สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ความรู้เบื้องต้นของกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย

3.1) ประวัติและพัฒนาการของกระบวนการ

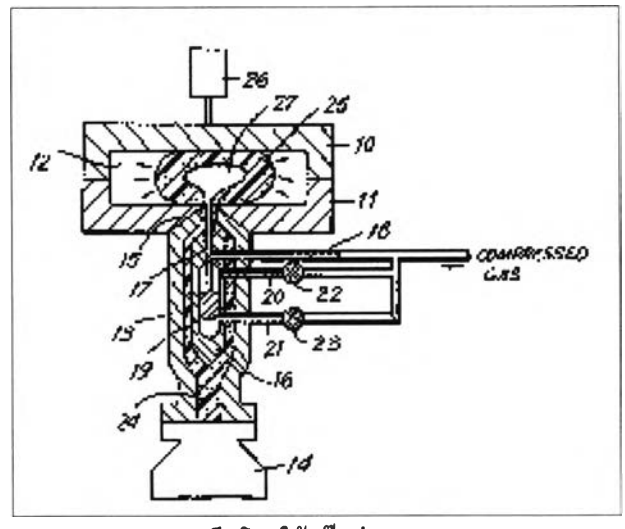
ในการวิจัยสำหรับเทคโนโลยีใหม่ที่จะทำให้ชิ้นงานพลาสติกมีช่องว่างอยู่ภายใน เริ่มต้นเมื่อปี 1944 ซึ่งได้มีการจดสิทธิบัตรของนาย Opavsky โดยการฉีดด้วยแก๊สหรือของเหลวเข้าสู่ภายในของชิ้นงานพลาสติก ซึ่งต้องใช้แรงดันในการฉีดสูงมากทำให้เทคนิคนี้ไม่ประสบผลสำเร็จ การขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้แก๊สช่วย (Gas-Assist Injection Molding) ที่เรารู้จักในทุกวันนี้ ได้รับการพัฒนาขึ้นเมื่อกลางปี ค.ศ. 1970 จากหลักฐานที่พบบ่งบอกว่าได้มีการพัฒนาใน 2 แนวทางคือ หนึ่งจากการพัฒนาโดยนาย เฟรดเดอร์ริก (Mr. Friederich) จากบริษัท Rohm ในประเทศเยอรมัน และได้ทำการจดสิทธิบัตรในปี ค.ศ. 1976 สองเป็นการพัฒนาต่อจากเทคโนโลยีการผลิตโฟม (Foam-Molding Technology)

เมื่อแรกเริ่มในการพัฒนาเทคโนโลยีการฉีดด้วยแก๊สของ Friederich เขาต้องการให้ภายในชิ้นงานมีลักษณะกลวงโดยการประยุกต์เข้ากับกระบวนการฉีดแบบทั่วไป (Injection Molding Process) โดยก่อนที่จะพัฒนาเทคโนโลยีนี้ได้มี 2 ทางเลือก คือ ทางเลือกที่หนึ่งได้จากการฉีดชิ้นงานเป็น 2 ส่วนจากนั้นจึงนำทั้งสองส่วนมาเชื่อมประสานกันด้วยกาวหรือการเชื่อม (Adhesion or Welding) ทางเลือกที่สองได้จากกระบวนการเป่า (Blow Molding) ทั้งจากกระบวนการ Injection Blow Molding หรือ Extrusion Blow Molding แต่ทั้งสองกระบวนการนี้มีปัญหาหรืออุปสรรค จากกรณีถ้าส่วนประกอบทั้งสองไม่สมมาตรกัน, จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการสร้างแม่พิมพ์เพิ่มขึ้นอีก 1 ชุด, ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการประกอบโดยต้องแน่ใจว่าบริเวณส่วนที่จะนำมาประกอบกันต้องคงที่ หลังจากกระบวนการขึ้นรูปแล้ว (Injection Process) และปัญหาที่เกิดจากกระบวนการเชื่อม ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจากส่วนของเครื่องมือ เช่นเครื่องอุลตร้าโซนิคหรือเครื่องสั่นสะเทือน (Ultrasonic and Vibration Unit)

Ernst Friedrich จากบริษัท Rohm GmbH ในเมือง Darmstadt ที่ประเทศเยอรมัน เป็นบุคคลแรกที่สามารถประดิษฐ์เครื่องมือจากกระบวนการนี้ ซึ่งได้ทำการจดสิทธิบัตรไว้ที่ประเทศเยอรมัน [No 2501314 ในปี ค.ศ. 1975] มีใจความว่า

"กระบวนการเพื่อทำให้เกิดช่องว่างภายในชิ้นงานจากเทอร์โมพลาสติกเรซิน โดยขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการฉีด (Injection Molding) ซึ่งกระบวนการนี้จะทำการบรรจุเรซินหลอมเหลวให้พอเพียงกับการผลิตชิ้นงานที่ภายในกลวง ทำการฉีดพลาสติกหลอม โดยพลาสติกติกหลอมเคลื่อนที่จากตำแหน่งหัวฉีด (Nozzle) เข้าสู่แม่พิมพ์ (Mold) จากนั้นทำการฉีดแก๊สภายใต้แรงดันสูงผ่านหัวฉีด และเกิดช่องว่างภายในเรซินหลอมเหลว โดยเกิดจากแก๊สจะเป็นตัวพาให้เรซินหลอมเหลวเคลื่อนตัวจนเต็มแม่พิมพ์ โดยชิ้นงานจะมีลักษณะภายในกลวง เกิดจากอุณหภูมิของแก๊สมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิเรซินหลอมเหลว ทำให้บริเวณโดยรอบของเรซินที่แก๊สผ่านเกิดการคงรูป

(Forming) และจากแรงดันของแก๊สที่มีค่าเท่ากับแรงดันของเรซิน ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดช่องว่างภายในชิ้นงานพลาสติก แสดงดังรูป 3.1 (รายละเอียดเพิ่มเติมที่ภาคผนวก ก.)"



รูป 3.1 แสดงกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย [Ernst Frienderich, 1978] [7]

บริษัท Peerless ได้ทำการจดสิทธิบัตรในปี ค.ศ.1983 ในนาม Cinpress I (Controlled Internal Pressure Molding) และเริ่มทำการผลิตในปี ค.ศ. 1984. นาย Mike Ladney ประธานบริษัท Detroit Plastics Molding (DPM) ได้สนใจเทคโนโลยีนี้ จนเมื่อได้ชมการสาธิตการทำงานของเครื่อง Cinpress I ในงาน International Messe Kunststoffund Kautschuk ใน Düsseldorf ประเทศเยอรมันในปี ค.ศ. 1986 และในปี ค.ศ. 1987 นาย Ladney ได้ทำการซื้อสิทธิบัตรของนาย Friederich ซึ่งจากจุดนี้เองนาย Hendry จึงได้เริ่มทำงานร่วมกับบริษัท DPM ในการพัฒนาเทคโนโลยีการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย

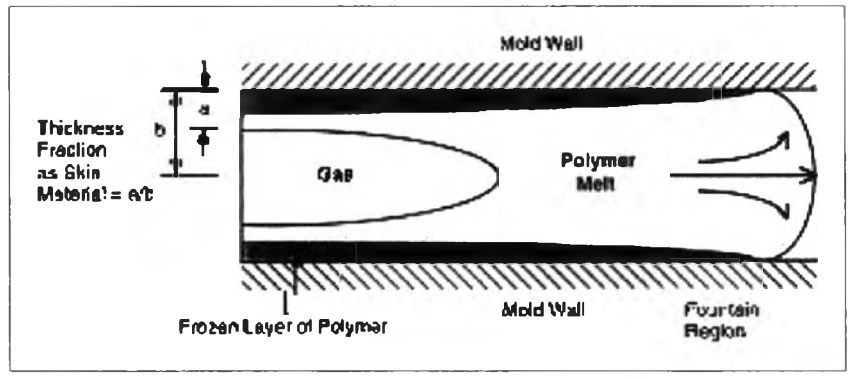
ปัจจุบันจำนวนบริษัทในยุโรปได้ใช้เทคโนโลยีนี้ในการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกอย่างแพร่หลาย โดยบริษัทที่ผลิตเครื่องจักรประกอบไปด้วย Battenfeld, Ferromatik, Stork, Engel และ Johnson Control

3.2) <u>กระบวนการฉีดเพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน</u>

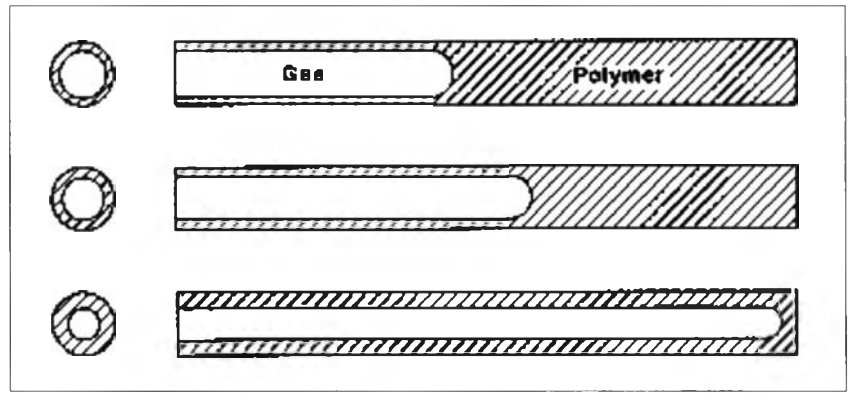
ในการแข่งขันสำหรับกระบวนการขึ้นรูปพลาสติก กระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยเป็นกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้เทคโนโลยีใหม่ที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง บางครั้งรายละเอียดของปัญหาที่เกิดขึ้นไม่ถูกต้อง แม้ว่าจะเป็นการฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ แต่บางครั้งก็นำไปปะปนกับกระบวนการเป่า (Blow Molding) ที่เป็นเช่นนี้เพราะลักษณะของชิ้นงานจากทั้ง 2 กระบวนการที่มีลักษณะภายในกลวงเหมือนกัน ความแตกต่างหลักข้อหนึ่งคือสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในชิ้นงานส่วนที่กลวง โดยกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยจะใช้แก๊สไนโตรเจนฉีดเข้าในชิ้นงาน แต่กระบวนการเป่าจะใช้อากาศอัดเข้าไปในชิ้นงาน และชิ้นงานจากกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยผนังของชิ้นงานจะมีความหนามากกว่ากระบวนการเป่า โดยทั่วไปชิ้นงานจากกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยน้ำหนักในส่วนที่เป็น

ช่องกลวงจะมีค่าน้อยกว่า 10% ของน้ำหนักทั้งหมด แต่กระบวนการเป่านั้น น้ำหนักของช่องกลวงจะมีค่าประมาณ 80% หรือมากกว่านั้น

กระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยก่อให้เกิดการฉีดพลาสติกหลอมที่ไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short shot) ของพลาสติกหลอมเข้าไปในแม่พิมพ์ เมื่อแก๊สเริ่มที่จะแทรกเข้าไปในส่วนที่เป็นพลาสติกหลอม แก๊สจะวิ่งเข้าสู่ส่วนที่มีความต้านทานต่ำที่สุด นั่นคือส่วนที่มีแรงดันต่ำและอุณหภูมิสูง (แสดงดังรูป 3.2) เมื่อแก๊สวิ่งเข้าสู่ชิ้นงานจะก่อให้เกิดส่วนที่เป็นความหนาตกค้างของชิ้นงาน (Residual Wall Thickness) จากการเข้าไปแทนที่พลาสติกหลอม (แสดงดังรูปที่ 3.3) ซึ่งพลาสติกหลอมนี้จะเติมเต็มส่วนที่เหลือของชิ้นงานภายในแม่พิมพ์ [8], [9]



รูป 3.2 แสดงการไหลของแก๊สผ่านพลาสติกหลอม [10]

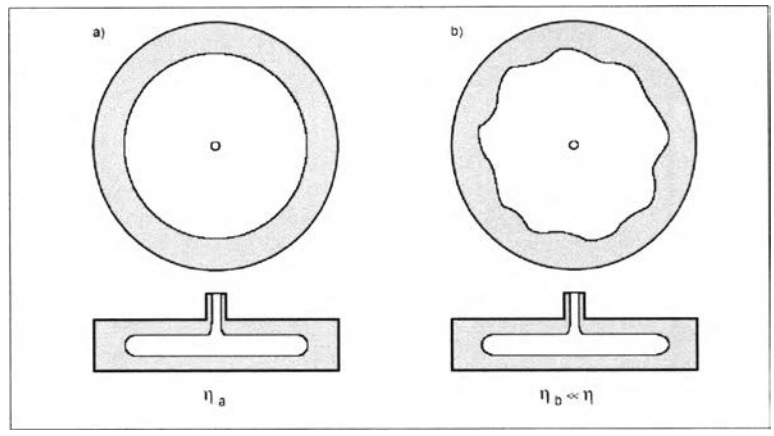


รูป 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาตกค้างของชิ้นงานและระยะทางการไหลของแก๊ส [10]

หลักการของเทคนิคนี้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความหนืดของ 2 ส่วน โดยที่ความหนืดของพลาสติกหลอมมีค่าประมาณ 10^4 Ns/m^2 และความหนืดของแก๊สมีค่าประมาณ 10^{-5} Ns/m^2 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความหนืดของพลาสติกหลอมสูงกว่าของแก๊สถึง 9 เท่าซึ่งทำให้เกิดการแพร่ของแก๊สเข้าไปยังผนังชั้นในของชิ้นงานพลาสติกซึ่งยังคงอยู่ในภาวะหลอม (แสดงดังรูป 3.4) แสดงความแตกต่างของความหนืด โดยที่

η_A – ความหนืดของพลาสติกหลอมเหลว, Ns/m^2

η_B – ความหนืดของแก๊ส, Ns/m^2



รูป 3.4 อิทธิผลของความแตกต่างของความหนืดของพลาสติกหลอมและของแก๊ส [11]

หลังจากการเติมเสร็จสิ้น แก๊สจะทำหน้าที่เป็นแรงดันในการอัดแน่น (Packing Pressure) เพื่อชดเชยการหดตัวเชิงปริมาตรของพลาสติก (Volumetric Shrinkage)

ขั้นตอนของการขึ้นรูปสามารถแบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

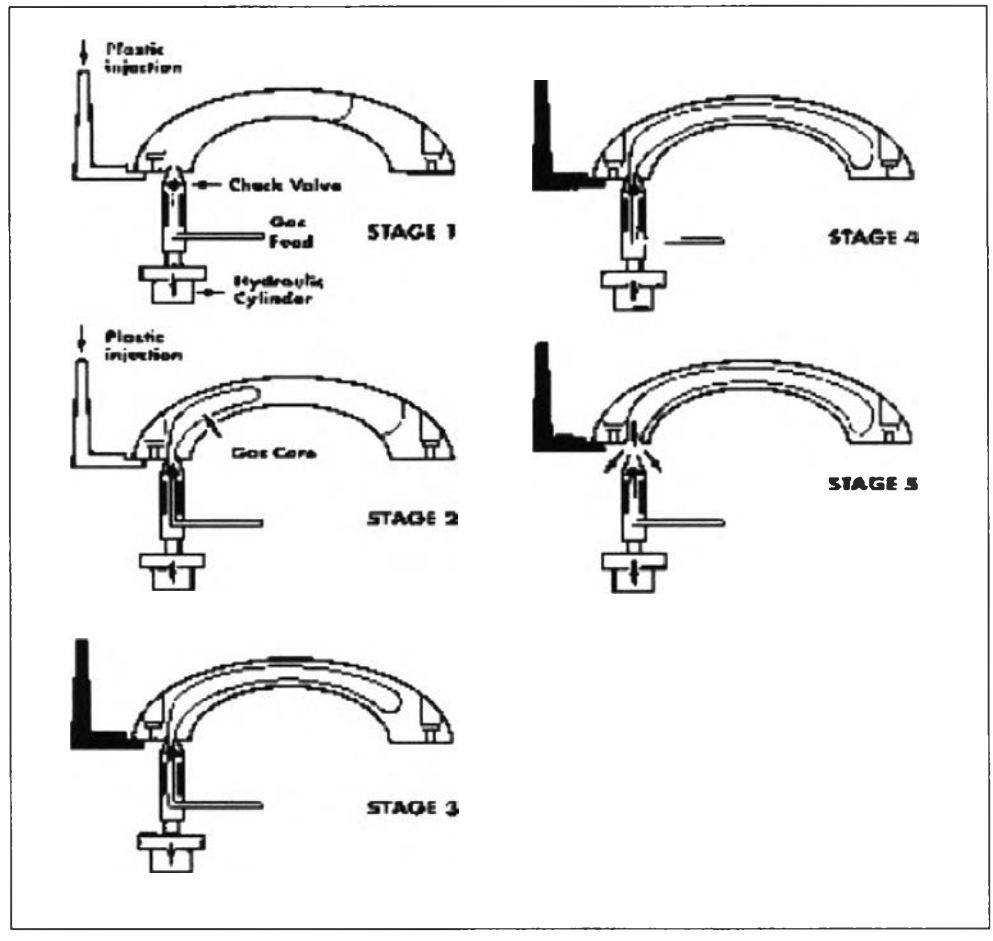
1.) ปิดแม่พิมพ์และยึดแม่พิมพ์ให้แน่น (Clamping)

2.) ทำการฉีดพลาสติกหลอม จากการคำนวณเข้าไปยังแม่พิมพ์ ซึ่งตามปกติจะใช้พลาสติกหลอมประมาณ 50-90% ของปริมาณทั้งหมดของชิ้นงาน (เป็นการฉีดที่ไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Shot)) แสดงดังรูป 3.5(1)

3.) ทำการฉีดแก๊ส (ไนโตรเจน) เข้าสู่พลาสติกหลอม แสดงดังรูป 3.5(2) เรียกว่า "การแพร่ของแก๊สครั้งที่1 (1^{st} gas penetration)" แก๊สจะผลักดันให้พลาสติกหลอมผ่านหัวฉีด (Nozzle) และช่องลำเลียง (Runner) เข้าสู่ช่องแม่พิมพ์ (Mould Cavity) และผลักดันให้พลาสติกหลอมเคลื่อนที่เต็มแม่พิมพ์ แสดงดังรูป 3.5(3) ที่บริเวณผิวแม่พิมพ์พลาสติกหลอมจะเกิดเป็นชั้นแข็งตัวของพลาสติก (Frozen Layer) แต่ตรงกลางของพลาสติกหลอมจะมีอุณหภูมิสูงกว่า ในขั้นตอนนี้ใช้เวลาสั้นมากและเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่จะควบคุมคุณภาพของชิ้นงาน

4.) การพักแก๊สด้วยความดัน (Gas Holding Pressure) หรือเรียกว่า "การแพร่ของแก๊สครั้งที่ 2 (2^{nd} gas penetration)" แสดงดังรูป 3.5(4) แก๊สจะทำการอัดแน่น (Packing) โดยสกรูไม่เคลื่อนที่ซึ่งต่างจากการฉีดแบบเดิม (Conventional Injection Molding) แก๊สจะขยายตัวช่วยลดการหดตัว (Shrinkage) ของชิ้นงานเมื่อพลาสติกหลอมเย็นจะได้ชิ้นงานที่มีความเสถียรสูง (Dimension Stability) การใช้ความดันของแก๊สในการอัดแน่นทำให้แก๊สขยายตัวเกิดความสม่ำเสมอของการกระจายความดันแก๊สทำให้มีความเค้นตกค้าง (Residual Stress) ในชิ้นงานลดลง และชดเชยการยุบตัวและการหดตัวของชิ้นงาน แต่อย่างไรก็ตามการแพร่ของแก๊สจะทำให้ผนังภายในของชิ้นงานไม่เรียบ

5.) แก๊สจะถูกปล่อยออกหลังการพักเอาไว้โดยผ่านหัวฉีดแก๊ส (Machine Nozzle หรือ Gas Needle) เพื่อสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ แสดงดังรูป 3.5(5) เปิดแม่พิมพ์และดันชิ้นงานให้หลุดออกจากแม่พิมพ์ ทั้ง 5 ขั้นตอนจะแสดงดังรูป 3.5

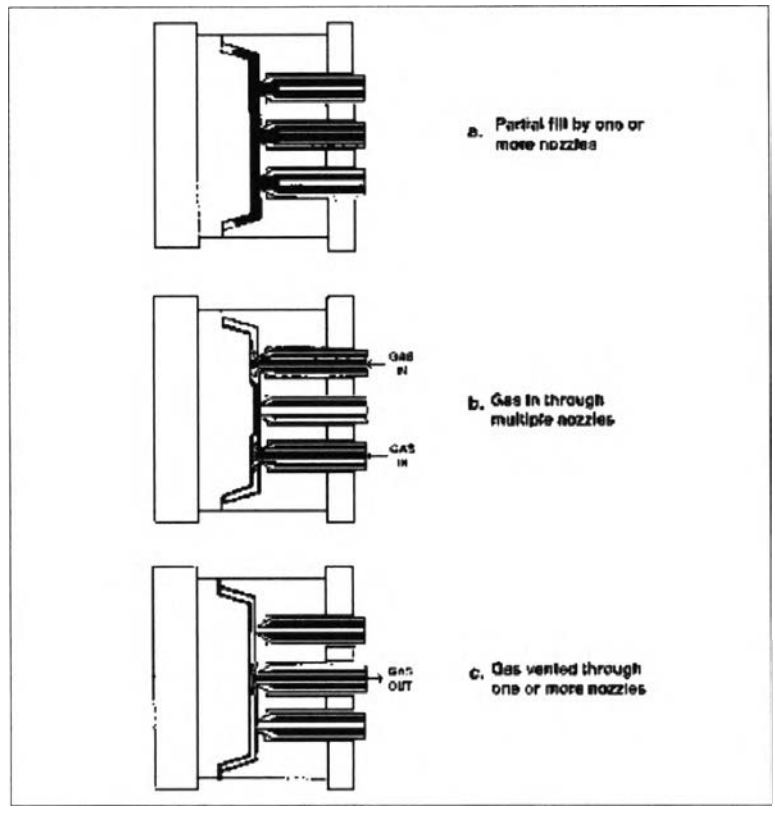


รูป 3.5 กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน [10]

การประยุกต์กระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพสามารถทำได้โดยการประยุกต์กระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยซึ่งมีช่องทางเข้าของแก๊สหลายช่อง และกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานที่ซึ่งของเหลวจะกลายเป็นไอในพลาสติกหลอม ก่อให้เกิดแก๊สขึ้นภายในชิ้นงาน

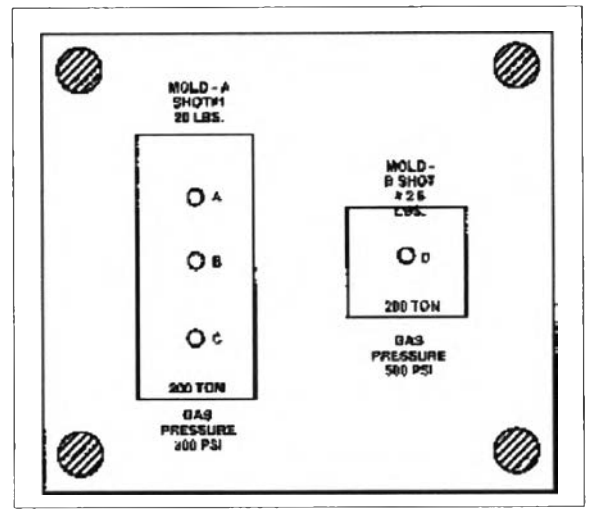
กระบวนการฉีดแก๊สโดยใช้หลายหัวฉีดจะใช้สำหรับกรณีที่ชิ้นงานมีขนาดใหญ่มากๆ เพื่อให้โครงสร้างภายในชิ้นงานมีลักษณะกลวง การฉีดแก๊สในชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ด้วยช่องทางเข้ามากกว่าหนึ่งช่องทางจะช่วยลดระยะทางการไหล, แรงดันในการฉีดและแรงดันในการปิดแม่พิมพ์ โดยช่องทางเข้าของแก๊สหลายช่องทางสามารถใช้กับแม่พิมพ์หลายแม่พิมพ์บนฐานเดียวกันก็ได้ หรือแม่พิมพ์แต่ละตัวสามารถมีหนึ่งหรือหลายทางเข้าของแก๊สก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงานและระยะทางการไหลของแก๊ส [12] แสดงดังรูป 3.6 อธิบายถึงแม่พิมพ์ที่มีหลาย

ช่องทางเข้าของแก๊ส รูป 3.6(a) แสดงการฉีดพลาสติกหลอมเข้าแม่พิมพ์ รูป 3.6(b) แสดงการฉีดแก๊สตามเข้าไปจำนวน 2 ช่องทางและการปล่อยให้แก๊สออกมา ในรูป 3.6(c)



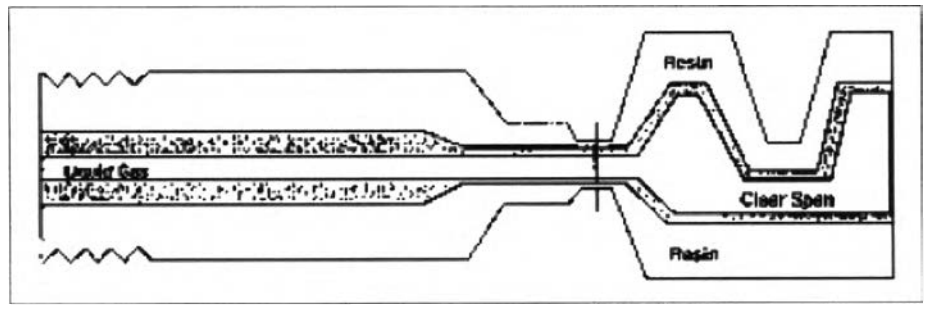
รูป 3.6 แสดงการฉีดแก๊สหลายช่องทาง [10]

แม่พิมพ์ที่มีหลายชิ้นงานที่รูปร่างและน้ำหนักแตกต่างกัน การขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยที่มีช่องทางเข้าของแก๊สเพียง 1 ช่องทางจะทำให้การไหลไม่สมมาตรและพลาสติกหลอมไม่เต็มแม่พิมพ์กระบวนการที่ใช้ทางเข้าแก๊สหลายช่องทางสามารถขจัดปัญหาที่เกิดขึ้น โดยการยอมให้การเติมปริมาณของพลาสติกหลอมและแรงดันแก๊สแยกต่างหากออกจากกัน เครื่องฉีดแก๊สได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นมาให้มีระบบการควบคุมการฉีดแก๊ส 6 ช่องทาง แสดงว่ามันสามารถรองรับแม่พิมพ์ที่ต่างกัน 6 ชิ้นงาน แสดงดังรูป 3.7 อธิบายแม่พิมพ์ที่ชิ้นงานหนัก 5 กิโลกรัมและ 2.3 กิโลกรัม โดยปริมาณของพลาติกหลอมที่จะเข้าแม่พิมพ์แต่ละส่วน จะถูกควบคุมโดยขนาดของช่องลำเลียง (Runner) ส่วนแรงดันของแก๊สที่ฉีดเข้าไปในชิ้นงานในแต่ละส่วน จะถูกควบคุมด้วยโปรแกรมการประมวลผลที่แยกออกจากกัน



รูป 3.7 แสดงแม่พิมพ์ที่มีหลายชิ้นงานต่อเข้ากับหัวฉีดแก๊สหลายช่องทาง [10]

กระบวนการ HELGA (Hettinga Liquid Gas Assist) ซึ่งแตกต่างจากกระบวนการที่กล่าวมาข้างต้นที่ใช้แก๊สไนโตรเจนในการสร้างช่องกลวงภายในชิ้นงาน แสดงดังรูป 3.8 อธิบายถึงกระบวนการนี้ เรซินจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ เพื่อทำการฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ด้วยกระบวนการฉีดแบบ "Co-injection" ซึ่งเรซินจะถูกแบ่งเป็นส่วนที่ใช้สำหรับเป็นผิวภายนอกชิ้นงานและส่วนที่อยู่ภายในชิ้นงาน ซึ่งเรซินส่วนนี้เองที่เป็นของเหลว ซึ่งเมื่อของเหลวนี้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับเรซินหลอม (ที่เป็นผิวชิ้นงาน) ที่ร้อนจะกลายสภาวะเป็นแก๊ส เกิดเป็นช่องภายในซึ่งแก๊สพยายามที่จะดันออกมาจากเรซินทำให้ผลของรอยยุบตัว (Sink Mark) มีค่าต่ำ กระบวนการ HELGA สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรสำหรับกระบวนการฉีดทั่วไป (Conventional Injection Molding) แต่มีข้อได้เปรียบอย่างหนึ่งคือ ผิวของชิ้นงานที่ได้จะไม่มีรูเปิดสำหรับทางเข้าของแก๊ส [10]



รูป 3.8 แสดงกระบวนการ HELGA [10]

3.3) <u>เทคนิคของกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย</u>

กระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยสามารถทำการประยุกต์โดยนำเครื่องฉีดพลาสติกแบบเดิม (Convention Injection Molding) มาประกอบเข้ากับชุดสร้างความดันแก๊ส (Gas Pressure Generator Unit) โดยแก๊สจะวิ่งเข้าสู่ภายในชิ้นงานผ่านหัวฉีดแก๊ส ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 เทคนิคหลัก ๆ คือ

3.3.1) เทคนิคแบบฉีดพลาสติกหลอมไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Shot Process)

มีสองทางเลือกพื้นฐานของเครื่องฉีดสำหรับกระบวนการฉีดด้วยแก๊ส โดยทางเลือกนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งทางเข้าของแก๊สที่จะฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ที่แตกต่างกัน แก๊สนั้นสามารถที่จะฉีดเข้าไปผ่านทางปลายกระบอกหัวฉีด (Nozzle) หรือต่อเข้ากับแม่พิมพ์โดยตรง (มีทางวิ่งของแก๊สหรือต่อโดยตรงกับชิ้นงาน) ซึ่งตำแหน่งทางเข้าของแก๊สจะอยู่ที่ตำแหน่งใดขึ้นอยู่กับรูปร่างของชิ้นงานเป็นสำคัญ โดยตำแหน่งต้องสนับสนุนให้แก๊สสามารถพาพลาสติกหลอมให้เต็มแม่พิมพ์ได้ สามารถแบ่งย่อยได้อีกเป็นแบบปกติและแบบพิเศษ

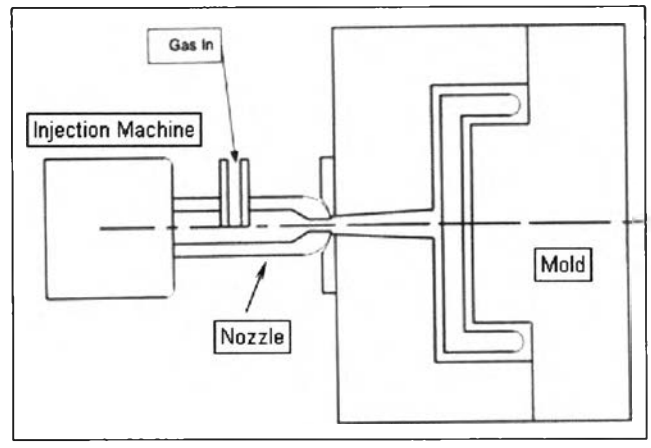
3.3.1.1) กระบวนการฉีดแก๊สแบบทั่วไป (Normal Injection)

กระบวนการฉีดแก๊สแบบปกติสามารถจำแนกได้ตามตำแหน่งทางเข้าของแก๊สสู่แม่พิมพ์ได้ 3 กระบวนการ ดังนี้

3.3.1.1.1) กระบวนการให้แก๊สเข้าที่หัวฉีดติดกับเครื่องฉีด (Machine–Nozzle Process)

กระบวนการนี้จะทำการติดตั้งหัวฉีดแก๊ส (Gas Nozzle) เข้ากับกระบอกหัวฉีดของพลาสติกหลอม (Nozzle) เมื่อทำการฉีดแก๊ส แก๊สจะวิ่งผ่านกระบอกหัวฉีด, เกท (Gate) และวิ่งเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยกระบวนการฉีดวิธีนี้สามารถนำมาใช้ร่วมกับส่วนที่เป็นทางวิ่งร้อน (Hot Runner) ได้เมื่อมีอุปกรณ์พิเศษคือ หัวฉีดแก๊สแบบปิด (Shut-off Nozzle) ที่ทำหน้าที่ป้องกันการไหลย้อนกลับของแก๊ส

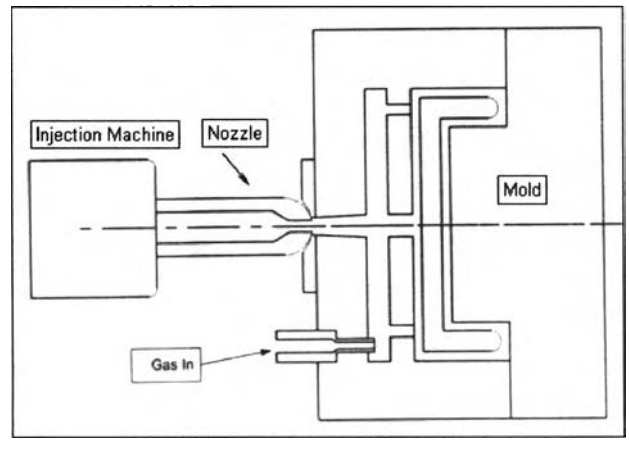
ข้อดีของกระบวนการนี้คือ ลดต้นทุนจากปริมาณของพลาสติกหลอมบริเวณเกท (Gate) แต่ก็มีข้อเสียคือ การควบคุมอุณหภูมิบริเวณกระบอกหัวฉีด พลาสติกหลอมจะควบคุมได้ยาก แสดงดังรูป 3.9



รูป 3.9 แสดงการฉีดแก๊สผ่านหัวฉีดที่ติดกับเครื่องฉีด [3]

3.3.1.1.2) กระบวนการให้แก๊สเข้าที่ช่องลำเลียง (In – Runner Process)

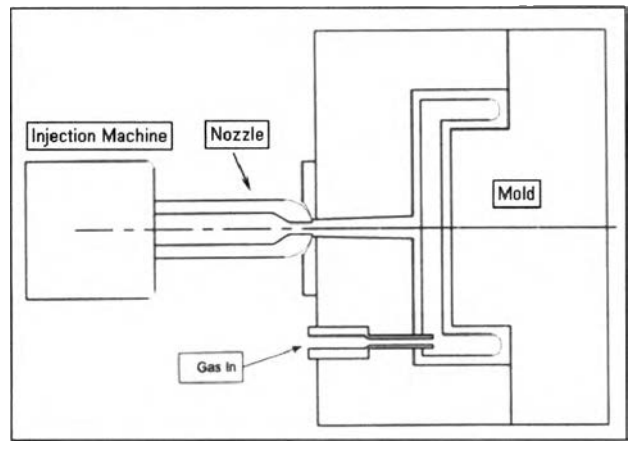
แก๊สจะถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ผ่านระบบช่องลำเลียง (In-Runner) หรือผ่านสลัก (Sprue Bushing) วิธีนี้จะมีข้อดีคือ ปริมาณการใช้พลาสติกหลอมจะลดลงเนื่องจากแก๊สจะสร้างช่องลำเลียง (Runner) ที่กลวง หรือสามารถลดปริมาณเนื้อพลาสติกหลอมจากด้านแยกไหลได้นั่นเอง โดยความยาวของหัวฉีดแก๊ส (Gas Nozzle) ต้องยาวมากกว่าความหนาของชั้นแข็งพลาสติกหลอม (Frozen Layer) เพื่อให้สามารถฉีดแก๊สได้ และไม่เหมาะจะนำเทคนิคนี้มาใช้ร่วมกับทางลำเลียงร้อน (Hot Runner Manifold) เนื่องจากแก๊สสามารถแทนที่พลาสติกหลอมภายในช่องลำเลียงได้ ทำให้ปริมาณของพลาสติกหลอม (Shot Size) ในการฉีดแต่ละครั้งไม่สม่ำเสมอ แสดงดังรูป 3.10



รูป 3.10 แสดงการฉีดแก๊สผ่านระบบช่องลำเลียงพลาสติกหลอม [3]

3.3.1.1.3) กระบวนการให้แก๊สผ่านเข้าแม่พิมพ์โดยตรง (In–Mold Cavity Process)

แก๊สจะถูกฉีดผ่านเข้าสู่แม่พิมพ์โดยตรงผ่านตัวนำแก๊ส (Gas Pin) ซึ่งถูกฝังไว้ในแม่พิมพ์ซึ่งต้องมีความยาวมากกว่าความหนาของชั้นแข็งพลาสติกหลอม (Frozen Layer) เพื่อให้แก๊สสามารถไหลเข้าสู่แม่พิมพ์ได้ โดยแต่ละตัวนำแก๊ส (Gas Pin) จะสามารถฉีดแก๊สอย่างเป็นอิสระต่อกันด้วยความดันและเวลาที่ต่างกัน แต่ช่องแก๊สภายในชิ้นงานต้องไม่เชื่อมต่อเข้าหากัน แสดงดังรูป 3.11



รูป 3.11 แสดงการฉีดแก๊สเข้าสู่ช่องแม่พิมพ์โดยตรง [3]

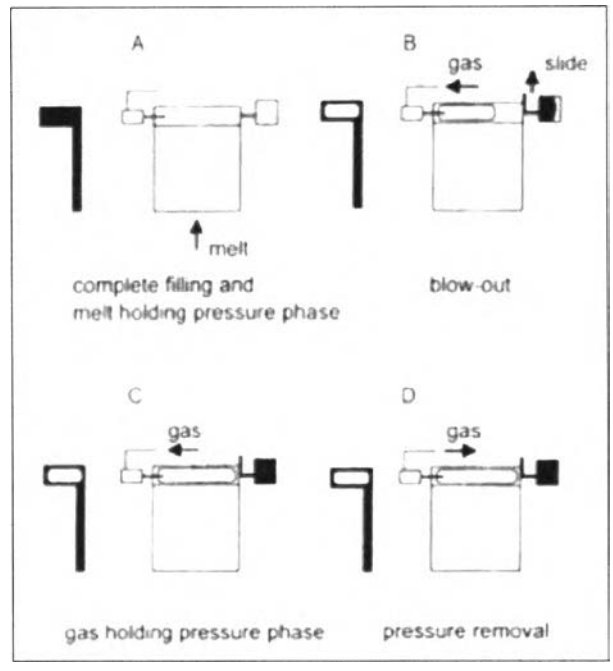
3.3.1.2) กระบวนการฉีดแก๊สแบบพิเศษ (Special Injection)

สามารถแยกย่อยได้อีก 3 กระบวนการดังนี้

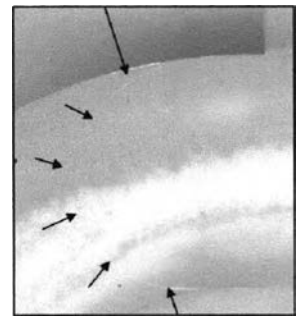
3.3.1.2.1) กระบวนการฉีดไหลล้นแม่พิมพ์ (Overflow Cavity Process)

โดยกระบวนการนี้อาจเรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า "กระบวนการฉีดพลาสติกหลอมส่วนเกินไหลออก (Spill–Over Process)" เพราะเป็นการฉีดเพื่อไล่พลาสติกหลอมไปยังช่องซึ่งเตรียมไว้รองรับการหกล้นออกมาจากโพรงแม่พิมพ์หลัก โดยจะเริ่มที่ฉีดพลาสติกหลอมให้เต็มแม่พิมพ์เสียก่อน จากนั้นฉีดแก๊สเพื่อที่จะดันพลาสติกหลอมเข้าไปยังช่องที่เตรียมไว้ดังรูป 3.12 โดยในกระบวนการนี้ การปรับเวลาหน่วง (Delay Time) จะไม่มีผลต่อคุณภาพของผิวชิ้นงาน

จุดประสงค์หลักของการนำกระบวนการนี้มาใช้ก็คือ ช่องแก๊สภายในชิ้นงานมีการกระจายที่เท่าเทียมกัน และสามารถขจัดรอยคลื่น (Switch Over Mark) และรอยจากการยุบตัวของชั้นงานได้ แสดงดังรูป 3.13 และ 3.14 ตามลำดับ โดยปกติแล้วกระบวนการนี้จะนำไปใช้กับชิ้นงานที่มีความหนาเป็นบางส่วนและชิ้นงานที่มีความหนามากเป็นพิเศษ อาทิเช่นชิ้นงานรูปทรงแท่ง (Rod Shape) แต่ก็มีข้อเสียคือเพิ่มความซับซ้อนในการทำแม่พิมพ์และราคาต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น



รูป 3.12 กระบวนกรฉีดไหลล้นแม่พิมพ์ (Overflow Cavity Process) [3]



รูป 3.13 แสดงรอยคลื่นบนชิ้นงาน (Switch Over mark)

รูป 3.14 แสดงการยุบตัวของชิ้นงาน (Sink Mark)

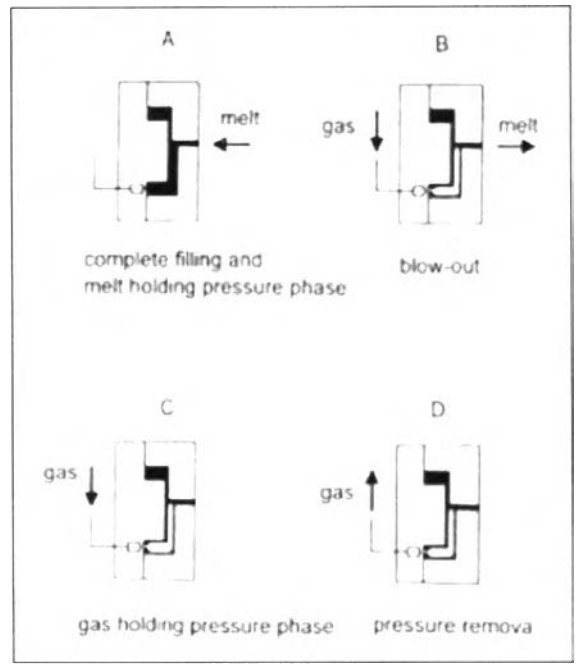
3.3.1.2.2) กระบวนการฉีดไหลย้อนกลับ (Melt–Pushback Process)

กระบวนการนี้เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Back–to–Screw Process จะสัมพันธ์กับ Overflow Cavity Process โดยจะใช้หลักการของการไล่พลาสติกหลอมออกจากแม่พิมพ์เช่นกัน หลักการคือพลาสติกหลอมจะถูกฉีดให้เต็มแม่พิมพ์จากนั้นจะฉีดแก๊สจากอีกด้านหนึ่งของด้านที่ฉีดพลาสติกหลอม ดังนั้นจะทำให้พลาสติกหลอมไหลกลับไปยังกระบอกฉีดพลาสติกหลอม แสดงดังรูป 3.15 ประเด็นสำคัญของกระบวนการนี้คือ การปรับตั้งค่าปริมาตรของพลาสติกหลอมที่ถูกดันออกจากแม่พิมพ์ ซึ่งการปรับค่านี้ทำได้ 2 วิธีคือ

1.) ก่อนฉีดแก๊ส พลาสติกหลอมจะถูกฉีดโดยมีสกรู (Screw) เป็นตัวขับดัน เมื่อสกรูถอยกลับไปยังระยะที่เป็น Preset Stroke และจะหยุดอยู่ที่ตำแหน่งนี้ จากนั้นเมื่อฉีดแก๊สเข้ามา พลาสติกหลอมก็จะถูกดันกลับเข้ากระบอกฉีดในช่องด้านหน้าของสกรู

2.) พลาสติกหลอมจะถูกดันกลับโดยใช้การฉีดแก๊ส ในขณะที่สกรูถอยกลับระหว่างการหลอมเม็ดพลาสติกสำหรับการฉีดครั้งต่อไป

สำหรับกระบวนการนี้ปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปชิ้นงานคือ ความเร็วของสกรู (Screw Speed), แรงดันป้องกันการไหลย้อนกลับของพลาสติกหลอม (Back Pressure), แรงดันแก๊ส (Gas Pressure) และเวลาในการพักแก๊สด้วยแรงดัน (Gas Hold Time) จำเป็นต้องปรับตั้งค่าก่อนทำการขึ้นรูปชิ้นงาน และสิ่งที่ต้องพิจารณาควบคู่กันไปคือ พลาสติกหลอมจะถูกผลักกลับ โดยผ่านช่องลำเลียง (Runner) และสลัก (Sprue) ดังนั้นขนาดของทั้งสองส่วนต้องใหญ่มากพอที่จะทำให้เกิดการไหลย้อนกลับของพลาสติกหลอม (Melt Flow Back) เพื่อจะไม่ให้เกิดการหยุดไหลเนื่องจากการเย็นตัวของพลาสติกหลอม ข้อดีของกระบวนการนี้คือ ความหนาของชิ้นงานจะสามารถผลิตได้หนากว่าเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ผลิตจากกระบวนการฉีดไหลล้นแม่พิมพ์ (Overflow Cavity Process) เพราะว่าสามารถใช้เวลาหน่วง (Delay time) ที่นานกว่า, อัตราการขับดันพลาสติกหลอมช้ากว่ากระบวนการฉีดไหลล้นแม่พิมพ์ (Overflow Cavity Process) และช่วยลดปริมาณพลาสติกหลอมได้ แต่อย่างไรก็ดีข้อเสียคือคุณภาพของผิวชิ้นงานจะไม่ดีมากนัก เนื่องจากการได้รับความดันในการชดเชยการหดตัวที่ไม่เพียงพอ เพราะเกิดการเย็นตัวของพลาสติกหลอมในระหว่างที่แก๊สฉีดเข้าไปในอีกช่องหนึ่งของชิ้นงาน [13]

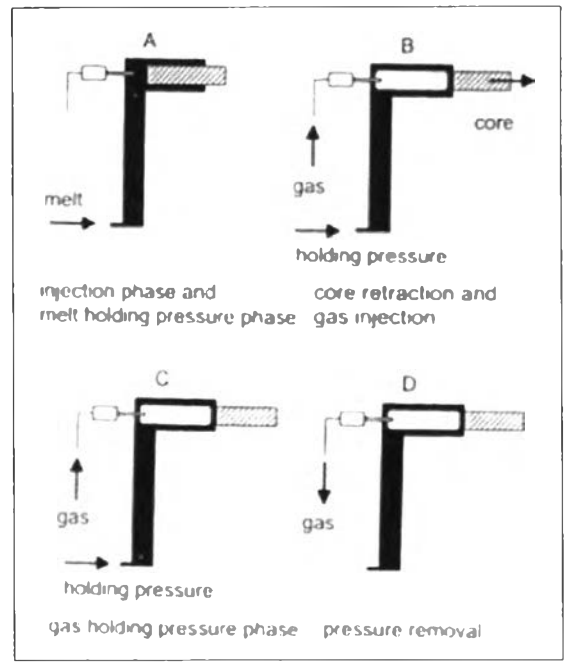


รูป 3.15 กระบวนการฉีดไหล้อนกลับ (Melt – Pushback Process) [3]

3.3.1.2.3) กระบวนการฉีดโดยผลักดันแกน (Core–Pull Process)

กระบวนการนี้จะฉีดแก๊สเพื่อดันแกนเหล็ก (Core) ที่อยู่ภายในแม่พิมพ์ แสดงดังรูป 3.16 เริ่มต้นโดยพลาสติกหลอมจะถูกฉีดเข้าแม่พิมพ์บางส่วนหรือเต็มทั้งแม่พิมพ์ จากนั้นแก๊สจะถูกดันเข้าแม่พิมพ์ ในขณะที่ชิ้นส่วนแกนเหล็ก (Core) เคลื่อนที่ออกจากแม่พิมพ์ โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกนเหล็กต้องสัมพันธ์กับความเร็วของแก๊ส กระบวนการนี้เหมาะสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีแกนเหล็ก (Core) กลวงตรงกลางที่มีขนาดใหญ่

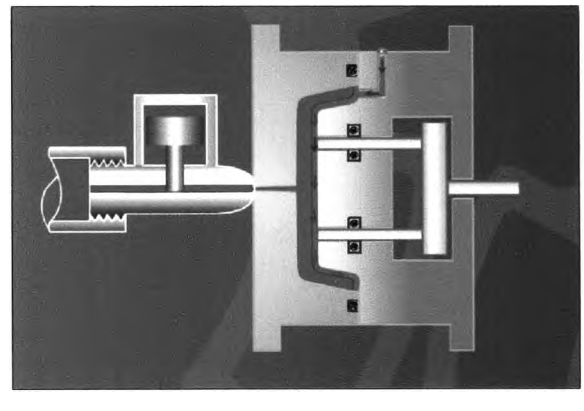
I 27469916



รูป 3.16 กระบวนการฉีดโดยผลักดันแกน (Core–Pull Process) [3]

3.3.2) เทคนิคแบบฉีดพลาสติกหลอมเต็มแม่พิมพ์ (Full–Shot Process)

กระบวนการฉีดแบบนี้พลาสติกหลอมจะถูกฉีดเข้าเต็มแม่พิมพ์ จากนั้นทำการฉีดแก๊สเข้าสู่แม่พิมพ์เพื่อชดเชยการหดตัวของพลาสติก แสดงดังรูป 3.17 ถ้าพลาสติกที่มีค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนาแน่นเมื่อเป็นของแข็งและความหนาแน่นเมื่อขณะหลอมน้อย เช่น โพลิสไตรลีน (Polystyrene: PS) แก๊สจะสามารถลดการหดตัวของชิ้นงานได้น้อย ในทางตรงข้ามพลาสติกเช่น โพลิโพรไพรลีน (Polypropylene: PP) หรือ โพลิเอสทิลีน (Polyethylene: PE) การชดเชยการหดตัวของชิ้นงานจะเกิดได้มากโดยเทคนิคนี้สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความหนาสูง ที่ปราศจากการโก่งงอและการยุบตัวของชิ้นงาน แต่ก็มีข้อเสียคือ ทำให้สิ้นเปลืองพลาสติกหลอมเนื่องจากชิ้นงานไม่มีช่องกลวงภายใน [3]



รูป 3.17 กระบวนการฉีดพลาสติกหลอมเต็มแม่พิมพ์ (Full-Shot Molding) [14]

3.4) การควบคุมการฉีดแก๊ส

การควบคุมการฉีดแก๊สสำหรับกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ

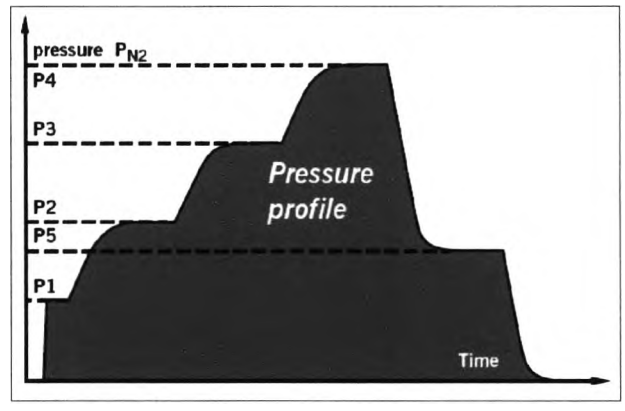
3.4.1) กระบวนการควบคุมด้วยแรงดัน (Pressure–Controlled Process)

เป็นกระบวนการซึ่งควบคุมโดยความดันแก๊สด้วยเครื่องสร้างความดันแก๊ส (Gas Compressor) สามารถผลิตแก๊สที่มีความดันตามที่ต้องการและสร้างแก๊สที่มีความดันอย่างต่อเนื่องได้ ข้อดีที่โดดเด่นคือ เครื่องผลิตแก๊สเครื่องเดียวสามารถจ่ายแก๊สที่มีความดัน และมีเวลาในการพักแก๊สแก่เครื่องฉีดได้หลายเครื่องในเวลาเดียวกันโดยผ่านสายต่อ กระบวนการนี้มีข้อดี 3 ประการคือ

1.) ความดันแก๊สที่ต้องการสามารถเกิดขึ้นได้ทันทีเมื่อเปิดวาล์วควบคุม

2.) ความดันแก๊สสามารถเพิ่มขึ้นหรือลดได้ตาม Pressure Profile

3.) ความดันแก๊สสามารถรักษาระดับไว้ได้ในแต่ละขั้นตอนของการพักแก๊สด้วยแรงดัน (Holding) ดังรูป 3.18 ดังนั้นจึงสามารถใช้เพื่อขจัดข้อบกพร่องบนผิวชิ้นงานได้ [14]

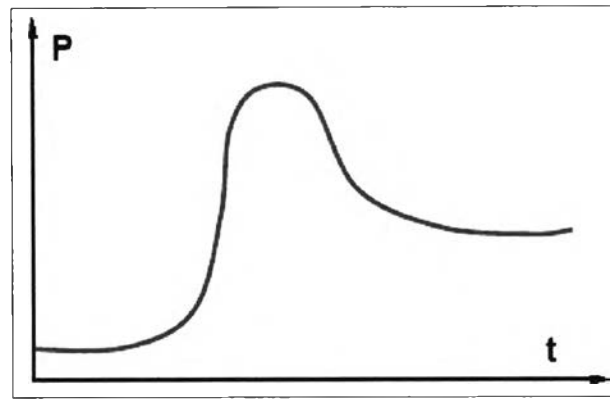


รูป 3.18 กระบวนการควบคุมแก๊สด้วยแรงดัน (Gas Pressure-Control Process) [14]

3.4.2) กระบวนการควบคุมด้วยปริมาตร (Volume–Controlled Process)

โดยกระบวนการนี้จะตรงข้ามกับกระบวนการควบคุมด้วยแรงดัน (Pressure–Controlled) โดยปริมาตรของแก๊สจะถูกควบคุมให้แน่นอนก่อนที่จะฉีดแก๊สเข้าสู่พลาสติกหลอม ความดันภายในชิ้นงานขึ้นอยู่กับอัตราการส่วนของปริมาตรชิ้นงานต่อปริมาตรของกระบอกอัด, เวลาและความเร็วของลูกสูบเป็นตัวควบคุมรูปร่างของชิ้นงานที่จะเกิดขึ้น ซึ่งความดันแก๊สในแม่พิมพ์ยากที่จะระบุให้ชัดเจนในระหว่างการฉีดแก๊สและเวลาในการเย็นตัวลงของชิ้นงาน (Cooling time) ซึ่งจะถูกกระทบจากหลายปัจจัย เช่น ความยาวของท่อนำแก๊ส, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องกลวงชิ้นงานและสายต่อซึ่งติดอยู่ระหว่างเครื่องสร้างความดันและแม่พิมพ์

ผลที่ตามมาก็คือ ความดันของแก๊ส (P) จะลดลงเมื่อเวลา (t) เพิ่มขึ้นและไม่สามารถควบคุมความดันแก๊สภายในแม่ พิมพ์ได้ แสดงดังรูป 3.19



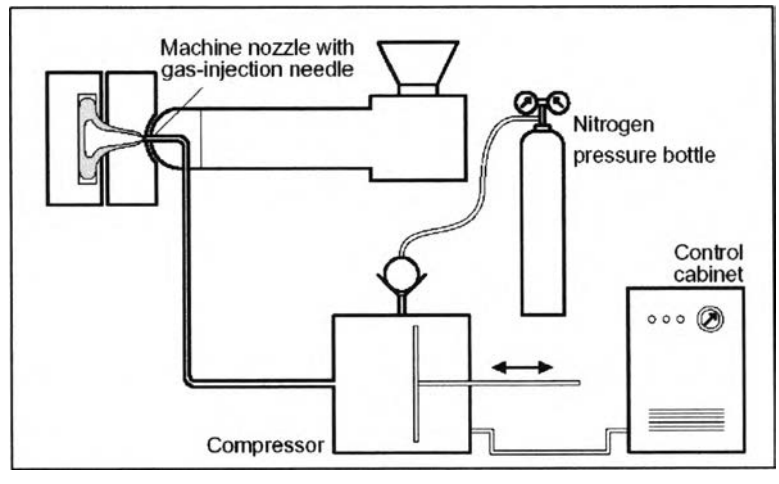
รูป 3.19 กระบวนการควบคุมแก๊สด้วยปริมาตร (Gas Volume-Control Process) [3]

3.5) <u>เครื่องมือและปกรณ์สำหรับกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย</u>

อุปกรณ์สำหรับกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยประกอบด้วยส่วนสำคัญ 6 ส่วนด้วยกันคือ

3.5.1) เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding)

เครื่องฉีดพลาสติกแบบเดิม (Conventional Injection Molding) สามารถนำมาใช้กับกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย ได้โดยเพียงแค่ต่อเชื่อมเครื่องฉีดเข้ากับชุดฉีดแก๊สโดยผ่านวาล์วควบคุม [11] แสดงดังรูป 3.20

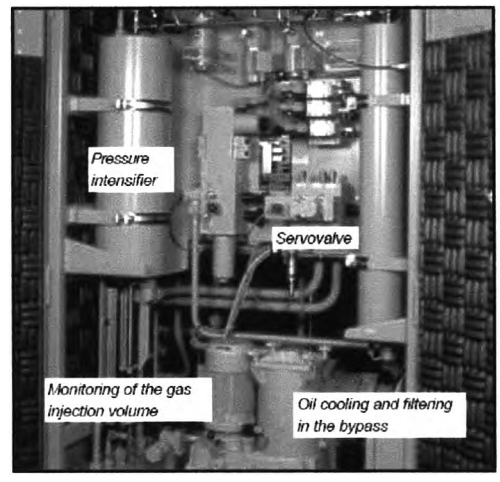


รูป 3.20 แสดงเครื่องฉีดสำหรับกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย [11]

3.5.2) ชุดสร้างความดันสำหรับแก๊ส (Pressure Generator Unit)

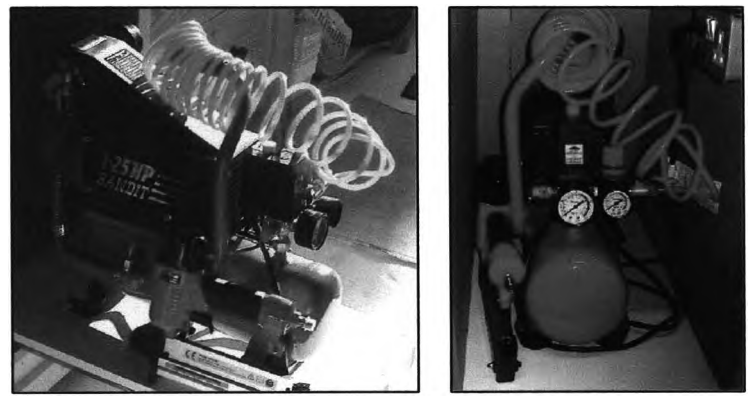
เครื่องผลิตความดันแก๊สมี 2 ระบบ ซึ่งประกอบด้วยระบบการสร้างความดันแก๊สที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง

3.5.2.1) ระบบการควบคุมโดยปริมาตร (Volume–Controlled) ความดันแก๊สจะไม่ต่อเนื่องซึ่งถูกสร้างโดยระบบลูกสูบ ซึ่งเครื่องฉีดแต่ละเครื่องต้องการชุดสร้างความดันหนึ่งเครื่อง ปริมาตรของแก๊สจะถูกควบคุมปริมาตรด้วยกระบอกสูบก่อนทำการฉีดเข้าแม่พิมพ์ ถ้าใช้แม่พิมพ์ตัวเดียวกันแต่ต่างขนาดของท่อแก๊สและสายต่อ ตัวแปรทั้งหมดต้องทำการหาค่าที่เหมาะสมต่อกระบวนการอีกครั้งหนึ่ง แสดงดังรูป 3.21



รูป 3.21 เครื่องมือควบคุมแรงดันโดยปริมาตร (Volume–Controlled) [13]

3.5.2.2) ระบบชุดสร้างความดันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งชุดนี้จะใช้กับกระบวนการควบคุมด้วยแรงดัน (Pressure–Controlled) แก๊สจะถูกสร้างความดันจากเครื่องอัดแก๊ส (Compressor) และส่งต่อไปยังเครื่องควบคุมการฉีดโดยผ่านสายต่อและข้อต่อต่างๆที่ทนความดันสูง โดยเครื่องสร้างความดันสามารถสร้างความดันได้สูงถึง 500 บาร์ ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องและจำนวนของเครื่องสร้างความดันแสดงดังรูป 3.22



รูป 3.22 ชุดสร้างความดันแก๊ส (Compressor)

3.5.3) การควบคุมความดันแก๊ส

ระบบควบคุมความดันแก๊สประกอบด้วย 2 ส่วน คือ หน่วยย่อย (Module) ที่ควบคุมความดันแก๊สและชุดควบคุมด้วยระบบมือถือ (Monomodule)

3.5.3.1) หน่วยย่อย (Module) ควบคุมความดันแก๊ส

หน้าที่ของหน่วยย่อยคือ ลดความดันของแก๊สให้ได้ค่าตามที่ต้องการ ก่อนการฉีดพลาสติกหลอมเข้าแม่พิมพ์ ในอดีตจะใช้วาล์วควบคุมเพื่อใช้ปรับความดันแก๊สที่ต้องการ แต่ในปัจจุบันได้พัฒนามาใช้วาล์วควบคุมแบบจำกัดความดัน ซึ่งสามารถควบคุมแรงดันจากระยะทางไกลได้เนื่องจากมีประสิทธิผลสูงกว่าและสะดวกกว่า โดยวาล์วจะทำการควบคุมแรงดันจนครบรอบกระบวนการทำงาน (Loop) แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ หน่วยย่อยควบคุมที่อยู่กับที่และหน่วยย่อยที่เคลื่อนที่ได้

3.5.3.1.1) หน่วยย่อยควบคุมที่อยู่กับที่

ชุดควบคุมความดันแก๊ส สามารถควบคุมแรงดันแก๊สได้ 5 ระดับในแต่ละหน่วยย่อยของการควบคุมซึ่งขึ้นอยู่กับเวลา, ความดันไฮดลอริกและความดันในแม่พิมพ์เป็นต้น ซึ่งสามารถนำไปติดตั้งบนแม่พิมพ์ได้ แสดงดังรูป 3.23

รูป 3.23 หน่วยย่อยควบคุมความดันแก๊สที่อยู่กับที่ [14]

3.5.3.1.2) หน่วยย่อยควบคุมที่เคลื่อนที่ได้

หลักการทำงานจะเหมือนกับหน่วยควบคุมที่อยู่กับที่ แต่ได้เปรียบกรณีที่สามารถใช้รวมกับแม่พิมพ์ได้หลายชิ้นงาน แสดงดังรูป 3.24

รูป 3.24 หน่วยย่อยควบคุมความดันแก๊สที่เคลื่อนที่ได้ [14]

3.5.3.2) ชุดควบคุมด้วยระบบมือถือ

เพื่อให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการป้อนข้อมูลสำหรับการฉีดแก๊สเช่น แรง ดันแก๊ส, ความเร็วในการฉีด หรือเวลาในการพักแก๊สด้วยแรงดัน เป็นต้น แสดงดังรูป 3.25

รูป 3.25 ชุดควบคุมด้วยระบบมือถือ [14]

3.5.4) ชนิดของหัวฉีดแก๊ส (Gas Nozzle)

การเลือกใช้หัวฉีดแก๊สชนิดใด ขึ้นกับตำแหน่งการฉีดของแก๊สสามารถทำได้ 3 ทางดังนี้

1.) ผ่านหัวฉีดพลาสติกหลอม (Nozzle Machine) ที่ติดอยู่กับกระบอกฉีด

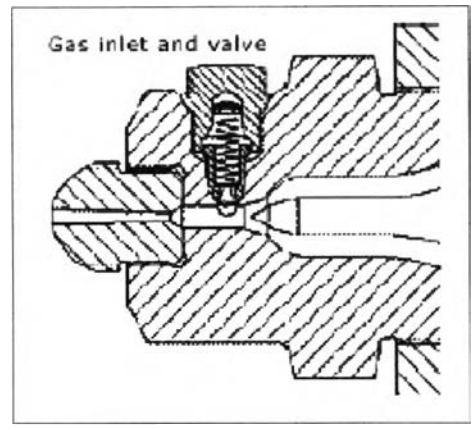
2.) ผ่านระบบช่องลำเลียงพลาสติกหลอม (In-Runner)

3.) แก๊สเข้าสู่แม่พิมพ์โดยตรง

แต่ละแบบต้องการอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน โดยลักษณะของชิ้นงานเป็นตัวกำหนดที่สำคัญ ที่จะเลือกชนิดของหัวฉีดแก๊ส

3.5.4.1) ผ่านหัวฉีดพลาสติกหลอม (Nozzle Machine)

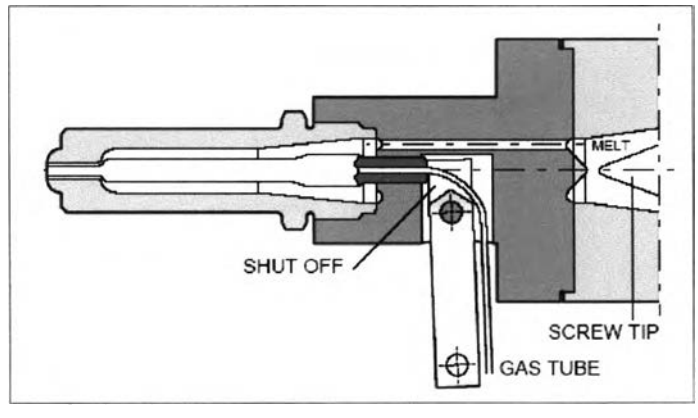
หัวฉีดแก๊สจะต่อเข้ากับเครื่องฉีดบริเวณหัวฉีดพลาสติกหลอม (Nozzle) แสดงดังรูป 3.26



รูป 3.26 แสดงตำแหน่งการติดตั้งของหัวฉีดแก๊สบริเวณหัวฉีดพลาสติกหลอม [3]

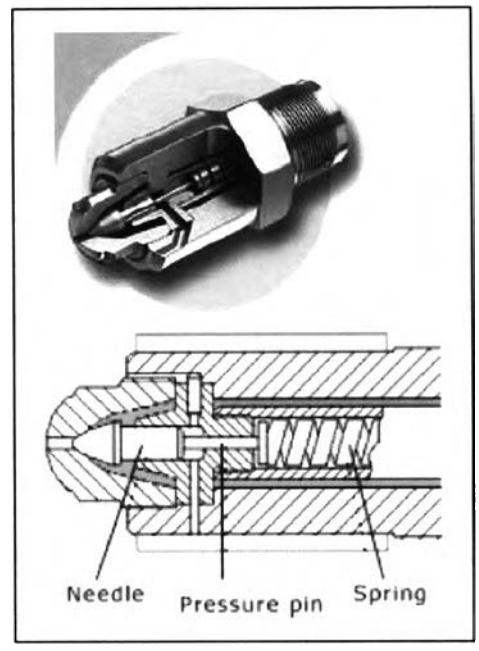
โดยพลาสติกหลอมและแก๊สจะฉีดผ่านช่องทางวิ่ง (Gate) เดียวกัน หัวฉีดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

3.5.4.1.1) หัวฉีดแบบเปิด แสดงดังรูป 3.27



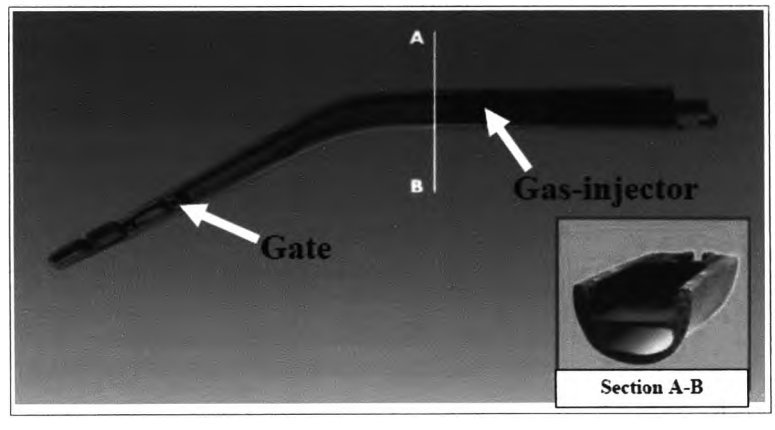
รูป 3.27 หัวฉีดแบบเปิด [11]

3.5.4.1.2) หัวฉีดแบบปิด แสดงดังรูป 3.28



รูป 3.28 หัวฉีดแบบปิด [14]

หลังจากแก๊สฉีดเข้าไปจะเกิดช่องอากาศขึ้นตรงบริเวณสลัก (Sprue) ตลอดแนวจนถึงช่องทางวิ่ง (Gate) สำหรับวิธีการฉีดแก๊สแบบนี้จะนิยมสำหรับฉีดชิ้นงานประเภทที่มีช่องกลวงยาวเพราะไม่มีต้นทุนของการปรับเปลี่ยนแม่พิมพ์และ สามารถใช้พลาสติกหลอมจำนวนเล็กน้อยในการปิดรูที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานแสดงดังรูป 3.29 ความซับซ้อนของหัวฉีดแบบปิดจะสูงกว่าหัวฉีดแบบเปิด การไหลของพลาสติกหลอมจะหยุดฉีดเมื่อมีการฉีดแก๊สเกิดขึ้นซึ่งเกิดจากกลไกที่ติดตั้งเพิ่มเติม หัวฉีดแบบปิดและหัวฉีดแบบเปิดจะมีลักษณะทางเรขาคณิตที่คล้ายกัน



รูป 3.29 ลักษณะทางวิ่ง (Runner) ของกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย [15]

3.5.4.2) ผ่านระบบช่องลำเลียง (In-Runner) หรือเข้าสู่แม่พิมพ์โดยตรง

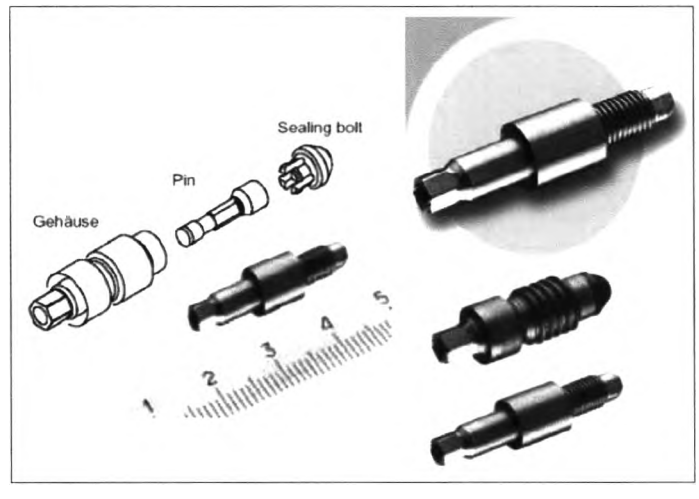
โดยแก๊สที่ถูกฉีดเข้าที่ตำแหน่งช่องลำเลียงหรือเข้าไปยังแม่พิมพ์โดยตรงจะเรียกเหมือนกันว่า "หัวฉีดแก๊สที่แม่พิมพ์ (Mold Nozzle) หรือหัวฉีดที่ติดอยู่กับแม่พิมพ์โดย Mold Nozzle สามารถแบ่งออกเป็นสองชนิดคือ

3.5.4.2.1) หัวฉีดเข้าแม่พิมพ์แบบอยู่นิ่ง

3.5.4.2.2) หัวฉีดเข้าแม่พิมพ์แบบหดตัวได้

หัวฉีดแบบอยู่นิ่งกับที่จะฝังอยู่ในแม่พิมพ์ในทิศทางเดียวกันกับทิศทางที่เปิดแม่พิมพ์ หัวฉีดมีขนาดเล็ก (3–5 mm.) และง่ายต่อการติดตั้ง

หัวฉีดแบบหดตัวได้จะนำมาใช้ในกรณีที่การฝังหัวฉีด ในทิศทางเดียวกับการเปิดแม่พิมพ์ไม่สามารถทำได้เนื่องจากเหตุผลทางด้านการออกแบบ โดยหัวฉีดแบบนี้จะสามารถหัดตัวกลับก่อนที่แม่พิมพ์จะปิดด้วยกลไกการออกแบบ (Mechanics) ดังนั้นการพักแก๊สด้วยความดันจะทำได้ดี ในกรณีที่แก๊สสามารถฉีดเข้าแม่พิมพ์ได้อย่างอิสระและสามารถควบคุมได้โดยใช้หน่วยย่อย (Module) เพื่อควบคุมแรงดันที่ใช้ในการฉีดแก๊ส แสดงดังรูป 3.30 แสดงตัวอย่างหัวฉีดแก๊ส (Gas Nozzle)



รูป 3.30 หัวฉีดที่ฉีดเข้าแม่พิมพ์แบบอยู่นิ่งสำหรับการฉีดแก๊สผ่านก้านแยกไหลหรือเข้าแม่พิมพ์โดยตรง [14]

ข้อดีของทั้ง 2 ระบบนี้ที่เหนือกว่าการฉีดแก๊สผ่านหัวฉีดแก๊ส (Nozzle) คือ

1.) เนื่องจากสามารถฉีดพลาสติกหลอมและแก๊สได้หลายตำแหน่งดังนั้นสามารถหาจุดที่เหมาะสมที่สุดที่จะเป็นทางวิ่งของแก๊สได้

2.) หัวแก๊สสามารถทำการฉีดเข้าแม่พิมพ์ได้หลายหัว

3.) ช่องแก๊สภายในชิ้นงานสามารถควบคุมการไหลได้ง่าย

4.) การออกแบบชิ้นงานมีความหลากหลายมากขึ้น

5.) เพิ่มประสิทธิผลของการขึ้นรูปเพราะว่าการฉีดแก๊สโดยผ่านหัวฉีด จะถูกควบคุมโดย หน่วยย่อยที่ควบคุมความดันแก๊สเพียงตัวเดียว

3.5.5) ชุดดึงแก๊สออก

ก่อนที่ชิ้นงานจะถูกดันออกจากแม่พิมพ์ แก๊สจะถูกปล่อยออก การดึงแก๊สออกนี้สามารถได้ 2 วิธีคือ

3.5.5.1) ปล่อยออกสู่บรรยากาศ

3.5.5.2) ดึงแก๊สกลับเข้าสู่ระบบเพื่อการนำมาใช้ใหม่

โดยวิธีที่ 2 เป็นการลดต้นทุนได้สูงกว่า แต่ประเด็นอยู่ที่ว่าจะสามารถดึงแก๊สที่มีความบริสุทธิ์สูงพอกลับมาใช้ได้หรือไม่ เพราะว่าแก๊สที่ดึงกลับมาจะประกอบไปด้วยแก๊สที่ระเหยได้ซึ่งมีสารชะลอการติดไฟ, สารเติมแต่งและสารอื่น ๆ ปะปนมาด้วย ถึงแม้ว่าจะมีการนำแก๊ที่ระเหยได้ออกแล้วก็ตาม แต่ความบริสุทธิ์ของแก๊สก็ยังเป็นสิ่งที่ยังไม่แน่นอน

ผู้ผลิตจะไม่สามารถทราบได้ว่าจะขึ้นรูปชิ้นงานด้วยพลาสติกชนิดใด มีสารเติมแต่งชนิดใดบ้าง ซึ่งเป็นเหตุผลที่ว่าทำไมผู้ขายเครื่องฉีดแก๊สจึงไม่นำชุดดึงแก๊สกลับมาขายร่วมด้วย ดังนั้นแก๊สที่จะปล่อยออกจึงมักปล่อยออกไปยังบรรยากาศ

3.5.6) ระบบช่องลำเลียงร้อน (Hot Runner)

วัตถุประสงค์หลักของการใช้ระบบช่องลำเลียงร้อนคือ ต้องการลดปริมาณพลาสติกหลอมที่เสีย (Scrap) ที่เกิดขึ้นหลังการขึ้นรูปชิ้นงาน ในกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย การใช้ระบบทางลำเลียงร้อนนั้นจำเป็นในแง่ของการศึกษาพฤติกรรมของแก๊สขณะฉีดเข้าไปในพลาสติกหลอม ถ้ามีระบบทางลำเลียงร้อนที่มีอุณหภูมิสูง การควบคุมการไหลของแก๊สจะทำได้ยากขึ้น เพียงแต่ความแตกต่างของลักษณะทางรูปทรงเรขาคณิตหรืออุณหภูมิของการไหล เพียงเล็กน้อยสามารถก่อให้เกิดการไหลของแก๊สที่ไม่เรียบในช่องทางไหลนั้นได้ ในการขึ้นรูปโดยใช้กระบวนการฉีดแบบใช้แก๊สช่วย การใช้ระบบทางลำเลียงร้อนนั้นจะทำให้เกิดการผสมกันระหว่างแก๊สและพลาสติกหลอมซึ่งก่อให้เกิดรอยประกายเงิน (Silver Mark) ขึ้นบนผิวชิ้นงาน และยังทำให้ปริมาณพลาสติกหลอมที่ฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ไม่คงที่อีกด้วย ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงการใช้ระบบทางลำเลียงร้อนในกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย

3.6) <u>แก๊สที่ใช้สำหรับกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย</u>

แก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สที่ใช้กันเป็นมาตรฐานสำหรับกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย เพราะด้วยข้อดีหลายประการคือ มีสมบัติเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี, ราคาถูก, และหาได้ง่ายโดยทั่วไป แท้จริงแล้วแก๊สเฉื่อยชนิดอื่น

สามารถใช้ได้แต่ราคาอาจจะสูงกว่า ส่วนแก๊สออกซิเจนไม่ควรใช้เพราะอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) กับโพลิเมอร์ที่ใช้ในการขึ้นรูป สำหรับอุตสาหกรรมที่ใช้กระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยในการผลิตเป็นกระบวนการหลัก อาจเลือกใช้เครื่องสร้างไนโตรเจนซึ่งจะประหยัดกว่าในระยะยาว

3.7) <u>พลาสติกที่จะใช้กับกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย</u>

พลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกจะถูกใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งแสดงวัสดุที่เหมาะสมกับกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย วัสดุที่มีโครงสร้างเป็นผลึกเช่น โพลิโพรไพลีน (Polypropylene), ไนล่อน (Nylon) และ โพลิบิวไทลีน เทเลฟทาเลต (Polybutylene terepthalate: PBT) จะมีข้อได้เปรียบเนื่องจากเป็นวัสดุที่การเปลี่ยนแปลงจุดหลอมเหลวเร็วและความหนืดต่ำ ซึ่งง่ายต่อการแทรกผ่านของแก๊ส

ตาราง 3.1 แสดงพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการ GAIM [10]

Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)	Polyethylene terephthalate (PET), glass-reinforced
Acrylonitrile butadiene styrene/polycarbonate (ABS/PC)	Modified polyphenylene ether or modified polyphenylene oxide (M-PPE or M-PPO)
Acetal	Polypropylene (glass and mineral grades)
Hi-Impact Polystyrene (HIPS)	Polystyrene
Polyamide (nylon) (unfilled and glass-filled grades)	Polysulfone
Polybutylene terephthalate (PBT) (glass-reinforced grades)	Polyvinyl chloride (PVC)
Polycarbonate	Syndiotactic polystyrene (SPS)
Polyetherimide	
Polyethylene (HDPE)	

วัสดุที่เลือกใช้ต้องขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการใช้งาน เช่น ความแข็งแรง, การคงรูปที่อุณหภูมิสูงและความต้านทานต่อสารเคมี และจากการทดลองพบว่าเมื่อความหนืดของโพลิเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนาของโพลิเมอร์บริเวณที่มีแก๊สวิ่งผ่านมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งการทดลองนี้สาธิตโดยบริษัท GE Plastics สำหรับวัสดุโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) และ PBT โดยความหนืดของโพลิเมอร์นั้นสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ตามอุณหภูมิการหลอมเหลวระหว่างกระบวนการฉีด ซึ่งก็คือเมื่ออุณหภูมิในการหลอมเหลวมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนืดมีค่าลดลงและความหนาของโพลิเมอร์บริเวณที่มีแก๊สวิ่งผ่านจะมีค่าลดลง โดยวัสดุที่ใช้อาจมีคุณสมบัติพิเศษสำหรับกระบวนการนี้

ส่วนกรณีของพลาสติกชนิดเทอร์โมเซตติ้งนั้นจะสามารถใช้ร่วมกับ กระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยได้นั้น วัสดุพลาสติกชนิดเทอร์โมเซตติ้งนั้นต้องมีการไหลแบบราบเรียบเท่านั้น (Laminar Flow) ถ้าเป็นการไหลแบบไม่ราบเรียบ (Turbulent Flow) ไม่แนะนำให้ใช้เทคโนโลยีนี้ โดยทำการทดลองกับเครื่องจักรของบริษัท Battenfeld

โดยพื้นฐานวัสดุโพลิเมอร์หลอมเมื่อเข้าสู่แม่พิมพ์จะไหลแบบไม่ราบเรียบ (Non-Laminar Flow) ซึ่งเกิดจากแรงเสียดทานระหว่างพลาสติกหลอมและผิวภายในของแม่พิมพ์ ด้วยเหตุนี้พลาสติกหลอมที่ไหลอยู่ทางด้านหน้า (Flow Front) จะไม่สามารถแพร่กระจายเข้าหาผิวของแม่พิมพ์ และเป็นบริเวณที่มีความดันต่ำ จากการที่บริเวณนี้มีความดันต่ำเมื่อมีแก๊สที่มีความดันสูงผ่านมา จึงไม่สามารถต้านทานการไหลของแก๊สได้ เป็นผลให้แก๊สสามารถผ่านพลาสติกหลอมไปได้

การทำงานของ Bettenfeld นั้นพลาสติกเทอร์โมเซตติ้งจะเป็นการไหลแบบไม่ราบเรียบ (Non-Laminar Flow) เป็นผลให้แก๊สไม่สามารถเปลี่ยนรูปเป็นฟองอากาศ แต่จะวิ่งผ่านทะลุพลาสติกหลอมออกมา

พลาสติกเทอร์โมเซตติ้งที่นำมาทำการศึกษาคือ ฟีนอลฟลอมาดีไฮด์ (Phenolformadehyde), ยูเรีย ฟลอมาดีไฮด์ (Urea Formaldehyde), เมลาไมด์ฟลอมาดีไฮด์ (Melamine Formaldehyde), เมลาไมล์ ฟลีนอล ฟลอมาดีไฮด์ (Melamine Phenol Formaldehyde), โพลิเอสเตอร์แบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester) และ อีป๊อกซี (Epoxy)

โดยทั่วไปพบว่า เรซินที่มีส่วนผสมของสารอินทรีย์จะแสดงการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) ซึ่งสามารถใช้ได้กับกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย ในทางตรงกันข้ามถ้ามีส่วนผสมของสารอินทรีย์ เมื่อขณะไหลจะเกิดแรงเฉือนขึ้น เป็นผลให้ไม่สามารถนำมาใช้ร่วมกับกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย เพราะฉะนั้นเมื่อวางแผนที่จะใช้พลาสติกเทอร์โมเซตติ้งร่วมกับกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย เพื่อให้สามารถแน่ใจว่าสามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ แม่พิมพ์ความจะออกแบบง่ายๆ เพื่อใช้ในการทดลองฉีดก่อน ในการตรวจสอบการขึ้นรูปของชิ้นงานก่อน เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต

การใช้กระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย จะช่วยให้ชิ้นงานมีน้ำหนักลดลง, แรงดันในการฉีดชิ้นงานลดลง จากเหตุผลทั้งสองนี้จะช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้ แต่การใช้ร่วมกับพลาสติกเทอร์โมเซตติ้งต้องคำนึงถึงข้อจำกัดที่ได้กล่าวมาข้างต้น

3.8) ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย

ศักยภาพของกระบวนการนี้มีหลากหลายประการคือ

1.) ลดการยุบตัวหรือการหดตัวของชิ้นงานได้ดีมาก
2.) ลดความดันตกค้าง (Residual Pressure) ภายในชิ้นงาน
3.) ปรับปรุงความเสถียรของขนาดชิ้นงานให้สูงขึ้น
4.) เพิ่มความหลากหลายในการออกแบบชิ้นงาน
5.) ลดแรงยึดแม่พิมพ์
6.) ให้ชิ้นงานที่มีผิวที่สวยงาม
7.) เพิ่มความสามารถในการทำ Past integration

8.) ลดต้นทุนในแง่ของพลังงาน, เวลา, เรซินที่ใช้

ในทางตรงข้าม กระบวนการนี้ย่อมมีข้อเสียบ้างเช่นกัน ได้แก่

1.) ไม่สามารถนำไปผลิตชิ้นงานที่ลักษณะขวดหรือ ไม่อาจนำมาทดแทนกระบวนการเป่า (Blow molding)

2.) พลาสติกที่ใช้ถ้ามีค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index: MFI) สูงมากอาจไม่เหมาะสมเพราะอาจเกิดการทะลุของพลาสติกหลอม (Melt front) ในขณะฉีดแก๊ส

3.) ถ้าพลาสติกที่ใช้มีความใสจะทำให้เห็นการแยกไหลคล้ายนิ้วมือ ภายในชิ้นงานซึ่งอาจทำให้ความสวยงามของชิ้นงานลดลง ดังรูป 3.2

4.) หลังจากขึ้นรูปเสร็จจะมีรู จากการฉีดแก๊สเหลืออยู่อาจจำเป็นต้องมีการผนึกรูที่เกิดขึ้น

5.) อาจมีต้นทุนเพิ่มในแง่ของชุดฉีดแก๊ส, หัวฉีดแก๊สและค่าลิขสิทธิ์

3.9) ข้อจำกัดในการออกแบบ (Design Consideration)

การออกแบบชิ้นงานเพื่อให้เหมาะสมที่สุด ที่จะนำมาใช้ร่วมกับกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยจุดที่ให้ความสำคัญมี 3 จุดคือ

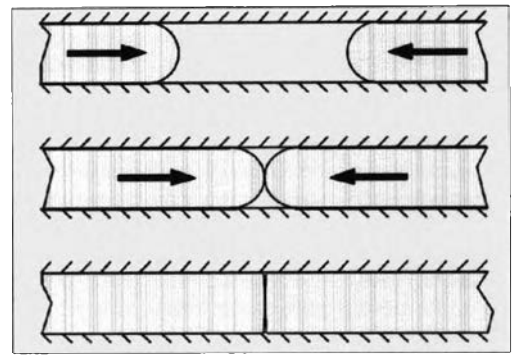
1.) ตำแหน่งของช่องแก๊สที่เหมาะสมที่สุด

2.) ขนาดของช่องแก๊สที่มีอัตราส่วนที่เหมาะสมกับชิ้นงาน

3.) โพลิเมอร์ที่ไหลเข้าแม่พิมพ์ต้องมีความสมดุล (Material Balance)

ตำแหน่งของช่องแก๊สภายในชิ้นงานจะสัมพันธ์กับตำแหน่งทั้งสองคือ ตำแหน่งทางเข้าของแก๊ส (Gas Nozzle) และตำแหน่งทางข้าของพลาสติกหลอมในแม่พิมพ์ แก๊สจะไหลไปตามเส้นทางที่มีความต้านทานต่ำ นั่นคือเส้นทางที่มีแรงดันต่ำที่สุดหรือที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด และชิ้นงานส่วนที่มีความหนามากกว่าจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณส่วนที่บางกว่า จากปัจจัยดังกล่าวทำให้เราสามารถบังคับให้แก๊สไหลไปในทิศทางที่ต้องการได้ โดยหลังจากฉีดพลาสติกหลอมเข้าสู่แม่พิมพ์ หลังจากนั้นฉีดแก๊สตามเข้าไป จากความแตกต่างของความดันเป็นผลให้แก๊สสามารถสร้างช่องภายในชิ้นงาน และเมื่อยังคงแรงดันไว้ (Gas Holding) จนกระทั่งพลาสติกหลอมเกิดการแข็งตัว เมื่อนำแก๊สออกทำให้ช่องว่างขึ้น โดยที่พลาสติกหลอมไม่สามารถไหลมาแทนที่ได้ [15]

สิ่งที่ต้องพิจารณาอีกข้อคือ ตำแหน่งทางวิ่งของช่องแก๊ส ไม่ควรมาบรรจบกัน (Close Loop Channel) ซึ่งจะก่อให้เกิดปริมาณของพลาสติกหลอมที่ตั้งค้างอยู่ระหว่างช่องแก๊ส แสดงดังรูป 3.31



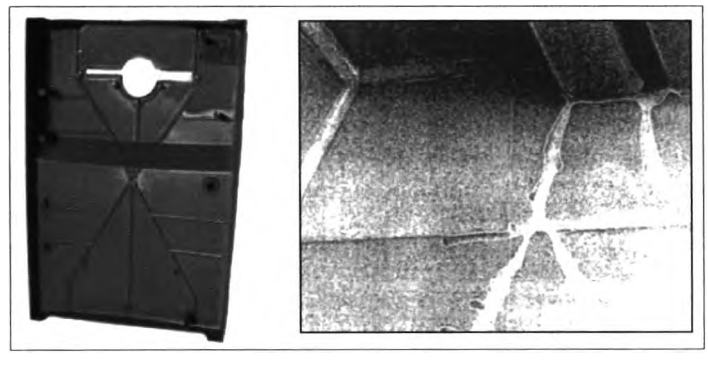
รูป 3.31 แสดงการไหลของพลาสติกหลอมที่มาบรรจบกัน (Weld line) [16]

ขนาดของช่องแก๊สเริ่มที่อัตราส่วนต่ำสุดเท่ากับ 2:1-2.5:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างขนาดของช่องแก๊สต่อขนาดของชิ้นงานที่ตำแหน่งที่เล็กที่สุด ในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของแก๊ส สวนอัตราส่วนสูงสุดขึ้นกับขนาดรูปร่างของชิ้นงานและตำแหน่งของช่องแก๊สภายในชิ้นงาน โดยรูปร่างของช่องแก๊สจะเปลี่ยนแปลงไปตามรูปทรงเรขาคณิตของบริเวณที่แก๊สวิ่งผ่าน ดังรูปที่ 1.15 ซึ่งเป็นตัวอย่างของรูปทรงของช่องแก๊ส

ความไม่เหมาะสมของขนาดของช่องแก๊สก่อให้เกิดปัญหาต่างๆขึ้น จากการใช้กระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย อาทิ พลาสติกหลอมด้านหน้าไม่แข็งตัว (Melt Front Freeze-Off), เกิดรอยนิ้วมือบนผหนังส่วนที่บาง หรือแก๊สวิ่งผ่านทะลุพลาสติกหลอม

Freeze-Off เกิดขึ้นเมื่อแรงดันของแก๊สไม่เพียงพอที่จะดันพลาสติกหลอมให้เต็มแม่พิมพ์ได้ เพราะว่าแรงดันแก๊สมีค่าน้อยกว่าแรงดันจากเครื่องฉีดพลาสติก (Conventional Injection) เมื่อแก๊สวิ่งในระยะทางที่ไกลผ่านไปยังส่วนที่มีความบาง มีผลให้แก๊สไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้อีก

รอยนิ้วมือ (Gas Fingering) เกิดขึ้นเมื่อแรงดันของแก๊สต่ำ สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิในการหลอมเหลว และการฉีดแก๊สเข้าสู่ชิ้นงานต้องทำอย่างรวดเร็ว [17] แสดงดังรูป 3.32

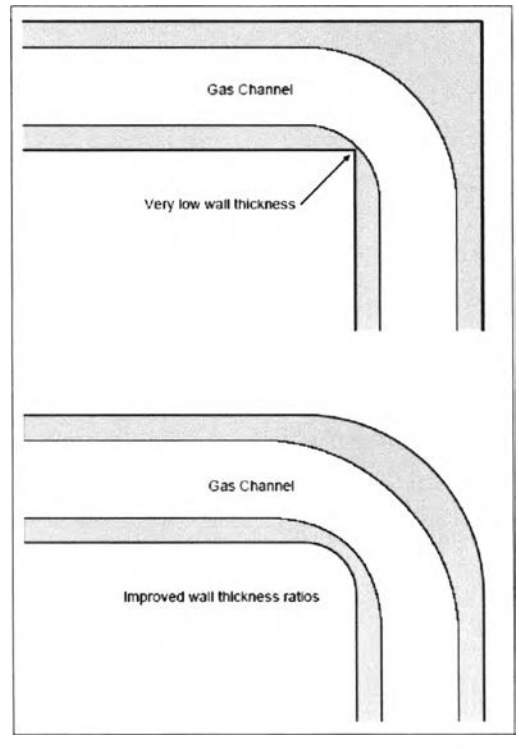


รูป 3.32 แสดงปรากฏการณ์แยกไหลคล้ายนิ้วมือ (Gas Fingering) [17]

Gas Blow-Out เกิดขึ้นเมื่อแก๊สที่ฉีดเข้าชิ้นงานแพร่ผ่านไปยังส่วนหน้าการไหลของพลาสติกหลอม (Flow Front) ซึ่งสาเหตุหลัก 2 ประการที่ทำให้เกิดการ Blow out คือ เมื่อปริมาณเนื้อพลาสติกหลอมที่ฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์มีปริมาณที่น้อยเกินไป และเมื่อฉีดแก๊สเข้าสู่ชิ้นงานก่อนเวลาที่เหมาะสม

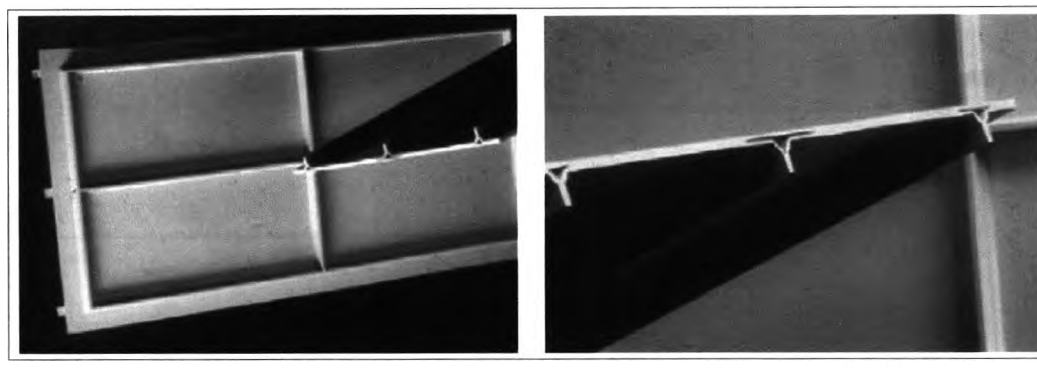
การเติมพลาสติกหลอมเข้าสู่แม่พิมพ์ต้องให้เกิดความสมดุลในการไหล (การไหลของพลาสติกหลอมให้เต็มแม่พิมพ์ในเวลาที่ใกล้เคียงกันในแต่ละส่วน) จะพิจารณาเมื่อช่องทางวิ่งของแก๊สมีการเชื่อเข้าหากันหรือเมื่อช่องทางวิ่งของแก๊ส แยกออกเป็นหลายทางภายในชิ้นงาน ระหว่างที่แก๊สวิ่งผ่านทะลุพลาสติกหลอม แก๊สจะวิ่งเข้าไปแทนที่พลาสติกหลอมภายในชิ้นงานเกิดเป็นช่องว่างขึ้นภายใน ด้วยเหตุนี้เมื่อชิ้นงานนั้นมีการวิ่งของแก๊สหลายๆ ทางเกิดขึ้น จึงจำเป็นที่ต้องพิจารณาความสมดุลในการเต็มของพลาสติกหลอม ถ้าปริมาณแก๊สวิ่งผ่านในช่องทางหนึ่งมากจะมีผลต่อการไหลของแก๊สเข้าสู่ชิ้นงานในอีกช่องทางหนึ่ง ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหานี้ โดยการปรับขนาดของช่องแก๊สให้เหมาะสมกับขนาดชิ้นงานในแต่ละตำแหน่ง

การไหลผ่านบริเวณที่เป็นมุมของชิ้นงาน จำเป็นต้องทำการตรวจสอบพิจารณา เมื่อใช้ร่วมกับกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย เพื่อใช้ในการออกแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของมุม ซึ่งแก๊สจะวิ่งเลี้ยวไปในทิศทางของชิ้นงานแต่จะวิ่งในระยะทางที่สั้นที่สุด นั่นหมายความว่าแก๊สจะวิ่งเข้าหามุมด้านในของชิ้นงาน เป็นผลให้ความหนาของชิ้นงานบริเวณมุมไม่สม่ำเสมอ โดยบริเวณมุมด้านในจะมีความหนาน้อยกว่ามุมด้านนอกของชิ้นงาน [18] แสดงดังรูป 3.33



รูป 3.33 แสดงการไหลของแก๊สผ่านบริเวณมุมของชิ้นงาน [11]

ชิ้นงานสามารถเพิ่มความแข็งแรงและการคงรูปของชิ้นงานได้โดยการเพิ่มโครงค้ำ (Rib) ที่เป็นแบบทั่วไป หรือการเพิ่มประสิทธิภาพของโครงกระดูกสามารถทำได้ โดยการให้มีช่องการไหลของแก๊สอยู่ภายในบริเวณโครงค้ำ แสดงดังรูป 3.34



รูป 3.34 แสดงผลของการใช้กระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยที่บริเวณโครงค้ำ [14]

ในกรณีที่โครงค้ำ (Rib) มีขนาดเล็กอาจไม่จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยได้ แต่เมื่อโครงค้ำมีขนาดที่ใหญ่มากขึ้น การนำเทคโนโลยีกระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยมาใช้จะมีความจำเป็นอย่างมากเพื่อลดปัญหาจากคุณภาพของชิ้นงานหลังกระบวนการผลิตได้ (ผิวชิ้นงานอาจเกิดรอยยุบตัวของพลาสติกได้ (Sink Mark)) อีกทั้งสามารถลดต้นทุนการผลิตและน้ำหนักชิ้นงานที่ลดลงตามลำดับ [19]

3.10) <u>การประยุกต์ใช้งาน</u>

การใช้กระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยในการผลิตชิ้นงาน ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันพบว่ามีข้อดีมากมายทำให้ผู้ผลิตจึงเลือกใช้เทคนิคนี้เป็นจำนวนมาก โดยเทคนิคนี้ทำให้เกิดชิ้นงานที่มีความซับซ้อนสูงขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ตอบสนองความต้องการที่มากขึ้น ชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปแบบฉีดโดยใช้แก๊สช่วยสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ

1.) ชิ้นงานรูปแท่ง (Rod-Shaped Part)

2.) ชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยม (Panel-Shaped Parts)

3.) ชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมโดยมีการเพิ่มความหนาของผนังเฉพาะตำแหน่ง (Panel-Shaped Parts with locally increased wall thickness)

3.10.1) ชิ้นงานรูปแท่ง

ชิ้นงานรูปแท่งหรือมักเป็นชิ้นงานที่มีช่องกลวงภายในชิ้นงานและมีความหนาของชิ้นงานสูง ตัวอย่างเช่น ท่อ, ด้ามจับ และกรอบต่างๆ แสดงดังรูป 3.35

รูป 3.35 แสดงตัวอย่างชิ้นงานรูปแท่ง [14]

โดยปกติชิ้นงานรูปทรงนี้มักทำการขึ้นรูปได้ง่ายเนื่องจากมีรูปทรงไม่ซับซ้อน ไม่มีส่วนที่เป็นผนังบางทำให้การเคลื่อนที่ของแก๊สดำเนินไปอย่างอิสระ ข้อดีของการใช้กระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย ในการผลิตชิ้นงานประเภทนี้คือ

1.) ลดเวลาในการหล่อเย็น (Cooling time) ได้ 50% ทำให้ช่วงเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงานลดลง

2.) ประหยัดพลาสติกหลอมที่ใช้

3.) สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความหนามากๆ ได้ภายในการผลิตครั้งเดียว และปราศจากการยุบตัว (Sink Mark)

4.) ได้ชิ้นงานที่มีการโก่งงอต่ำ (Warpage) และความดันของช่องว่างในแม่พิมพ์ (Cavity Pressure) มีความสม่ำเสมอ

5.) สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความสลับซับซ้อนให้ลักษณะชิ้นเดียวเนื่องจากเป็นชิ้นเดียวจึงไม่มีรอยเชื่อมและมีความแข็งแรงสูง ในขณะที่การขึ้นรูปโดยการฉีดแบบเดิมต้องฉีดออกมาเป็นชิ้นส่วนแล้วจึงนำมาประกอบกัน

3.10.2) ชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยม

รูป 3.36 แสดงด้านล่างของโต๊ะที่ใช้ในสวน (Garden table) [14]

จากรูป 3.36 เป็นชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมโดยมีผนังบางที่ใช้เสริมแรงเป็นลักษณะโครงค้ำ (Rib) ที่ได้จากการขึ้นรูปจากการฉีดแบบเดิมโดยมีช่องแก๊สปรากฏอยู่ที่โครงค้ำ (Rib) โดยถ้าใช้การฉีดแบบเดิมจะมีความยุ่งยากจึงหันมาใช้เทคนิคนี้ด้วยเหตุผลคือ

1.) ต้องใช้แรงในการยึดแม่พิมพ์ (Clamp Force) สูงเนื่องจาก พื้นที่ผิวที่รองรับความดันมีขนาดใหญ่

2.) เนื่องจากมีความเค้นตกค้างในชิ้นงานสูง (Residual Stress) มักทำให้เกิดการโก่งงอ

3.) มักปรากฏการยุบตัวในจุดที่มีโพลิเมอร์เกิดการสะสมมาก

4.) ความแข็งแรงและความเสถียรของชิ้นงานมักถูกจำกัดจากอัตราการผลิต

3.10.3) ชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมโดยมีการเพิ่มความหนาของผนังเฉพาะตำแหน่ง

ชิ้นงานลักษณะนี้จะมีความหนา-บางไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน ซึ่งเป็นปัญหาในการผลิตจากการฉีดขึ้นรูปแบบเดิมคือ จะเกิดการยุบตัว (Sink Mark) ซึ่งมักปรากฏในชิ้นงานที่มีความหนา ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้กระบวนการฉีดโดยใช้แก๊สช่วยซึ่งขั้นตอนการพักแก๊สด้วยแรงดัน (Holding) จะแก้ไขโดยการชดเชยการยุบตัวของชิ้นงานบริเวณที่มีความหนาสูง นอกจากนั้นยังมีข้อดีอื่นอีกเช่น

1.) ผลิตชิ้นงานที่มีความหนาเฉพาะตำแหน่งได้ภายในการผลิตครั้งเดียวและชิ้นงานปราศจากรอยเชื่อมต่อของแต่ละชิ้นด้วย

2.) การออกแบบชิ้นงานสามารถออกแบบให้มีความซับซ้อนและได้ความแข็งแรงของชิ้นงานตามที่ต้องการ

ชิ้นงานชนิดนี้ยากที่จะออกแบบและขึ้นรูป เนื่องจากอาจเกิดการแพร่ของแก๊สเข้าสู่บริเวณที่เป็นผนังบางอาจทำให้เกิดปรากฏการณ์แยกไหลคล้ายนิ้วมือ (Fingering หรือ Finger Effect) ได้

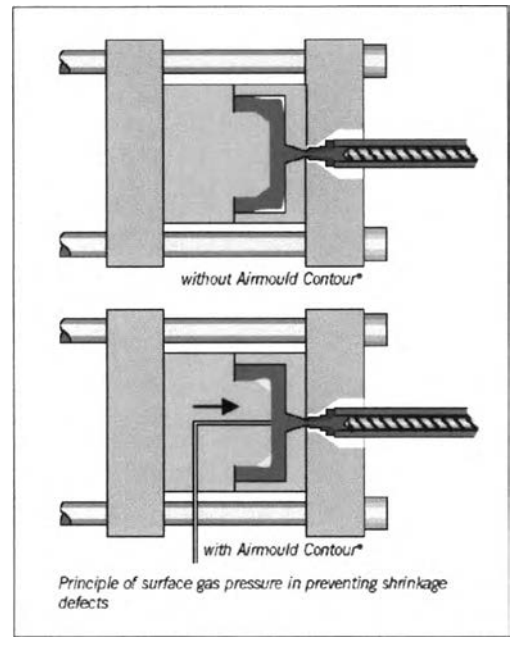
3.11) <u>การพัฒนาและความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการขึ้นรูปชิ้นงาน</u>

ทั่วโลกนี้มีอยู่มากกว่า 50 บริษัท ที่ใช้เทคโนโลยีการฉีดโดยใช้แก๊สช่วย ซึ่งมีการนำเทคโนโลยีนี้มาประยุกต์เพื่อให้เหมาะสมแต่ละชิ้นงานและกระบวนการผลิต

"External Gas-Assisted Injection Molding" ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีการนำมาใช้ได้หลายปีแล้ว แต่พึ่งจะมีความสำคัญในช่วงปัจจุบันนี้เองโดยบริษัท Battenfeld, Asahi, Incoc และ Gas Injection Limited ต่างกล่าวว่านี่เป็นเทคโนโลยีที่นำมาใช้งานเพื่อให้ได้งานที่มีคุณภาพผิวชิ้นงานที่สวยงาม

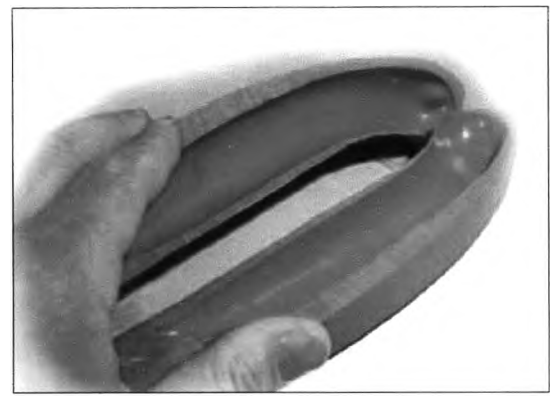
"External Gas Molding" ต่างจากเทคโนโลยีข้างต้น เพราะว่าเป็นการฉีดแก๊สเข้าไปที่ส่วนคอร์ของแม่พิมพ์ (Core Mold) ซึ่งไม่ได้ฉีดเข้าไปในเนื้อพลาสติกหลอมที่อยู่ในแม่พิมพ์ ซึ่งแม่พิมพ์ชนิดนี้จะต้องผนึกตรงเส้นแบ่งส่วนชิ้นงาน (Parting Line) และบริเวณ Ejector pin เพื่อป้องกันแก๊สเล็ดลอดออกไป วิธีนี้ต้องสร้างชั้น

พลาสติกตรงข้ามส่วนที่ปิดผนึกทั้งหมด หรือเลือกเฉพาะบางส่วนก็ได้เพื่อกักแก๊สเอาไว้ ความดันของแก๊สจะถูกควบคุมให้คงที่ เพื่อชดเชยเนื้อของชิ้นงานในระหว่างที่ชิ้นงานเริ่มเย็นตัวลง (Cooling) ในขณะที่แก๊สจะทำหน้าที่ดันหรือรองรับไม่ให้ชิ้นงานเกิดการยุบตัว (Sink Mark) และในขณะนั้นเองต้องมีการไล่แก๊สออก ซึ่งอาจจะออกไปได้หมดหรือเฉพาะบางส่วน โดยแรงดันแก๊สส่วนที่ยังคงเหลืออยู่จะช่วยให้การถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ทำได้ง่ายขึ้น [14] แสดงดังรูป 3.37



รูป 3.37 แสดงกระบวนการ External Gas Molding [14]

"Water Assist Injection Molding" ซึ่งกระบวนการนี้อยู่ภายใต้การพัฒนาของสถาบัน IKV (The Institute for Plastics Process in Germany) ในกระบวนการน้ำเย็นจะถูกฉีดเข้าไปในเนื้อพลาสติกหลอมเหลวและยังคงอยู่ในสถานะของของเหลว (Liquid Phase) ความดันของน้ำประมาณ 20 bar (290 psi) ซึ่งต้องใช้แรงดันฉีดถึง 150 bar (2176 psi) ในระหว่างการรักษาแรงดัน (Holding Phase) น้ำสามารถระบายออกจากชิ้นงานในขณะที่ยังคงอยู่ในแม่พิมพ์หรือจะระบายน้ำออกหลังจากที่นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์แล้วก็ได้ [20] แสดงดังรูป 3.38



รูป 3.38 แสดงชิ้นงานจากกระบวนการฉีดโดยใช้น้ำช่วย [3]

"HELGA Process of Hefting" ใน HELGA process โดยใช้ของเหลวที่มีคุณสมบัติพิเศษฉีดเข้าไปใน nozzle ในขณะที่ resin กำลังฉีดอยู่ ซึ่งของเหลวนี้จะถูกทำให้กลายเป็นไอ เป็นผลให้เกิดแรงดันแก๊สขึ้นภายในช่องแก๊ส เมื่อชิ้นงานเย็นตัวลงความดันของแก๊สจะไม่ส่งผลกระทบต่อรูปทรงของชิ้นงานและแก๊สยังคงกระจายตัวอยู่ภายในชิ้นงาน ของเหลวชนิดนี้จะไม่ควบแน่นและไม่จำเป็นต้องนำออกมาจากภายในชิ้นงาน ซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้ในงานที่เป็นแผ่นราบเรียบ (Flat Plate), ชิ้นการที่บางมากๆ (thin wall) และ ชิ้นงานที่มีโครงค้ำ (Rib) แต่จะเหมาะสมที่สุดสำหรับงานที่มีขนาดใหญ่และมีลักษณะหน้าตัดเป็นแท่ง อย่างเช่น ชิ้นงานรูปทรงประเภทแท่งสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ ข้อดีคือจะได้ผิวภายนอกของชิ้นงานที่เรียบกว่าทำให้ชิ้นงานดูมีมูลค่ามากขึ้น