงาน ถ้าการหดตัวของชิ้นงานเป็นลักษณะที่สม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน เป็นผลให้ชิ้นงานจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

การโก่งตัวของชิ้นงาน (Warpage) เป็นผลมาจากการที่การหดตัวของชิ้นงานไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน บริเวณใดก็ตามของชิ้นงานเมื่อการหดตัวไม่สม่ำเสมอจะทำให้เกิดความเค้นตกค้างภายในชิ้นงาน (Residual Stress) (จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติความแข็ง (Stiffness) ของชิ้นงาน) เป็นผลให้ชิ้นงานมีรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงไปและจะเกิดการแตกร้าวขึ้น เมื่อใช้งานไปนานๆ

2.1.2) การหดตัวและสภาวะในการขึ้นรูปชิ้นงาน

การหดตัวของชิ้นงานและการโก่งตัวของชิ้นงาน เป็นผลเนื่องมาจากสภาวะในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน แสดงดังรูป 2.1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะต่างๆ ต่อการหดตัวของชิ้นงาน



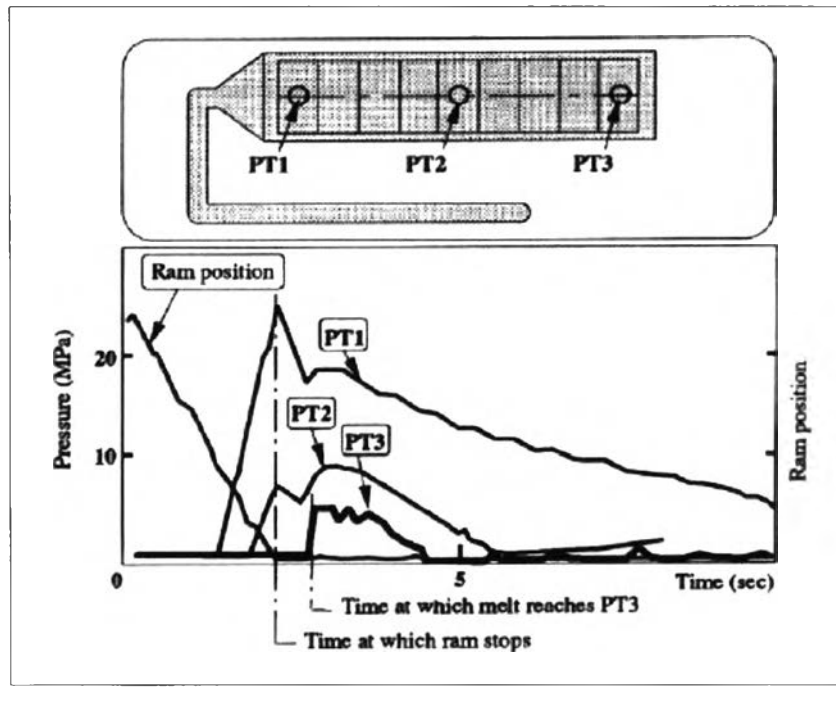
รูป 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะต่างๆ ต่อการหดตัวของชิ้นงาน [1]

จากรูป 2.1 จะเห็นว่า สภาวะหลักที่มีผลต่อการหดตัวของชิ้นงานคือ เวลาในการรักษาความดันและแรงดันแก๊ส เมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นการหดตัวของชิ้นงานจะลดลง ส่วนอุณหภูมิแม่พิมพ์และความหนาของชิ้นงาน เมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นการหดตัวของชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นตาม [2]

2.1.3) การฉีดและการอัดแน่นพลาสติกหลอมเข้าสู่แม่พิมพ์ (Mold Filling and Packing)

พลาสติกเมื่ออยู่ในสภาวะที่หลอมเหลวแล้วสามารถที่จะอัดตัวได้ เมื่อได้รับแรงดันในขณะกำลังฉีดพลาสติกหลอมเข้าสู่แม่พิมพ์ (Injection Molding) เมื่อแรม (Ram: เครื่องชี้วัดระยะทางการเคลื่อนที่ของกระบอกฉีดในเครื่องฉีด) เคลื่อนที่ไปข้างหน้า พลาสติกหลอมที่อยู่ในกระบอกฉีดจะถูกอัดและเคลื่อนที่ด้วยอัตราการไหลที่เข้าสู่แม่พิมพ์ในอัตราที่น้อยกว่าการชี้วัดด้วยแรม โดยที่แรมจะเคลื่อนที่ช้าลงเมื่อพลาสติกหลอมขยายตัวภายใต้แรงดันที่กระทำ

การอัดตัวได้ของพลาสติกหลอมเกิดจากสภาวะช่วงต่อระหว่างการฉีดและการบรรจุ (Mold Filling to Packing) กระบวนการฉีดพลาสติกหลอมแบ่งเป็น 2 ช่วงการทำงานที่ต่อเนื่องกัน โดยช่วงแรกคือขั้นตอนการฉีดพลาสติกหลอมเข้าสู่แม่พิมพ์ และช่วงต่อไปคือช่วงของการพักแก๊สด้วยแรงดัน (Gas Holding)



รูป 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งแรม (Ram) และแรงดัน [1]

จากการทดลองดังรูป 2.2 พบว่าเวลาที่แรมเริ่มเคลื่อนที่จนกระทั่งหยุดนิ่งมีค่าไม่เท่ากัน ระยะเวลาที่พลาสติกหลอมเริ่มเข้าสู่แม่พิมพ์ (PT1) จนกระทั่งเต็มแม่พิมพ์ (PT3) สาเหตุเนื่องจากสัมประสิทธิ์การหดตัวของพลาสติกช่วงการหน่วงของเวลาระหว่างระยะทางของแรมและการเคลื่อนตัวของพลาสติกหลอม โดยในความเป็น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จริงเมื่อฉีดพลาสติกหลอมเข้าสู่แม่พิมพ์และจะทำการรักษาความดันต่อเนื่องกันไป ซึ่งขั้นตอนนี้จริงๆแล้วจะเกิดขึ้นก่อนที่พลาสติกหลอมจะเต็มแม่พิมพ์เสียอีก

2.1.4) แรงดันและเวลามีผลต่อการหดตัวของชิ้นงาน

แรงดันมีผลต่อการหดตัวของพลาสติกหลอมภายในแม่พิมพ์ แต่ไม่ใช่การกระทำของแรงดันต่อพลาสติกหลอมภายใต้การควบคุมจากเครื่องฉีดเท่านั้น แต่ขึ้นกับความหนืดของพลาสติกหลอมและรูปทรงทางเรขาคณิตของแม่พิมพ์ด้วย โดยพื้นที่สำคัญ 2 ตำแหน่งคือการปิดของช่องทางเข้าแม่พิมพ์ของพลาสติกหลอมและที่ปลายทางการไหล

2.1.4.1) การหดตัวใกล้ช่องทางเข้าแม่พิมพ์ (Shrinkage near the Gate)

บริเวณพื้นที่ใกล้ช่องทางเข้าแม่พิมพ์จะง่ายต่อการถูกแรงดันกระทำ มากกว่าบริเวณปลายทางการไหลของพลาสติกหลอม ซึ่งจะเกิดความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน, เวลา และการหดตัวของพลาสติก

เมื่อให้แรงดันเพื่อใช้ในการรักษาความดัน (Holding Pressure) สูงส่งผลให้การหดตัวของพลาสติกหลอมมีค่าน้อยกว่าการใช้แรงดันเพื่อการรักษาความดันต่ำ ซึ่งต้องรักษาแรงดันไว้จนกระทั่งพลาสติกหลอมบริเวณทางเข้าแม่พิมพ์ (Gate) แข็งตัว ในกรณีนี้ค่าการหดตัวรอบๆ ทางเข้าแม่พิมพ์จะมีค่าน้อยกว่าที่บริเวณปลายทางการไหลของพลาสติกหลอม แต่กรณีที่ไม่มีการรักษาความดัน (Holding Pressure) เมื่อบริเวณทางเข้าแม่พิมพ์ (Gate) เกิดการแข็งตัว เมื่อนั้นแรงดันภายในแม่พิมพ์จะไหลย้อนกลับออกมาจากระบบทางวิ่ง (Runner System) ผลคือจะเกิดการหดตัวของพลาสติกหลอมอย่างมากรอบๆ บริเวณทางเข้าแม่พิมพ์ (Gate)

2.1.4.2) การหดตัวที่ตำแหน่งสิ้นสุดการไหลของพลาสติกหลอม

แรงดันที่เหมาะสมในการพาพลาสติกหลอมจนเต็มแม่พิมพ์ ขึ้นกับรูปทรงทางเรขาคณิตของแม่พิมพ์ (ชิ้นงาน) , ความหนืดและเวลาที่พลาสติกหลอมเต็มแม่พิมพ์ ผลจากการใช้แรงดันสูงๆ เพื่อการรักษาความดัน (Holding Pressure) เป็นผลให้ในช่วงแรกความดันจะกระจายเข้าสู่แม่พิมพ์อย่างรวดเร็วและจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ส่วนผลจากการใช้แรงดันต่ำๆ เพื่อการรักษาความดัน ผลที่เกิดขึ้นจะตรงข้ามกับกรณีที่ใช้แรงดันสูง อัตราการไหลของพลาสติกหลอมในช่วงแรกจะมีค่าน้อยกว่ากรณีของการใช้แรงดันสูง ดังนั้นชั้นความแข็ง (Frozen layer) จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามการเย็นตัวของพลาสติกหลอมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ซึ่งมีผลกระทบมากกว่ากรณีที่ใช้แรงดันสูง

2.1.5) การไหลของพลาสติกหลอมที่ความร้อนไม่คงที่

การไหลของพลาสติกหลอมจะเกิดแรงต้านทานการไหลจากตัวของพลาสติกเองขึ้น นั่นคือเมื่อพลาสติกหลอมเคลื่อนที่เป็นผลให้ความร้อนเกิดการถ่ายเทสู่แม่พิมพ์ นั่นคือจะเกิดชั้นแข็ง (Frozen layer) ของพลาสติกหลอมขึ้น

บริเวณจุดสำคัญ 2 แห่งที่ส่งผลกระทบต่อการโก่งตัวของชิ้นงานคือ บริเวณพื้นที่ตรงข้ามกับสลัก (Sprue) และจุดที่เป็นมุมของชิ้นงาน พลาสติกหลอมเหลวจะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลที่สลัก (Sprue) ส่งผลให้คุณสมบัติในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานลดลง เนื่องจากทิศทางการไหลของพลาสติกหลอมเปลี่ยน แปลงไป ซึ่งแรงกระทำที่ว่านี้มาจากผิวด้านตรงข้ามของสลัก (Sprue) และผลจากการไหลของพลาสติกหลอมที่ไม่สมมาตร โดยผลที่เกิดขึ้นจะส่งผลในลักษณะเดียวกันกับบริเวณที่เป็นมุมของชิ้นงาน

2.2 ปัจจัยพื้นฐานของการหดตัวและการโก่งตัวของชิ้นงาน

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของสาเหตุในการหดตัวและการโก่งตัวของชิ้นงาน แทนที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวของชิ้นงานกับสภาวะต่างๆในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน เราจะศึกษาถึงสภาวะพื้นฐานที่มีผลต่อการหดตัว ซึ่งสภาวะในที่นี้คือปริมาตรหรือขนาดของชิ้นงาน, ปริมาณผลึกของโพลิเมอร์, การผ่อนคลายความเค้น (Stress Relaxation) และทิศทางการไหลของพลาสติกหลอม (Orientation) ซึ่งสภาวะเหล่านี้จะบ่งบอกถึงสาเหตุของการหดตัวและการโก่งตัว

2.2.1) สาเหตุของการหดตัว

การหดตัวของพลาสติกนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของพลาสติกหลอม จากสถานะหลอมเหลวเข้าสู่สถานะการแข็งตัวของพลาสติกหลอม ซึ่งการหดตัวสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ การหดตัวเชิงปริมาตร (Volumetric Shrinkage) และการหดตัวเชิงเส้น (Linear Shrinkage)

2.2.1.1) การหดตัวเชิงปริมาตร (Volumetric Shrinkage)

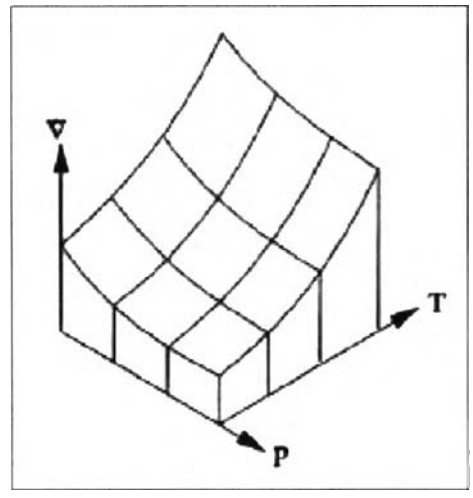
เป็นที่เข้าใจกันว่าสิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นอันดับแรกของการหดตัวของชิ้นงานคือ การหดตัวเชิงปริมาตร โดยได้กล่าวไว้ว่า

"วัสดุที่เป็นพลาสติกทุกชนิดจะมีการหดตัวเชิงปริมาตรที่สูง เมื่อเย็นตัวลงจะทำการเปลี่ยนสถานะจากหลอมเหลวสู่สถานะการแข็งตัว โดยปราศจากแรงดัน การหดตัวของพลาสติกจะเกิดขึ้นประมาณ 25% ซึ่งชิ้นงานพลาสติกไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงเหตุนี้ได้ ในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการฉีด โดยใช้แรงดันสูงจุดประสงค์เพื่อลดการหดตัวเชิงปริมาตรของชิ้นงาน แต่ไม่ได้หมายความว่าจะไม่เกิดการหดตัวขึ้นเลย"

2.2.1.1.1) แรงดันการฉีดพลาสติกหลอม (Pressure)

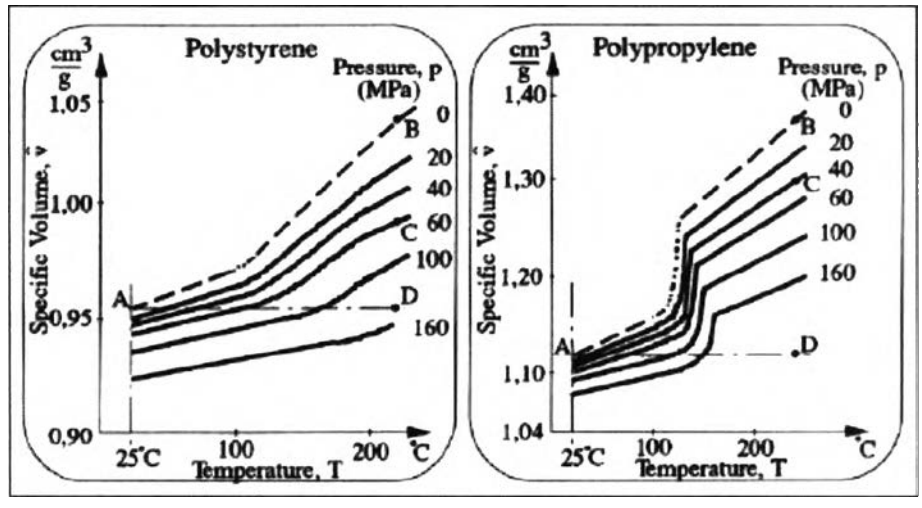
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน, ปริมาตร และอุณหภูมิ ของวัสดุที่เป็นพลาสติกสามารถดูได้จากกราฟความสัมพันธ์ PVT ไดอะแกรม

รูป 2.3 เป็นตัวอย่าง PVT ไดอะแกรม ความสัมพันธ์ของปริมาตรจำเพาะ (v), ความดัน (P) และอุณหภูมิ (T)



รูป 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน (P), ปริมาตร (V) และอุณหภูมิ (T) [1]

จาก PVT ไดอะแกรมเมื่อทำการฉายภาพความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume) กับแกนอุณหภูมิของพลาสติกที่มีโครงสร้างแบบอสัญฐาน (Amorphous) และโครงสร้างแบบผลึก (Crystalline) แสดงดังรูป 2.4



รูป 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรจำเพาะและอุณหภูมิของพลาสติกอสัญฐาน และพลาสติกที่มีผลึก [1]

จากกราฟจะเห็นว่าแรงดันที่ใช้ในกระบวนการฉีด จะส่งผลให้การหดตัวเชิงปริมาตรของชิ้นงานลดลง พิจารณาที่จุด A, B และ C ดังรูป 2.4 ที่จุด A แสดงถึงปริมาตรจำเพาะที่อุณหภูมิและแรงดันในสภาวะบรรยากาศ, จุด B แสดงถึงปริมาตรจำเพาะกับอุณหภูมิของแม่พิมพ์ และจุด C แสดงถึงปริมาตรจำเพาะเมื่อมีแรงดันในการฉีดและการรักษาความดัน (Holding Pressure) เส้นที่ลากผ่านจากจุด A ไปยังจุด D เรียกว่า

"Extrapolated Pressure Line" ซึ่งแสดงถึงแรงดันที่ต้องการ เพื่อป้องกันการเกิดการหดตัวของชิ้นงานจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่พลาสติกหลอมค่อยๆ เย็นตัวลงเป็นของแข็ง ซึ่งตามความเป็นจริงสภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะที่ไม่สามารถควบคุมได้

2.2.1.1.2) คุณสมบัติความเป็นผลึกของพลาสติก (Crystallinity)

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง PVT ไดอะแกรมโดยทั่วไปจะทำการวัดค่าต่างๆ ที่อุณหภูมิคงที่หรือที่อัตราการเย็นตัวของพลาสติกหลอมมีค่าน้อยมากๆ ซึ่งภายใต้สภาวะดังกล่าวผลึกจะเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ ค่าการหดตัวเชิงปริมาตรที่ได้จาก PVT ไดอะแกรมเรียกว่า "ค่าการหดตัวเชิงปริมาตรที่สภาวะสมดุลย์ (Equilibrium Volumetric Shrinkage)"

ทั้งอัตราการเย็นตัวและระดับทิศทางการไหลของพลาสติกหลอมจะส่งผลต่อปริมาณของผลึกที่จะเกิดขึ้น ซึ่งเป็นการยากลำบากที่จะทำให้ได้สภาวะตาม PVT ไดอะแกรมที่อัตราการเย็นตัวสูงๆ แต่สามารถนำค่าต่างๆ ใน PVT ไดอะแกรมมาเป็นแนวทางในการปรับสภาวะต่างๆในการขึ้นรูปชิ้นงานได้

2.2.1.2) ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวเชิงเส้นและเชิงปริมาตร

การหดตัวเชิงเส้นเป็นส่วนหนึ่งของการหดตัวเชิงปริมาตร ถ้าพลาสติกเกิดการหดตัวอย่างอิสระในทุกทิศทาง การหดตัวเชิงเส้นสามารถประมาณค่าได้เท่ากับ 1 ใน 3 ของการหดตัวเชิงปริมาตร แต่กรณีที่การหดตัวของชิ้นงานไม่เป็นไปอย่างอิสระ ความสัมพันธ์ของการหดตัวเชิงเส้นและเชิงปริมาตร จะขึ้นอยู่กับสภาวะของแรงดัน (Pressure), อุณหภูมิ (Temperature) และระดับการเกิดผลึก (Crystallinity level)

จากการหดตัวเชิงปริมาตรสามารถแบ่งเป็นการหดตัวเชิงเส้นได้ 3 ทิศทางคือ

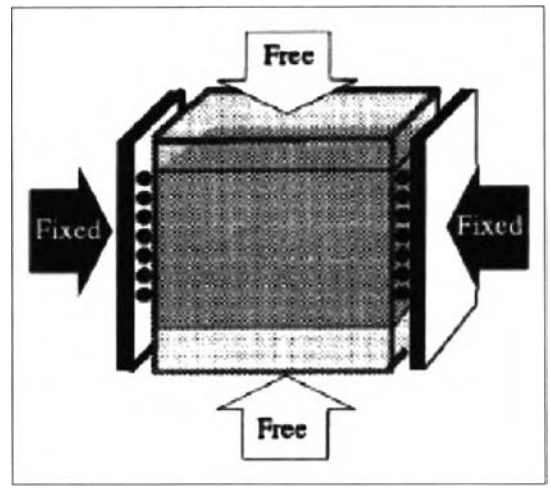
1.) การหดตัวเชิงเส้นในทิศทางของความหนา (Thickness Direction)
2.) การหดตัวเชิงเส้นในทิศทางขนานกับการไหล (Parallel to Flow)
3.) การหดตัวเชิงเส้นในทิศทางตั้งฉากการไหล (Perpendicular to Flow)

ซึ่งการหดตัวเชิงเส้นในทิศทางใดจะแสดงผลมากกว่ากันนั้น ขึ้นกับค่าการผ่อนคลายความเค้น (Stress Relaxation) และทิศทางการไหลของพลาสติกหลอม (Orientation) เป็นหลัก

2.2.1.2.1) การผ่อนคลายความเค้น (Stress Relaxation)

การหดตัวของพลาสติกหลอมภายในแม่พิมพ์ ส่งผลกระทบต่อการหดตัวเชิงเส้นในสองทิศทางหรือในระนาบหนึ่งๆ ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่า 1 ใน 3 ของการหดตัวเชิงปริมาตร โดยการหดตัวนั้นจะเป็นไปในทิศทางความหนาของชิ้นงาน แสดงดังรูป 2.5 และจากการหดตัวที่ไม่เป็นอิสระของพลาสติกหลอมจึงก่อให้เกิดความเค้นขึ้นภายในชิ้นงาน อันจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน การผ่อนคลายความเค้นภายในชิ้นงานขึ้นกับคุณสมบัติการผ่อนคลายของพลาสติกแต่ละชนิด และความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของ

ชิ้นงานซึ่งควบคุมโดยแม่พิมพ์ ชิ้นงานจะเกิดการผ่อนคลายความเค้น เมื่ออุณหภูมิของชิ้นงานค่อยๆ ลดลง (Cooling) จนชิ้นงานไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอีก โดยอุณหภูมิของพลาสติกหลอมที่สูงกว่าจะมีค่าความเค้นที่มากกว่า



รูป 2.5 แสดงทิศทางการหดตัวของชิ้นงานภายในแม่พิมพ์ [1]

อัตราการเย็นตัวของชิ้นงานจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการผ่อนคลายความเค้นของชิ้นงาน ซึ่งการผ่อนคลายความเค้นลงอย่างช้าๆ ของพลาสติกหลอม ส่งผลให้ความต้านทานต่อการล้า (Creep) เพิ่มขึ้น

พลาสติกที่มีอัตราการผ่อนคลายความเค้นลงอย่างรวดเร็ว จะทำให้ชิ้นงานมีขนาดตรงกับขนาดของแม่พิมพ์ และยังส่งผลให้การหดตัวเชิงเส้นมีค่าต่ำ นั่นคือการหดตัวของชิ้นงานจะเป็นลักษณะการหดตัวเชิงปริมาตร แต่จะส่งผลให้ความต้านทานต่อการล้า (Creep) มีค่าลดลง

2.2.1.2.2) ทิศทางการไหล (Orientation)

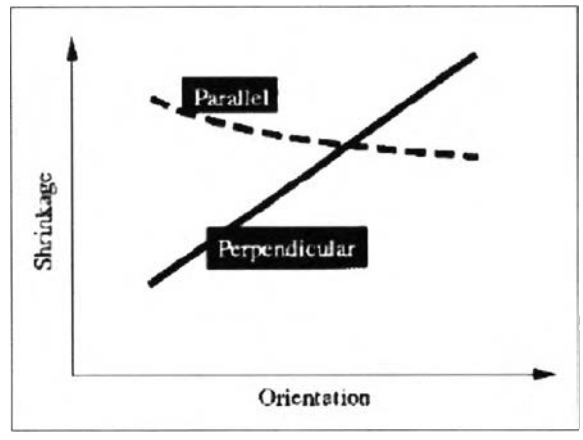
ทิศทางการไหลเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การหดตัวของพลาสติกแตกต่างกัน ทั้งในแนวขนานและแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหลของพลาสติกหลอม ทิศทางการไหลของโมเลกุลที่มีสายโซ่ยาวๆ จะง่ายต่อการทำความเข้าใจ สิ่งแรกที่เกิดขึ้นจากการไหลของโมเลกุลก็คือแรงเฉือน ที่อุณหภูมิสูงๆ โมเลกุลจะเคลื่อนไหวอยู่เสมอ เพื่อเป็นการผ่อนคลาย (Relax) จึงทำให้เกิดการไหลขึ้น ดังนั้นถ้าความเค้นเฉือนของพลาสติกลดลงหรือหายไป แสดงว่าพลาสติกนั้นกลับไปยังสภาวะที่ไม่มีการไหล

ปัจจัยทั้ง 2 สิ่งที่มีอิทธิพลต่อการหดตัวและการโก่งตัวของชิ้นงานคือทิศทางการไหลและการหดตัวเชิงเส้น โดยทั่วไปพลาสติกหลอมจะไหลไปในทิศทางที่ทำให้เกิดการผ่อนคลายและหดตัวในทิศทางการไหลมากกว่าทิศทางแนวตั้งฉากการไหล สำหรับพลาสติกที่มีผลึกการรักษาความดันในทิศทางที่ตั้งฉากการ

ไหล การหดตัวในแนวตั้งฉากการไหลจะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการหดตัวในทิศทางการไหล จากผลดังกล่าวทำให้เกิดแรงเฉือน จนก่อให้เกิดกระบวนการสร้างผลึกขึ้น และพลาสติกที่มีส่วนผสมของเส้นใยเสริมแรง (Fiber Reinforce Material) ทิศทางของเส้นใยก็มีความสำคัญต่อทิศทางการไหลของโมเลกุล

<u>ทิศทางการไหลและแรงเฉือนก่อให้เกิดผลึก</u>

กรณีศึกษาโดยใช้พลาสติกโพลิโพรไพลีน (Polypropylene: PP) ซึ่งมีค่าการหดตัวในทิศทางการไหลสูงขณะที่ระดับทิศทางการไหลต่ำ (Level of Orientation) เพราะแรงเฉือนก่อให้เกิดผลึกเป็นสำคัญ ที่ระดับทิศทางการไหลที่สูงผลจะทำให้การหดตัวในทิศทางตั้งฉากกับการไหลมีค่าสูงกว่า แสดงดังรูป 2.6



รูป 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวและทิศทางการไหลของพลาสติกหลอม [1]

2.2.1.3) สรุป

จากที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังนี้

1.) การหดตัวเชิงปริมาตรก่อให้เกิดการหดตัวเชิงเส้น

2.) การหดตัวเชิงปริมาตรเป็นผลมาจากหลายปัจจัยเช่นแรงดัน, อุณหภูมิ, ความมีผลึกของพลาสติกและอัตราการเย็นตัวของชิ้นงานอีกด้วย

3.) การหดตัวเชิงปริมาตร ก่อให้เกิดการหดตัวเชิงเส้นใน 3 แกนคือ ในทิศทางความหนา, ทิศทางตามแนวการไหลและทิศทางตั้งฉากกับการไหล

4.) การหดตัวเชิงปริมาตรและเชิงเส้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการผ่อนคลายของวัสดุและผลจากทิศทางการไหล

2.2.2) สาเหตุที่ก่อให้เกิดการโก่งตัวของชิ้นงาน

การโก่งตัวของชิ้นงานเกิดจากการหดตัวตลอดทั้งหมดของชิ้นงานที่ไม่สม่ำเสมอ โดยที่การหดตัวอย่างอิสระของชิ้นงานจะไม่ก่อให้เกิดการโก่งตัวขึ้น แต่ทุกๆจุดในแม่พิมพ์จะส่งผลต่อการหดตัวของชิ้นงานไม่ว่าจะเป็นการหดตัวในแนวขนานกับการไหลหรือตั้งฉากกับการไหลก็ตาม

ในการพิจารณาการหดตัวที่เป็นสาเหตุของการโก่งตัว ซึ่งเป็นความจำเป็นที่จะต้องศึกษาผลของการหดตัวทั้ง 3 ชนิดคือ

1.) ผลจากทิศทางการไหล (Orientation effect)

2.) ผลจากพื้นที่การหดตัว (Area Shrinkage effect)

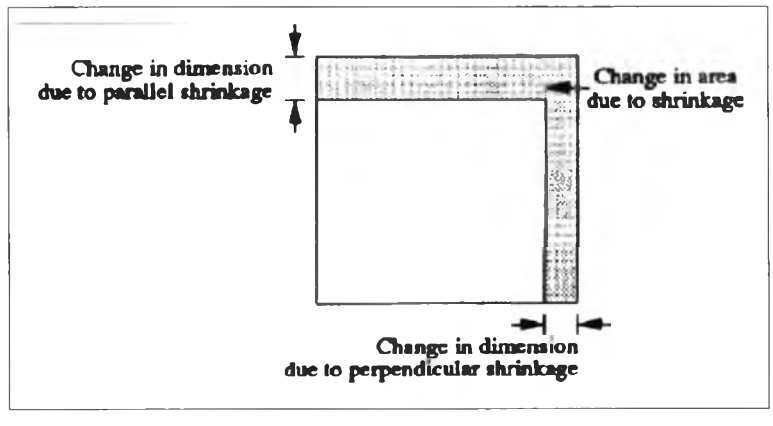
3.) ผลจากความแตกต่างของอุณหภูมิการหล่อเย็น (Differential Cooling effect)

2.2.2.1) ผลจากทิศทางการไหล

ผลจากทิศทางการไหลเกิดจากความแตกต่างระหว่างการหดตัวในแนวขนานการไหลและแนวตั้งฉากการไหลของพลาสติกหลอม ซึ่งความแตกต่างของการหดตัวจะเกิดขึ้นบนพื้นที่ของชิ้นงานบางส่วนเท่านั้น

2.2.2.2) ผลจากพื้นที่การหดตัว

สำหรับการเปรียบเทียบการหดตัวจากพื้นที่ต่อพื้นที่ของชิ้นงานนั้น พื้นที่การหดตัวจะถูกนำมาพิจารณา นิยามของพื้นที่การหดตัวคือ พื้นที่ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งการหดตัวในแนวขนานการไหลและแนวตั้งฉากการไหล ดังแสดงรูป 2.7



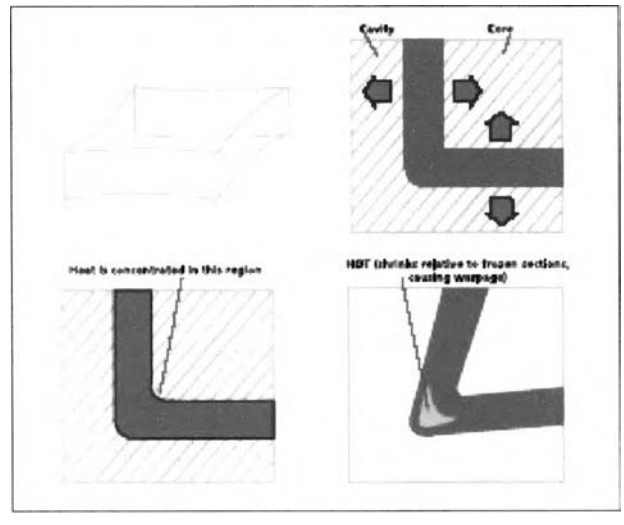
รูป 2.7 แสดงผลจากพื้นที่การหดตัว (Area Shrinkage) [1]

พื้นที่การหดตัว (Area Shrinkage) สามารถใช้เปรียบเทียบความแตกต่างในการหดตัวระหว่างพื้นที่ของชิ้นงานกับพื้นที่ของแม่พิมพ์ ขณะที่ผลจากทิศทางการไหล (Orientation effect) สามารถที่จะใช้ในการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการหดตัว จากทิศทางการไหลที่ต่างกันบนพื้นที่ที่พิจารณา [1]

2.2.2.3) ผลจากอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

การโก่งตัวของชิ้นงานสามารถเกิดขึ้นจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ตัวอย่างคือความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวที่อยู่ตรงข้ามของแม่พิมพ์ การนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์อาจจะแบนราบอย่างสมบูรณ์หลังจากการเย็นตัวของชิ้นงานที่อุณหภูมิสม่ำเสมอภายหลังการดันปลดของแม่พิมพ์ (Ejector) ความแตกต่างจากการงอของชิ้นงานทั้งสองด้านก็คือการโก่งตัว (Warpage)

ผลทำนองเดียวกันนี้อาจเกิดขึ้นกับชิ้นงานส่วนที่หนาและบางได้ มันเป็นการดีที่จะรู้ว่าชิ้นงานส่วนที่หนาหรือบางเป็นอุปสรรคต่อพลาสติกที่มีโครงสร้างเป็นผลึก (Crystalline Material) เพราะจะทำให้เกิดการหดตัวที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามปัญหาแบบเดียวกันนี้ก็สามารถที่จะเกิดขึ้นกับพลาสติกที่เป็นอสัญฐาน (Amorphous Material) การหดตัวที่แตกต่างกันระหว่างส่วนที่หนาและบางจะเกิดจากความเค้นภายในชิ้นงานที่แตกต่างกัน โดยชิ้นงานที่หนากว่าจะมีความร้อนสะสมภายในมากกว่า และพื้นที่ที่มีความร้อนมากกว่าจะใช้เวลาในการระบายความร้อนที่มากกว่าพื้นที่ส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้การหดตัวของชิ้นงานแตกต่างกัน แสดงดังรูป 2.8



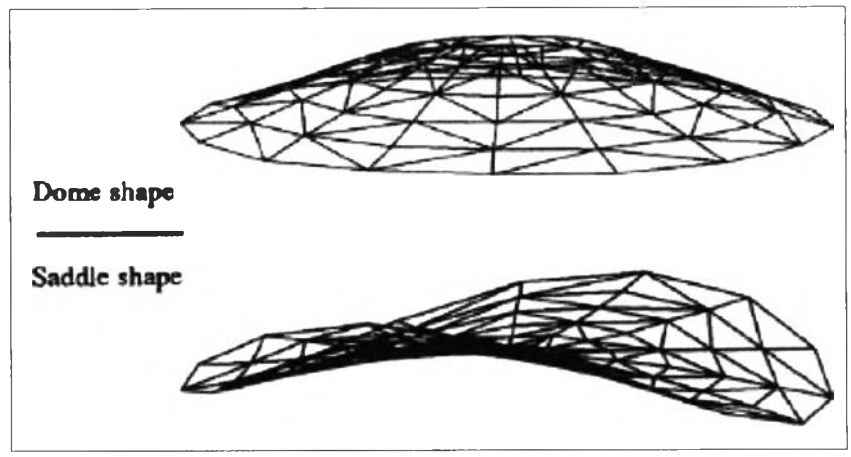
รูป 2.8 แสดงการโก่งตัวของชิ้นงานที่อุณหภูมิแตกต่างกัน [1]

2.2.3) ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการไหลและพื้นที่การหดตัวต่อการโก่งตัว (Relating Orientation and Area Shrinkage to Warpage)

การหดตัวที่ไม่สม่ำเสมอเป็นแรงขับดันให้เกิดการโก่งตัว ซึ่งเกิดจากความต้านทานในการเปลี่ยนรูปร่างของชิ้นงาน (ความแข็งแรงของชิ้นงาน (Geometric Stiffness)) เมื่อชิ้นงานมีความแข็งมากการหดตัวจะไม่ส่งผลต่อ

การโก่งตัวแต่จะมีผลต่อความเค้นตกค้างภายในชิ้นงานที่สูง ถ้าชิ้นงานมีความแข็งลดลงการหดตัวอาจก่อให้เกิดการโก่งตัวได้แต่ก็จะทำให้ความเค้นตกค้างภายในชิ้นงานลดลง

ผลสำคัญที่เกิดขึ้น 2 อย่างจากผลของทิศทางการไหล และพื้นที่การหดตัว ซึ่งจะอธิบายด้วยแผ่นดิสก์ที่มีทางเข้าแม่พิมพ์ (Gate) อยู่ที่จุดศูนย์กลาง การเปลี่ยนแปลงนี้แสดงดังรูป 2.9



รูป 2.9 แสดงการโก่งตัวของแผ่นดิสก์ชนิดโดมและอานม้า [1]

จากรูปที่ 2.9 สามารถอธิบายผลที่เกิดขึ้นจากแม่พิมพ์ โดยเรียกว่าการโก่งตัวแบบโดมและการโก่งตัวแบบอานม้า (Dome and Saddle Warpage)

รูปร่างแบบโดมจะเกิดขึ้น เมื่อพื้นที่การหดตัวของผิวภายนอกของแผ่นดิสก์มีค่าสูงกว่าพื้นที่การหดตัวของผิวภายในชิ้นงาน เป็นผลให้เส้นรอบวงของโดมมีขนาดที่เล็กลง ซึ่งผลที่เกิดขึ้นอาจมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลของพลาสติกหลอมด้วย สรุปว่าการไหลในทิศทางแนวรัศมี, การหดตัวในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหลจะมีค่าสูงกว่าการหดตัวในแนวขนานกับทิศทางการไหล ซึ่งจะได้ชิ้นงานเป็นรูปโดม (Dome Shape)

รูปร่างแบบอานม้าเกิดขึ้นจากเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งคือ กรณีที่การหดตัวของพื้นที่ผิวภายในมีค่าสูงกว่าพื้นที่ผิวภายนอก หรือการหดตัวในแนวตั้งฉากกับการไหลมีค่าน้อยกว่าการหดตัวในแนวขนานกับการไหล

สรุปคือ การหดตัวทั้งรูปร่างแบบโดมและอานม้าสามารถที่จะเกิดขึ้นได้ เมื่อการหดตัวนั้นมีผลจากการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลหรือการหดตัวจากพื้นที่การหดตัว (Area Shrinkage) อย่างใดอย่างหนึ่ง

2.3) <u>การออกแบบชิ้นงาน</u>

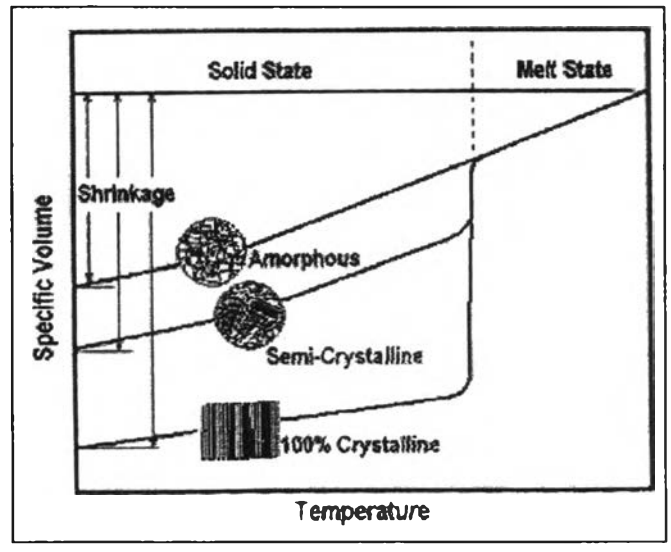
ผู้ออกแบบชิ้นงานและแม่พิมพ์ ต้องคำนึงถึงขนาดที่แน่นอนของชิ้นงานภายหลังจากกระบวนการฉีดขึ้นรูป จากปัจจัยต่างๆ คือ

1.) การเลือกใช้วัสดุ (Material selection)
2.) การเปลี่ยนแปลงความหนาของชิ้นงาน (Wall Thickness Variation)
3.) ตำแหน่งและขนาดของทางเข้าแม่พิมพ์ (Gate Position and Runner Dimension)
4.) สภาวะในการขึ้นรูปชิ้นงาน (Molding Condition)
5.) การออกแบบเส้นทางการหล่อเย็นแม่พิมพ์ (Cooling Line Layout)

2.3.1) การเลือกใช้วัสดุ

การเลือกใช้พลาสติกจะพิจารณาจากสภาวะมากมาย หนึ่งในจำนวนนั้นคือค่าการหดตัว (Shrinkage) เป็นที่แน่นอนว่าพลาสติกที่ทำการเลือก ต้องมีค่าการหดตัวต่ำและสม่ำเสมอเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีขนาดแน่นอนตามที่ต้องการ ซึ่งหนีไม่พ้นว่าพลาสติกชนิดนั้นจะต้องมีราคาแพง เป็นที่เข้าใจกันว่าค่าการหดตัวเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของพลาสติกที่แตกต่างกันตามแต่ละชนิด การออกแบบจึงเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละชนิดของพลาสติก

สาเหตุของการหดตัวคือ พฤติกรรมของพลาสติกต่ออุณหภูมิและความดันที่มีผลต่อปริมาตรจำเพาะ (Special Volume) ของโพลิเมอร์จำพวกเทอร์โมพลาสติก โดยเทอร์โมพลาสติกแบ่งเป็นโครงสร้างแบบมีผลึกและโครงสร้างแบบอสัญฐานซึ่งจะมีพฤติกรรมของความดัน-ปริมาตร-อุณหภูมิ (PVT Diagram) ที่ต่างกัน โดยเทอร์โมพลาสติกแบบโครงสร้างมีผลึก มีผลขององศาของความเป็นผลึก (Degree of Crystallinity) ซึ่งส่งผลต่อการหดตัวเป็นอย่างมาก จะสังเกตได้ง่ายจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรจำเพาะกับอุณหภูมิ แสดงดังรูป 2.10



รูป 2.10 แสดงแผนภาพแสดงปริมาตรจำเพาะและอุณหภูมิของเทอร์โมพลาสติก [3]

ในขณะที่เทอร์โมพลาสติกแบบอสัญฐานจะไม่เปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างชัดเจนเมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนปริมาตรมักมีการเปลี่ยนความยาวควบคู่กันไปด้วยในชิ้นงาน ส่งผลให้เกิดการโก่งงอตามมา นอกจากนี้สภาวะอื่นที่มีผลเช่น พลาสติกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีความหนืดสูงทำให้ในขั้นตอนที่ฉีดพลาสติกหลอมเข้าแม่พิมพ์ต้องใช้ความดันสูง เป็นผลให้ความดันในแม่พิมพ์ต่ำกว่าความดันที่ใช้ฉีดโพลิเมอร์หลอมและมีแนวโน้มที่อาจเกิดการหดตัวของชิ้นงานมากขึ้น

โดยการประยุกต์การหดตัวและการโก่งตัวให้เป็นหลักพื้นฐานในการออกแบบ ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในส่วนของพลาสติกและได้ขนาดของชิ้นงานที่ต้องการ

2.3.2) ความหนาของชิ้นงาน

การเปลี่ยนแปลงความหนาของชิ้นงานจะส่งผลต่อการหดตัวและคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน ในการออกแบบชิ้นงานผู้ออกแบบพยายามที่จะให้ความหนาของส่วนต่างๆ มีค่าเท่ากัน แต่ในความเป็นจริงเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพมากที่สุด จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงความหนา ซึ่งโดยส่วนใหญ่นักออกแบบผลิตภัณฑ์จะพยายามคงความหนาโครงสร้างหลักให้มีความหนาที่เท่ากัน จะมีเฉพาะบางจุดที่พิเศษเท่านั้นที่ความหนาเปลี่ยนแปลงไป

การเปลี่ยนแปลงความหนาจะส่งผลกระทบต่อทิศทางการไหลและพื้นที่การหดตัวของชิ้นงาน เมื่อความหนาเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปจะทำให้การเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลลดลงแต่พื้นที่การหดตัวจะเพิ่มขึ้น

2.3.2.1) พลาสติกที่มีโครงสร้างผลึก (Crystalline Material)

พลาสติกที่มีโครงสร้างเป็นผลึก การเปลี่ยนแปลงปริมาณของโครงผลึกจะส่งผลกระทบต่อส่วนสำคัญอื่นๆ ทั้งหมด ดังนั้นการเพิ่มความหนาจะทำให้พื้นที่การหดตัวมีค่าเพิ่มขึ้น

2.3.2.2) พลาสติกที่มีโครงสร้างอสัญฐาน (Amorphous Material)

พลาสติกอสัญฐานจะมีผลต่อการผ่อนคลาย (Relaxation) ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอัตราการเย็นตัว และอุณหภูมิของชิ้นงานขณะปลดออกจากแม่พิมพ์

ถ้าเวลาที่ชิ้นงานอยู่ภายในแม่พิมพ์นานมากขึ้น จะส่งผลให้พื้นที่การหดตัว (Area Shrinkage) ของชิ้นงานมีค่าลดลง ในทางตรงข้ามเมื่อเวลาที่ชิ้นงานอยู่ภายในแม่พิมพ์น้อย ชิ้นงานภายหลังการปลดออกจากแม่พิมพ์จะร้อน ผลกระทบของแม่พิมพ์ที่มีอิทธิพลต่อการหดตัวของชิ้นงานลดลง ทำให้การหดตัวของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสภาวะดังกล่าวนี้มีส่วนสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาของชิ้นงาน ถ้าชิ้นงานถูกปลดออกจากแม่พิมพ์ก่อนที่พื้นที่ส่วนที่หนาจะเย็นตัวลง ส่งผลให้การหดตัวระหว่างส่วนที่หนาและบางมีค่าเพิ่มขึ้น ท้ายสุดก็จะทำให้การโก่งตัวของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น

2.3.2.3) การใช้ความหนาควบคุมการหดตัวของชิ้นงานใกล้กับทางเข้าของพลาสติกหลอม (Using Wall Thickness to Control Shrinkage near Gates)

จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าพื้นที่รอบๆ ทางเข้าพลาสติกหลอม (Gate) จะมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางการไหลมากที่สุด ซึ่งการหดตัวจากทิศทางการไหลที่แตกต่างกันส่งผลให้เกิดแรงกระทำขึ้นระหว่างส่วนปลายของชิ้นงานและตำแหน่งทางเข้าพลาสติกหลอม ซึ่งอาจจะทำให้ชิ้นงานเกิดการโก่งตัว

ควมหนาที่เพิ่มขึ้นรอบๆ ทางเข้าพลาสติกหลอมจะลดระดับของทิศางการไหล (Level of Orientation) และลดการโก่งตัวจากผลของการเปลี่ยนแปลงการไหล แต่จะส่งผลให้พื้นที่ในการหดตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะทำให้การโก่งตัวของชิ้นงานเพิ่มขึ้น จากความแตกต่างของพื้นที่การหดตัว

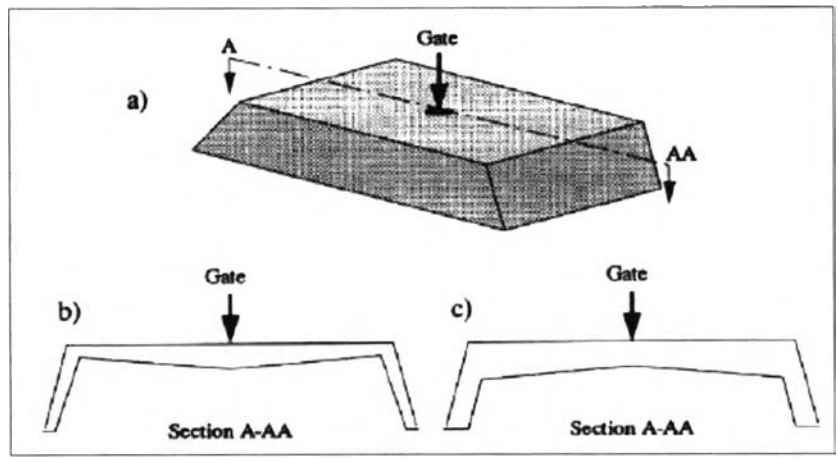
ถ้าพื้นที่รอบๆ ทางเข้าพลาสติกหลอมมีความหนาเพิ่มขึ้น และพื้นที่ที่ส่วนปลายทางการไหลมีค่าเพิ่มขึ้น พื้นที่การหดตัวจะสม่ำเสมอและการโก่งตัวจะลดลง

2.3.2.4) การใช้ความหนาควบคุมการหดตัวจากการเปลี่ยนแปลงการไหลและพื้นที่การหดตัว (Using Wall Thickness to Control Orientation and Area Shrinkage)

ถ้าส่วนสำคัญของการโก่งตัวเกิดการเพิ่มพื้นที่การโก่งตัว เมื่อชิ้นงานถูกทำให้หนาขึ้นในตอนปลายของชิ้นงานมากกว่าบริเวณทางเข้าพลาสติกหลอม

ถ้าส่วนสำคัญของการโก่งตัวคือทิศทางการไหล เมื่อชิ้นงานมีความหนามากกว่าจุดศูนย์กลางเพื่อลดการโก่งตัวจากพื้นที่การหดตัว (Area Shrinkage) เพราะว่าพลาสติกที่มีโครงสร้างผลึกจะเอนเอียงไปทางส่วนของพื้นที่การหดตัว และพลาสติกอสัญฐานจะเอนเอียงไปในส่วนของการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหล มีแนวความคิดที่จะใช้ความชันและความบางสำหรับทางเข้าพลาสติกหลอมที่มีโครงสร้างผลึก และมีความหนากว่าของทางเข้าพลาสติกหลอมสำหรับพลาสติกอสัญฐาน

หลักการเปลี่ยนแปลงความหนาสำหรับทั้งโพลิเมอร์อสัญฐานและโพลิเมอร์โครงสร้างผลึกอาจจะศึกษาโดยการอ้างอิงจากตัวอย่างกล่อง แสดงดังรูป 2.11(a)



รูป 2.11 แสดงการควบคุมการโก่งตัวของชิ้นงานด้วยความหนา [1]

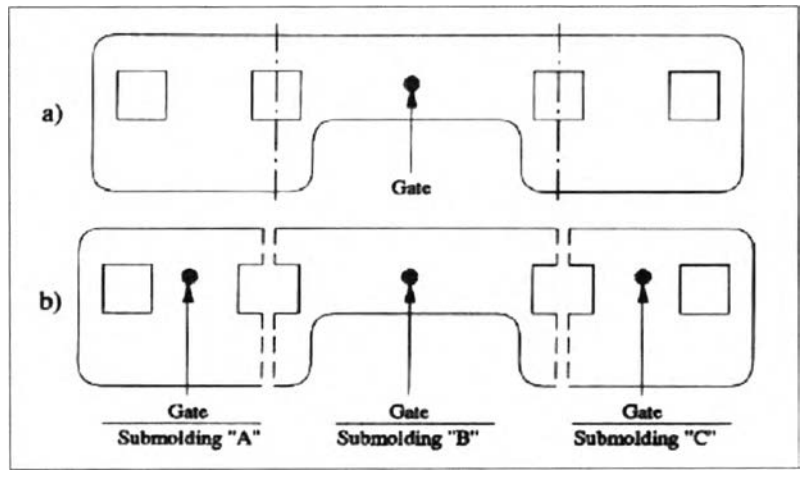
อันดับแรกจะทำการพิจารณาการโก่งตัวแบบอานม้า ซึ่งสามารถเกิดจากระดับของการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหล (Orientation Degree) หรือพื้นที่การหดตัว (Area Shrinkage) รอบๆ พื้นที่ทางเข้าของพลาสติกหลอมอย่างใดอย่างหนึ่ง

ถ้าการโก่งตัวเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหล ซึ่งจะเกิดขึ้นกับพลาสติกอสัญฐานเพื่อแก้ไขที่ต้องเพิ่มความหนารอบๆทางเข้าพลาสติกหลอม แสดงดังรูป 2.11(b)

ถ้าเกิดจากพื้นที่การหดตัว ซึ่งสามารถเกิดจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันในขั้นตอนการรักษาความดันหรือการเปลี่ยนแปลงในการเกิดผลึก ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการเพิ่มความหนาที่ตอนปลายของการไหล ถ้าเป็นไปได้ให้ควบคุมการไหลไปพร้อมกันด้วย แสดงดังรูป 2.11(c) โดยการแก้ไขปัญหาจากการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลจะตรงข้ามกับการแก้ไขจากพื้นที่การหดตัว (Area Shrinkage) [4]

2.3.3) ตำแหน่งทางเข้าและขนาดทางวิ่งพลาสติกหลอม

การออกแบบระบบการป้อนเป็นสภาวะสำคัญเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีขนาดที่แน่นอน ความคิดในการออกแบบเมื่อเริ่มต้นคือหาตำแหน่งที่เหมาะสม (ควรเป็นจุดศูนย์กลางของชิ้นงาน) สำหรับทางเข้าพลาสติกหลอมเพียงหนึ่งช่องทางเท่านั้น ถ้าหนึ่งทางเข้าไม่เหมาะสมต้องเพิ่มจำนวนทางเข้าโดยยึดหลักที่ปริมาตรไกล้เคียงกัน และทางเข้าพลาสติกหลอมอยู่ที่จุดศูนย์กลางของปริมาตร ซึ่งทางเข้าเชื่อมต่อกันด้วยระบบทางวิ่ง (Runner System) รูป 2.12



รูป 2.12 แสดงตำแหน่งทางเข้า (Gate) และการไหลจากจุดศูนย์กลาง (Centroids) [1]

ความสำคัญของระบบนี้เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาจากการ Over pack เช่นการเปลี่ยนแปลงการหดตัว, ชิ้นงานติดกับแม่พิมพ์

กฎเกณฑ์การออกแบบจำนวนและตำแหน่งทางเข้าของพลาสติกหลอม จะพิจารณาโดยใช้กฎเกณฑ์ของการหดตัวเชิงปริมาตร ที่การไหลของพลาสติกหลอมสิ้นสุดลงโดยค่าที่ใช้ในการออกแบบจะใช้ค่าที่เหมาะสมที่สุดในการรักษาความดันไว้

มันมีความเป็นไปได้ ที่จะทำการลดการหดตัวของชิ้นงานโดยใช้การรักษาความดันที่ความดันต่ำ (Low Holding Pressure) ด้วยการเพิ่มเวลาเพื่อรักษาอัตราการไหล ที่จะไม่ทำให้พลาสติกหลอมส่วนหน้าการไหล (Flow Front) เกิดการแข็งตัว

ทางเข้าของพลาสติกหลอมจะมีตำแหน่งที่บรรจุทั้งการคงรูปและ ค่าการหดตัวอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ภายหลังการไหลสิ้นสุดลง ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาขณะที่การไหลทั้งหมดของทางเข้าพลาสติกหลอมทำให้ชิ้นงานทั้งหมดเต็ม อย่างไรก็ตาม อาจจะมีบางคราวที่ส่วนของความหนาและความบาง ที่อาจจะต้องการตำแหน่งทางเข้าของพลาสติกหลอมไกล้ส่วนที่หนาๆ ที่จะทำให้ชิ้นงานคงรูปมากขึ้น

ตำแหน่งทางเข้าของพลาสติกหลอมอาจจะเป็นสภาวะสำคัญในการลดผลกระทบจากทิศทางการไหลของพลาสติกหลอมในบางกรณี การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งทางเข้าของพลาสติกหลอม เป็นหนทางเดียวเท่านั้นที่จะควบคุมผลกระทบจากทิศทางการไหลของพลาสติกหลอมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่น่าพอใจ [5]

2.3.4) สภาวะของแม่พิมพ์ (Molding Condition)

จุดประสงค์พื้นฐานในการออกแบบ เพื่อให้อุณหภูมิทั้งหมดของชิ้นงานมีค่าที่เท่ากันหรือไกล้เคียงกันมากที่สุด นั่นคือความร้อนที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทานจะถูกทำให้อุณหภูมิที่ลดลงด้วยกระบวนการนำความร้อน

ในความเป็นจริงความร้อนจะเกิดขึ้นรอบๆ บริเวณทางเข้าของพลาสติกหลอม ดังนั้นอุณหภูมิที่เกิดขึ้นรอบๆ ทางเข้าของพลาสติกหลอมจะมีค่ามากที่สุด และจะลดลงตามระยะการไหลของพลาสติกหลอม ดังนั้นเกณฑ์การออกแบบคือ อุณหภูมิที่ตำแหน่งสิ้นสุดการไหลจะต้องเท่ากับอุณหภูมิที่ตำแหน่งทางเข้าของพลาสติกหลอม

จุดมุ่งหมายในการออกแบบระบบทางวิ่ง (Runner System) คือเมื่อพลาสติกหลอมวิ่งไปบนทางวิ่งที่มีอุณหภูมิต่ำ ทำให้คุณสมบัติต่างๆ ลดลงและเมื่อระบบทางวิ่งเกิดจากความร้อนในการเสียดทาน ทำให้เกิดปัญหาเช่น รอยการวิ่งของพลาสติกหลอมจากทางวิ่งพลาสติก (Jetting) และอื่นๆ ที่มีผลต่อผิวชิ้นงานที่เกิดขึ้นรอบๆ พื้นที่ทางเข้าพลาสติกหลอม หลักสำคัญในการเติมพลาสติกหลอมให้เต็มแม่พิมพ์คือใช้เวลาที่สั้นที่สุด และให้พลาสติกหลอมที่ปลายทางการไหลมีอุณหภูมิสูงๆ เพื่อลดปัญหาการ Jetting และ Overheating เพิ่มเติมการบังคับด้วยแม่พิมพ์ (Mold Constraint), บังคับด้วยคุณสมบัติทางกล (Mechanical Constraint) จากอัตราการไหลและแรงในการปิดของแม่พิมพ์

รูปแบบทางอุดมคติโดยใช้อัตราการฉีดมากที่สุด และแรงในการปิดแม่พิมพ์มีค่ามากกว่าพื้นที่ภาพฉายของชิ้นงาน และเมื่อลดอัตราการไหลลงตำแหน่งที่พลาสติกถูกบังคับ (Material Constraint) เช่นอุณหภูมิสูงที่สุด, อัตราการเฉือนเพื่อลดความเค้นในแนวเฉือนให้มีค่าไม่มากเกินพอ

ในขั้นตอนการรักษาความดันจุดมุ่งหมาย เพื่อต้องการให้ช่วงปลายการไหลของพลาสติกหลอมในแม่พิมพ์ได้รับแรงดันซึ่งไม่มากไปกว่าแรงดันในการปิดแม่พิมพ์ โดยทั่วไปแรงในการปิดแม่พิมพ์ต้องคงที่แต่ผลคือแรงดันในการรักษาความดันจะมีค่าลดลงตามเวลา เพราะฉะนั้นแรงดันในการปิดแม่พิมพ์จะต้องมีค่าคงที่จนกระทั่งพลาสติกหลอมวิ่งไปจนสุดทางการไหล มีการแข็งตัวของพลาสติกหลอมหรือจนกระทั่งค่าการหดตัวเชิงปริมาตรมีค่าน้อยที่สุด

2.3.4.1) กฎเกณฑ์การออกแบบสำหรับการหดตัวเชิงปริมาตร

การหดตัวเชิงปริมาตรอาจมีความหมายว่าชิ้นงานอาจมีขนาดใหญ่กว่าแม่พิมพ์ก็ได้ ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดันภายในชิ้นงานที่ตอนปลายของแม่พิมพ์ โดยที่การหดตัวเชิงปริมาตรมีค่าลดลงเมื่อแรงดันในการรักษาความดันมีค่ามากเกินพอ

สภาวะของแม่พิมพ์ที่ทำให้การหดตัวเชิงปริมาตรมีค่าต่ำเกิดจากระดับของทิศทางการไหลมีค่าสูงและระดับความเค้นขณะนั้นมีค่าสูง การหดตัวเชิงปริมาตรทั่วไปจะเกิดจากการหดตัวในทิศทางความหนาของชิ้นงาน ซึ่งจะส่งผลให้ผิวชิ้นงานไม่มีคุณภาพหรือเกิดรอยยุบ (Sink Mark) บนผิวชิ้นงาน

2.3.4.2) การหดตัวเชิงปริมาตรที่คงที่และยอมรับได้

สิ่งแรกที่ต้องพิจารณาในการออกแบบค่าการหดตัวคือพยายามทำให้ค่าการหดตัวเชิงปริมาตรมีค่าสม่ำเสมอ และได้ขนาดที่ต้องการ

2.3.4.3) รอยยุบตัวน้อยที่สุด (Minimizing Sink Mark)

โดยทั่วไปการไหลของพลาสติกหลอมผ่านชิ้นงานส่วนที่หนาจะง่ายกว่าการไหลในส่วนที่บางกว่าของชิ้นงานเช่นส่วนที่เป็นโครงค้ำ (Ribs), บอส (Boss) ทำให้ชิ้นงานมีคุณภาพที่ไม่ดี

เมื่อเริ่มต้นทำการฉีดพลาสติกหลอมเข้าสู่แม่พิมพ์จะต้องใช้แรงดันที่มีค่ามากที่สุด ที่ไม่สามารถไปทำให้แม่พิมพ์เปิดออก (แรงดันในการปิดแม่พิมพ์ต้องมีค่ามากกว่าแรงดันในการฉีดพลาสติกหลอมเข้าสู่แม่พิมพ์) เพื่อให้พลาสติกหลอมไหลเต็มแม่พิมพ์ได้ ในขณะที่พลาสติกหลอมกำลังไหลในแม่พิมพ์อยู่ แรงดันจะค่อยๆลดลงและเข้าสู่ค่าคงที่ซึ่งอัตราการไหลจะเท่ากับศูนย์ เป็นผลให้ชั้นแข็งตัวของพลาสติก (Frozen Layer) มีค่าสำเสมอและเพื่อเป็นการกำจัดรอยยุบตัว จำเป็นต้องคงแรงดันไว้เพื่อไม่ให้ทิศทางการไหลเปลี่ยนแปลงไป

2.3.4.4) อุณหภูมิหลอมเหลว (Melt Temperature)

ในการเพิ่มอุณหภูมิของการหลอมเหลวอาจจะทำให้การหดตัวของชิ้นงานเพิ่มขึ้น หรือลดลงก็ได้ ตัวอย่างที่อุณหภูมิการหลอมมีค่าต่ำมากๆ เป็นผลให้การหดตัวมีค่าสูง แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงค่าๆ หนึ่ง การหดตัวจะมีค่าลดลงเพราะความหนืดมีค่าลดลง และแรงดันที่ใช้ในการรักษาความดันมีการกระจายตัวที่ดีภายในชิ้นงาน สำหรับการให้แรงดันในการรักษาความดันและเวลาที่มากขึ้นจะส่งเสริมให้อุณหภูมิในการหลอมมีค่าเพิ่มขึ้น และการหดตัวมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

2.3.4.5) ผลของสภาวะแม่พิมพ์ต่อทิศทางการไหลของพลาสติกหลอม (The Effect of Molding Condition on Orientation)

จากที่กล่าวมาเป็นการลดค่าการหดตัวเชิงปริมาตรต่อชิ้นงาน แต่ไม่ได้พิจารณาถึงผลจากทิศทางการไหลของพลาสติกหลอม โดยทั่วไปการฉีดพลาสติกหลอมเข้าสู่แม่พิมพ์ที่เร็วเกินไปจะส่งผลให้ปริมาณของพลาสติกหลอมไหลในทิศทางที่ต้องการลดลง ถ้าทิศทางการไหลคือสาเหตุหลักของปัญหา การแก้ไขสามารถทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิในการหลอมและเพิ่มความเร็วในการฉีด

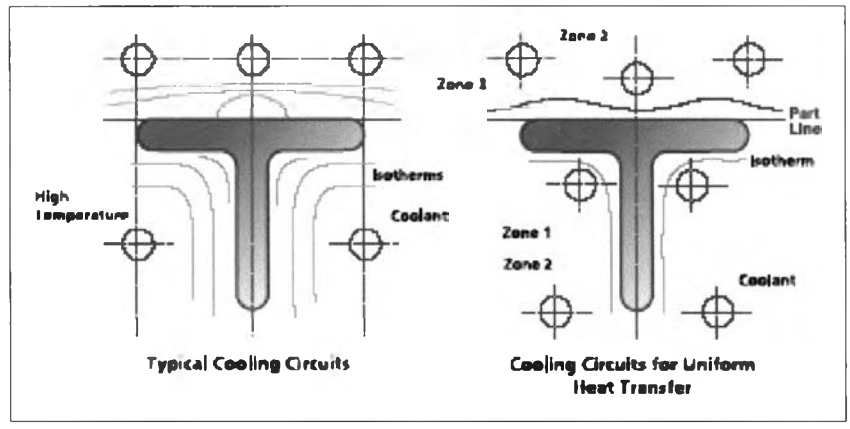
ปริมาณของทิศทางการไหลขึ้นกับขั้นตอนในการรักษาความดัน ดังนั้นถ้าทิศทางการไหลคือปัญหาหลักของการโก่งตัว การเพิ่มอุณหภูมิของพลาสติกหลอมให้สูงขึ้น จึงมีความจำเป็นมากกว่าแม้จะมีผลกระทบต่อการหดตัวเชิงปริมาตรก็ตาม

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.4.6) อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Mold Temperature)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแม่พิมพ์เป็นที่รู้อยู่ว่าทำให้ชิ้นงานเกิดการโก่งตัว จากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างส่วน Core และ Cavity ถ้าชิ้นงานกำลังโก่งตัวด้วยระบบหล่อเย็นที่แย่ โดยทั่วไปจะทำการแก้ไขโดยการย้ายตำแหน่งของทางวิ่งน้ำ เปลี่ยนอินเสิร์ตเป็นใช้ Beryllium-Copper หรือเพิ่มอัตราการไหลของสารหล่อเย็น

จุดมุ่งหมายในการออกแบบระบบหล่อเย็นคือ เพื่อให้อุณหภูมิของแม่พิมพ์มีค่าสม่ำเสมอทั่วทั้งแม่พิมพ์นั้นหมายความว่าที่ชิ้นงานส่วนที่มีความหนามากกว่า จะมีความร้อนสะสมที่มากกว่าส่วนที่บาง เพราะฉะนั้นจะต้องเพิ่มเส้นทางน้ำวิ่งบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง



รูป 2.13 แสดงการออกแบบระบบหล่อเย็น [1]

แม่พิมพ์ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะมีผลให้การหดตัวของชิ้นงานมีค่าสม่ำเสมอและระดับของทิศทางการไหลต่ำ (Lower Orientation Level) แต่ต้องเพิ่มระยะเวลาในการหล่อเย็น [6]

2.3.4.7) การรักษาความดัน (Holding Pressure)

การรักษาความดันนั้นจะเริ่มต้นที่แรงดันสูง และจะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น เพื่อให้พื้นที่การหดตัวสม่ำเสมอและลดปริมาณทิศทางการไหล โดยแรงดันที่ใช้จะเปลี่ยนไปตามความหนาของชิ้นงาน

ในกรณีที่พลาสติกหลอมไหลจากส่วนที่บางกว่าไปส่วนที่หนากว่า แรงดันที่จะใช้ในการรักษาความดันจะมีค่าน้อย

2.3.5) ผังทางวิ่งระบบหล่อเย็น

ข้อเสียในการออกแบบระบบหล่อเย็นคือ ต้องกระทำหลังจากออกแบบระบบกลไลของชิ้นงานเสียก่อน ทำให้อุณหภูมิของแม่พิมพ์มีโอกาศที่ไม่สม่ำเสมอได้ ความแตกต่างของอุณหภูมิของทั้งสองด้านของแม่พิมพ์จะมีผลต่อชิ้นงาน ตัวอย่างคือชิ้นงานที่มีโครงค้ำ (Rib) โดยส่วนใหญ่จะต้องมีความหนาน้อยกว่าผิวหลัก ซึ่งโดย

ธรรมชาติจะมีผลกระทบจากโครงค้ำนี้ โดยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างนั้นจะโก่งตัวไปยังด้านที่มีโครงค้ำอยู่ แต่เมื่อส่วนโครงค้ำนี้ร้อนมากกว่าจุดอื่น โครงค้ำจะไม่ส่วนกระทบต่อต่อการโก่งตัวของชิ้นงาน ในบางกรณีค่าการนำความร้อนของพลาสติกแต่ละชนิดก็มีผลไม่น้อยต่ออุณหภูมิของแม่พิมพ์