

สารบัญ

บทที่ 1	วิวัฒนาการของเทคโนโลยีการฉีดขึ้นรูป	11
	[Evolution of Injection Molding Technology]	
➤	ยุคที่ 1 จากอุตสาหกรรมการฉีดขึ้นรูปน้ำโลหะ (Beginning from metal diecasting industry)	12
➤	ยุคที่ 2 การหลอมด้วยลูกสูบที่มีระบบขับเคลื่อนแบบอิเล็กทรอนิกส์หรือแบบอิเล็กทรอนิกส์ไฮดรอลิก (Plunger plasticizing with electromechanical or electrohydraulic drive)	13
➤	ยุคที่ 3 การพรีพลาสติกไซเซชันและการฉีดโดยใช้ลูกสูบ (Pre-plasticizing and plunger injection)	21
➤	ยุคที่ 4 การฉีดโดยใช้สกรู (Development of screw injection)	24
➤	จากอดีตจนถึงวันนี้และอนาคตของการฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection molding process: Yesterday, Today and Tomorrow)	30
บทที่ 2	เทคโนโลยีการฉีดขึ้นรูปพลาสติกแบบหลายชั้นหรือแบบแซนวิช	33
	[Coinjection (Sandwich) Molding Technology]	
2.1	บทนำ	33
2.2	ประเภทเทคนิคการฉีดขึ้นรูปพลาสติกแบบหลายชั้น	34
2.2.1	การฉีดแบบหลายชั้นผ่านหัวฉีดเดี่ยว	34
2.2.1.1	เทคนิคช่องไหลเดี่ยว	34
2.2.1.2	เทคนิคแซนวิชชั้นเดียว	35
2.2.2	การฉีดแบบหลายชั้นผ่านหัวฉีดสองช่อง	37
2.2.2.1	เทคนิคช่องไหลคู่	37
2.2.3	การฉีดแบบหลายชั้นผ่านสามช่องไหล	38
2.3	เทคโนโลยีการฉีดขึ้นรูปพลาสติกแบบหลายชั้น	41
2.3.1	เทคนิคฉีดเป็นลำดับชั้น	41
2.3.2	เทคนิคฉีดพร้อมกัน	44
2.4	การเลือกชนิดวัสดุ	46
2.5	เทคโนโลยีแม่พิมพ์สำหรับการฉีดขึ้นรูปพลาสติกแบบหลายชั้น	48
2.5.1	ชนิดของแม่พิมพ์	48
2.5.1.1	แม่พิมพ์สองแผ่น	48

2.5.1.2	แม่พิมพ์แผ่นปลด	49
2.5.1.3	แม่พิมพ์แผ่นเลื่อน	49
2.5.1.4	แม่พิมพ์โพรงแยก	50
2.5.1.5	แม่พิมพ์สามแผ่น	50
2.5.2	การออกแบบโพรงแม่พิมพ์	51
2.5.3	ระบบทางไหล	52
2.5.3.1	ระบบทางไหลมาตรฐาน	53
2.5.3.2	ระบบทางไหลเย็น	53
2.5.3.3	ระบบทางไหลร้อน	53
2.5.4	ระบบหล่อเย็นในแม่พิมพ์	54
2.5.4.1	สารหล่อเย็น	54
2.5.4.2	ช่องหล่อเย็น	54
2.5.4.3	ระบบทางเข้าแม่พิมพ์	55
2.5.5	ระบบปลดชิ้นงาน	58
2.6	การไหลเข้าโพรงแม่พิมพ์ของการฉีดขึ้นรูปพลาสติกแบบหลายชั้น	59
2.7	คอมพิวเตอร์ช่วยในทางวิศวกรรมสำหรับการฉีดขึ้นรูปพลาสติกแบบหลายชั้น	61
2.8	ข้อดีของเทคนิคการฉีดขึ้นรูปพลาสติกแบบหลายชั้น	62
2.9	ข้อด้อยของเทคนิคการฉีดขึ้นรูปพลาสติกแบบหลายชั้น	63
2.9.1	การกระจายตัวของวัสดุที่เป็นไส้แกนวิช	63
2.9.2	การปรับปรุงการกระจายตัวของพลาสติกที่ใช้เป็นไส้แกนวิช	64
บทที่ 3. เทคโนโลยีการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโดยใช้แก๊สช่วย		65
[Gas-Assisted Injection Molding Technology, GAIM]		
3.1	วิวัฒนาการ	65
3.2	ประเภทเทคนิคการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโดยใช้แก๊สช่วย	67
3.2.1	เทคนิคมาตรฐาน	67
3.2.1.1	การฉีดแก๊สผ่านหัวฉีดบนกระบอกฉีด	68
3.2.1.2	การฉีดแก๊สเข้าช่องทางไหล	68
3.2.1.3	การฉีดแก๊สเข้าโพรงแม่พิมพ์โดยตรง	69
3.2.2	เทคนิคพิเศษ	70
3.2.2.1	การฉีดแก๊สผลึกตันแก่น	70
3.2.2.2	การฉีดแก๊สโดยเป่า: แบบหกชั้นหรือแบบขั้วตันพอลิเมอร์หล่อไหลกลับ	70

3.3 เทคโนโลยีการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโดยใช้แก๊สช่วย	72
3.3.1 การฉีดขึ้นรูปพลาสติกโดยใช้แก๊สช่วยจากภายใน	72
3.3.1.1 กลไกและขั้นตอนการฉีดขึ้นรูป	72
3.3.2 การฉีดขึ้นรูปพลาสติกโดยใช้แก๊สช่วยจากภายนอก	73
3.3.2.1 การพัฒนา	73
3.3.1.2 กลไกและขั้นตอนการฉีดขึ้นรูป	74
3.4 แก๊ส	74
3.5 วัสดุ	75
3.6 สิทธิบัตรการขายเทคโนโลยีการฉีดพลาสติกโดยใช้แก๊สช่วย	75
3.7 เทคโนโลยีแม่พิมพ์และการออกแบบอุปกรณ์สำหรับการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโดยใช้แก๊สช่วย	78
3.7.1 วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์	78
3.7.2 ระบบทางเข้าโพรงแม่พิมพ์	79
3.7.3 ช่องระบายแก๊ส	81
3.8 การออกแบบผลิตภัณฑ์	81
3.8.1 การออกแบบโพรงแก๊ส	81
3.8.2 ขนาดช่องโพรงแก๊สเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดชิ้นงาน	83
3.8.2.1 การแข็งตัวหยุดไหลของพลาสติกหลอมส่วนหน้า	84
3.8.2.2 การแยกไหลแบบนิ้วมือในบริเวณผนังบาง	84
3.8.2.3 การพุ่งทะลุของแก๊ส	85
3.8.3 ความสมมาตรของรูปแบบการไหลของพลาสติกหลอม	85
3.9 อิทธิพลของตัวแปรการขึ้นรูปและสมบัติของวัสดุต่อสมบัติชิ้นงาน	87
3.9.1 อิทธิพลของตัวแปรการขึ้นรูปและสมบัติของวัสดุต่อปริมาตรของแก๊สภายในโพรงแก๊ส	87
3.9.2 อิทธิพลของตัวแปรการขึ้นรูปและสมบัติของพลาสติกต่อปริมาณการยุบตัวของชิ้นงาน	89
3.9.3 อิทธิพลของตัวแปรการขึ้นรูปและสมบัติของพลาสติกต่อความหนาผนังตั้งค้ำ	97
3.9.4 อิทธิพลของตัวแปรการขึ้นรูปและสมบัติของพลาสติกต่อความต้านทานแรงดัดโค้ง	100
3.9.5 อิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่อการหดตัวและการโค้งงอของชิ้นงาน	107
3.9.6 การหดตัวที่ไม่สม่ำเสมอของชิ้นงาน (Non-uniform part shrinkage)	110
3.9.7 ประเภทของชิ้นงานที่ใช้เทคนิคการฉีดพลาสติกโดยใช้แก๊สช่วยในการขึ้นรูป	113
3.9.8 ความแข็งแรงเชิงโครงสร้างของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการฉีด	119
บทที่ 4. เทคโนโลยีการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโดยใช้น้ำช่วย	125
[Water-Assisted Injection Molding Technology, WAIM]	
4.1 วิวัฒนาการและบทนำ	125
4.2 ประเภทเทคนิคการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโดยใช้น้ำช่วย	127

4.2.1	เทคนิคการฉีดพลาสติกหลอมเข้าโพรงแม่พิมพ์บางส่วน	127
4.2.2	เทคนิคการฉีดพลาสติกหลอมเต็มโพรงแม่พิมพ์	128
4.2.3	เทคนิคการฉีดพลาสติกหลอมแบบไหลกลับ	129
4.2.4	เทคนิคการฉีดพลาสติกหลอมแบบไหลสั้น	130
4.2.5	เทคนิคการฉีดพลาสติกหลอมแบบไหลสวนทาง	131
4.3	กลไกภายในของเทคนิคการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโดยใช้น้ำช่วย	132
4.4	อุปกรณ์สำหรับการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโดยใช้น้ำช่วย	133
4.4.1	เครื่องฉีดพลาสติก	133
4.4.2	ชุดสร้างความดันน้ำ	133
4.4.3	ชุดควบคุมความดัน	134
4.4.4	โมดูลควบคุมความดันน้ำและควบคุมการฉีดน้ำ	135
4.4.5	หัวเข็มฉีดน้ำ	135
4.4.5.1	การเปรียบเทียบการออกแบบหัวเข็มฉีดน้ำ	137
4.5	วัสดุ	139
4.6	ผู้ผลิตชุดอุปกรณ์สำหรับเทคนิคการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโดยใช้น้ำช่วย	139
4.7	อิทธิพลของสภาวะการขึ้นรูปต่อชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการฉีดพลาสติกโดยใช้น้ำช่วย	141
4.7.1	อิทธิพลของตัวแปรการขึ้นรูปต่อความยาวโพรงน้ำและการเปรียบเทียบระหว่างพอลิเมอร์สัญญาณและสัญญาณ	142
4.7.2	อิทธิพลของตัวแปรการขึ้นรูปต่อความยาวโพรงน้ำและการเปรียบเทียบระหว่างสมบัติชิ้นงานของเรซินที่มีการเติมเส้นใยแก้วและเรซินที่ไม่มีการเติม	145
4.7.3	ปริมาณความเป็นผลึกของชิ้นงาน	147
4.7.4	แผนภาพความสามารถการขึ้นรูปการฉีดขึ้นรูปโดยใช้น้ำช่วย	149
4.8	ข้อดีและข้อด้อยของเทคนิคการฉีดขึ้นรูปโดยใช้น้ำช่วย	150
4.9	ปรากฏการณ์ไหลแยกแบบนิ้วมือในชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปด้วย WIT	151
4.9.1	อิทธิพลของตัวแปรทางการขึ้นรูปต่อเปอร์เซ็นต์การแยกไหลคล้ายนิ้วมือของน้ำ	153
4.9.2	อิทธิพลของตัวแปรการขึ้นรูปต่อสัดส่วนความกลวง	155
4.10	การวิเคราะห์เชิงตัวเลขของกระบวนการเย็นตัว	158
4.11	การเปรียบเทียบเทคนิคการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโดยใช้แก๊สช่วยและน้ำช่วย	159
4.11.1	การเปรียบเทียบความหนาดก้าง	159
4.11.1.1	อิทธิพลของสารป้องกันไฟฟ้าสถิตและแรงตึงระหว่างผิว	165
4.11.2	การเปรียบเทียบปริมาณของการแยกไหลแบบนิ้วมือ	167
4.11.2.1	อิทธิพลของชนิดพลาสติก	167
4.11.2.2	อิทธิพลของลักษณะรูปทรงเรขาคณิตของโครงค้ำ	167

4.11.3	การเปรียบเทียบความขรุขระของโพรงการไหล	169
4.11.4	การเปรียบเทียบปริมาณความเป็นผลึกในชิ้นงาน	170
4.11.5	การเปรียบเทียบสมบัติทางกลของชิ้นงาน	171
4.11.6	การเปรียบเทียบการจัดเรียงตัวของเส้นใยแก้วภายในชิ้นงาน	173
4.11.7	การเปรียบเทียบเวลาเย็นตัวของชิ้นงาน	174
บทที่ 5. เทคโนโลยีการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโฟมโครงสร้าง		177
[Structural Foam Molding Technology, SFM]		
5.1	วิวัฒนาการและบทนำ	177
5.2	ประเภทเทคนิคการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโฟมโครงสร้าง	178
5.2.1	เทคนิคการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโฟมโครงสร้างแบบความดันต่ำ	178
5.2.2	เทคนิคการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโฟมโครงสร้างแบบความดันต่ำ	182
5.2.3	เทคนิคการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโฟมโครงสร้างแบบความดันสูง	183
5.3	ลักษณะสำคัญของการฉีดขึ้นรูปโฟมโครงสร้าง	183
5.3.1	แผนภาพสถานะของของไหลยิ่งยวด	183
5.3.2	พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานโฟมโครงสร้าง	184
5.3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโฟมและความดันในโพรงแม่พิมพ์	184
5.3.4	การเปรียบเทียบความดันในโพรงแม่พิมพ์ระหว่างเทคนิคการฉีดแบบปกติและการฉีดโฟมโครงสร้าง	184
5.4	วัสดุ	185
5.5	สารสร้างโฟม	186
5.5.1	ชนิดของสารสร้างโฟม	186
5.6	ข้อดีของเทคนิคการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโฟมโครงสร้าง	187
5.7	การนำไปประยุกต์ใช้	188
5.8	ตัวแปรที่ส่งผลต่อสมบัติด้านต่างๆ ของชิ้นงานโฟมโครงสร้าง	189
5.8.1	สมบัติเชิงกล	189
5.8.1.1	ความแข็งแรงต่อน้ำหนัก	189
5.8.1.2	ความต้านทานแรงดึง	190
5.9	สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบ	191
5.9.1	ความเค้นและความเครียด	191
5.9.2	โมดูลัสปรากฏและการคืบ	193
5.9.3	ความล้า (Fatigue)	193
5.9.4	สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนหรือความเค้นทางความร้อน	195

5.10 การออกแบบทางโครงสร้าง	196
5.10.1 การตัดโค้ง	197
5.10.2 การดึง	199
5.10.3 การกด	199
5.10.4 การบิด	200
5.11 เทคนิคในการออกแบบผลิตภัณฑ์	200
5.11.1 โครงค้ำ	200
5.11.2 ความหนาผนังชิ้นงาน	201
5.11.3 ความยาวการไหลของวัสดุ	201
5.11.4 บริเวณรอยต่อ	202
5.11.5 รัศมีช่องการไหล	203
บทที่ 6. เทคโนโลยีการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโฟมเซลล์จุลภาค	205
[Microcellular Foam Molding Technology, MFM]	
6.1 วิวัฒนาการ	205
6.2 บทนำ	206
6.3 การแบ่งประเภทเทคนิคของการขึ้นรูปพลาสติกโฟมเซลล์จุลภาค	206
6.3.1 เทคนิคการขึ้นรูปพลาสติกโฟมเซลล์จุลภาคแบ่งตามชนิดการขึ้นรูป	206
6.3.1.1 เทคนิคการอัดรีดขึ้นรูปพลาสติกโฟมเซลล์จุลภาค	207
6.3.1.2 เทคนิคการฉีดขึ้นรูปพลาสติกโฟมเซลล์จุลภาค	208
6.4 กลไกและขั้นตอนการขึ้นรูป	209
6.5 เทคนิคการขึ้นรูปพลาสติกโฟมเซลล์จุลภาคแบ่งตามลักษณะการฉีดสารสร้างโฟม	210
6.5.1 เทคนิคการขึ้นรูปพลาสติกโฟมเซลล์จุลภาคแบ่งตามลักษณะการฉีดสารสร้างโฟม	210
6.5.2 เทคนิคการฉีดสารสร้างโฟมเข้าที่ซุดอัดรีด	211
6.5.3 เทคนิคการฉีดสารสร้างโฟมเข้าที่ซุดหลอมพลาสติก	212
6.5.4 เทคนิคการฉีดสารสร้างโฟมเข้าที่ซุดอุปกรณ์เสริม	212
6.5.5 เทคนิคการฉีดสารสร้างโฟมด้วยหัวฉีดพิเศษ	214
6.6 กลไกกระตุ้นให้เกิดโฟมเซลล์	214
6.7 ของไหลอิมิตวียิงยวดที่ใช้สร้างโฟมเซลล์ความหนาแน่นสูง	215
6.8 สารสร้างโฟม	216
6.8.1 สารสร้างโฟมกายภาพ	216
6.8.2 สารสร้างโฟมเคมี	216
6.9 การเลือกวัสดุ	217

6.10 อุปกรณ์สำหรับการฉีดขึ้นรูปโฟมเซลล์จุลภาค	218
6.10.1 อุปกรณ์เพิ่มเติม	219
6.11 ข้อดีของเทคนิคการฉีดขึ้นรูปโฟมเซลล์จุลภาค	220
6.12 การนำไปประยุกต์ใช้	221
6.13 คุณภาพของชิ้นงานโฟมเซลล์จุลภาค	223
6.13.1 สมบัติทางกล	223
6.13.1.1 ปริมาณพลาสติกหลอม	223
6.13.1.2 โครงสร้างโฟมแบบประกอบ	225
6.13.1.3 อุณหภูมิของพลาสติกหลอม	226
6.13.1.4 การโค้งงอและเวลาเย็นตัว	227
6.13.1.5 ความยาวเส้นใย	229
6.13.2 สมบัติทางกายภาพ	229
6.13.2.1 การหาค่ามอดูลัสยืดหยุ่น	230
6.13.2.2 วิธีการสร้างขอบเขต: ค่าคงที่ได้อิเล็กทริก	230
6.13.2.3 วิธีเชิงประจักษ์: ความแข็งแรงต้านแรงดึง	231
6.13.2.4 แบบจำลองแซนวิช: ความแข็งแรงต้านแรงดัดงอ	231
6.14 การเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการฉีดโฟมเซลล์จุลภาคและเทคนิคการฉีดแบบมาตรฐาน	232
6.15 การออกแบบแม่พิมพ์สำหรับเทคนิคการฉีดโฟมเซลล์จุลภาค	232
6.15.1 ช่องนำการไหลร้อน	232
6.15.2 ช่องนำการไหลแบบเย็นและช่องทางไหล	233
6.15.3 ช่องนำการไหลเย็น	233
6.15.4 ทางเข้าโพรงแม่พิมพ์	233
6.15.5 ช่องระบายแก๊ส	234
6.15.6 ระบบหล่อเย็น	234
6.15.7 วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์	235
6.15.8 ผิวแม่พิมพ์	235
6.15.9 ความหนาผนังชิ้นงานและการลดลงของน้ำหนัก	235

๖๖.๕๐

เทคโนโลยีการฉีดขึ้นรูปพลาสติกสำหรับชิ้นงานหนา (THICK-WALLED MOLDING TECHNOLOGIES)

ผู้เขียน ดร. วุฒิพงษ์ รังสีสันติวานนท์
ยุทธนา โฆษิตสกุล
กลุ่มวิศวกรรมพลาสติก
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

ISBN 978-974-229-271-3

พิมพ์ครั้งที่ 1 กันยายน 2550

จำนวน 1,500 เล่ม

ราคา 200 บาท



จัดพิมพ์โดย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 95486
111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
โทรศัพท์ 0 2564 7000 ต่อ 1161-1175 โทรสาร 0 2564 7016

ข้อมูลทางบรรณานุกรม

วุฒิพงษ์ รังสีสันติวานนท์

เทคโนโลยีการฉีดขึ้นรูปพลาสติกสำหรับชิ้นงานหนัก=thick-walled molding technologies/
โดย วุฒิพงษ์ รังสีสันติวานนท์ และยุทธนา โฆษิตสกุล. ปทุมธานี : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและ
วัสดุแห่งชาติ, 2550.
256 หน้า ; 26 ซม.

1. พลาสติก. 2. พลาสติก-การขึ้นรูป. 3. พลาสติก-โพรแกรม. I. ยุทธนา โฆษิตสกุล. II. ชื่อเรื่อง.

668.4

จัดจำหน่ายโดย บริษัท ซีอีดียูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED
อาคารเนชั่นทาวเวอร์ ชั้นที่ 19 เลขที่ 1858/87-90
ถนนบางนา-ตราด แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260
โทรศัพท์ 0 2739 8222, 0 2739 8000 โทรสาร 0 2739 8356-9
<http://www.se-ed.com>

พิมพ์ที่ ห้างหุ้นส่วนจำกัด สหพัฒนไพศาล
โทรศัพท์ 0 2432 6174-5

สงวนลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2550 ตาม พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ