สารบัญ

ปกด้านใน	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ฏ
รายการสัญลักษณ์	ถ
ประมวลคำศัพท์เทคนิค	ธ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
1.4 ผลงานวิจัยที่เคยมีมา	3
1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพลาสติก	7
2.2 การแบ่งประเภทพลาสติก	7
2.2.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)	7
2.2.2 เทอร์โมเซตติ้ง (Thremosetting)	8
2.2.3 อีลาสโตเมอร์ (Elastomer)	8
2.3 คุณสมบัติของพลาสติก	8
2.4 กรรมวิธีการขึ้นรูปพลาสติกด้วยวิธีการฉีด	8
2.4.1 เครื่องฉีดพลาสติก	9
2.4.2 กรรมวิธีการฉีดพลาสติก	9
2.5 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับแม่พิมพ์พลาสติก	11
2.5.1 แม่พิมพ์ฉีด (Injection Molding)	11
2.6 การแบ่งประเภทแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	12

สารบัญ (ต่อ)

2.6.1 แม่พิมพ์ฉีดแบบสามแผ่น (Three Plate Mold) 12

2.6.2 แม่พิมพ์ฉีดแบบแยกด้านข้าง 13

2.6.3 แม่พิมพ์ฉีดแบบคลายเกลียว 14

2.6.4 แม่พิมพ์ฉีดแบบสองแผ่น 15

2.6.5 แม่พิมพ์ฉีดแบบรูวิ่งร้อน 15

2.6.6 แม่พิมพ์แบบชั้น 16

2.7 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ด้วยแม่พิมพ์ 17

2.7.1 การออกแบบผลิตภัณฑ์ 17

2.7.2 ต้นแบบ 17

2.7.3 การออกแบบและการสร้างแม่พิมพ์ 19

2.8 คุณสมบัติวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ 20

2.8.1 ความสามารถในการชุบแข็ง (Harden Ability) 21

2.8.2 ความเหนียว (Toughness) 21

2.8.3 ความทนต่อการเสียดสี (Wear Resistance) 21

2.8.4 การรักษาความแข็งไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง (Red-Hardness) 21

2.8.5 ความสามารถในการตัดเฉือน (Machinability) 21

2.8.6 ความต้านทานการสูญเสียคาร์บอน (Resistance to de Carburization) 21

2.8.7 การไม่เปลี่ยนรูปร่างหรือขนาด (Non Ceformation Properties) 22

2.9 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเหล็กกล้า 22

2.9.1 เหล็กกล้าเครื่องมือชุบแข็งด้วยน้ำ 22

2.9.2 เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น (Cold Work Tool Steels) 22

2.9.3 เหล็กกล้าเครื่องมือทนต่อแรงกระแทก (Shock Resisting Tool Steels) 24

2.9.4 เหล็กกล้าเครื่องมืองานร้อน (Hot Work Tool Steels) 24

2.9.5 เหล็กกล้าเครื่องมือสำหรับทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 25

2.10 เครื่องจักรกล เครื่องมือและซอฟแวร์ที่ใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ 28

2.10.1 เครื่องจักรกลที่ใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ 28

2.10.2 เครื่องมือตัด 32

2.10.3 เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างแม่พิมพ์ 33

สารบัญ (ต่อ)

2.10.4 คอมพิวเตอร์ในการออกแบบ และวิเคราะห์แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 37

2.11 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ฉีด 42

2.11.1 อิมเพรสชั่น (Impression) 42

2.12 อินเสิร์ตของเบ้าและคอร์ (Cavity and Core Plates) 42

2.13 ชนิดของเพลานำ วัสดุและการประกอบ 43

2.13.1 หน้าที่ของเพลานำ (Function of Guide Pillars) 44

2.13.2 การกำหนดตำแหน่งของเพลานำ (Positiioning of Guide Pillars) 44

2.13.3 แหวนบังคับศูนย์ (Register Ring) 44

2.13.4 การออกแบบสำหรับระบบเพลานำสองตัว 45

2.13.5 ปลอกนำ (Guide Bushes) 45

2.13.6 ปลอกรูฉีด (Sprue Bush) 45

2.14 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับผิวแบ่งส่วนแม่พิมพ์ 46

2.14.1 ผิวแบ่งส่วนแม่พิมพ์แบบราบเรียบ (Parting Surface) 46

2.14.2 ผิวแบ่งส่วนแม่พิมพ์แบบไม่ราบเรียบ (Non-flat Parting Surface) 47

2.15 การระบายอากาศ (Venting) 48

2.16 ระบบป้อน (Feed System) 48

2.16.1 รูวิ่ง (Runner) 48

2.17 รูเข้า (Gates) 51

2.17.1 การกำหนดตำแหน่งของรูเข้า (Positioning of Gate) 51

2.17.2 ชนิดของรูเข้า (Types of Gate) 51

2.18 ระบบปลดชิ้นงาน (Ejection) 52

2.19.1 ห้องระบบปลดชิ้นงาน 52

2.19.2 ห้องระบบปลดชิ้นงานแนวตรง 53

2.19 แผ่นประกอบตัวปลด (Ejector Plate Assembly) 53

2.19.1 แผ่นตัวปลด (Ejector Plate) 54

2.19.2 แผ่นยึดตัวปลด (Retaining Plate) 54

2.19.3 การนำเลื่อนและการรองรับแผ่นประกอบตัวปลด (Guiding and - Supporting Ejector Assembly) 54

สารบัญ (ต่อ)

2.19.4 เพลาดันปลดและปลอกเพลาดันปลด (Ejector Rod and Ejector - Rod Bush) 54

2.19.5 ระบบดันกลับของแผ่นประกอบตัวปลด (Ejector Plate Assembly-Return Systems) 54

2.20 การใช้สลักปลด (Pin Ejection) 55

2.21 ส่วนดึงแกนรูฉีด (Sprue Pullers) 56

2.22 ทฤษฎีเกี่ยวกับการหล่อเย็นแม่พิมพ์ (Mold Cooling) 56

2.22.1 การถ่ายเทความร้อนที่สม่ำเสมอ 57

2.22.2 การหล่อเย็นอินเสิร์ตของคอร์ (Cooling Core Insets) 58

2.23 ความรู้เกี่ยวกับข้อต่อน้ำหล่อเย็น (Water Connections) 59

2.23.1 ข้อต่อ 59

2.23.2 การคำนวณเกี่ยวกับการหดตัว (Shinkage Calculations) 59

2.24 โครงสร้างของเครื่องฉีดพลาสติก 60

2.25 ชุดฉีด 61

2.25.1 หน้าที่ของชุดฉีด 61

2.25.2 หัวฉีด 62

2.26 ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ 63

2.26.1 หน้าที่ของชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ 64

2.27 ทฤษฎีเกี่ยวกับจังหวะการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก 64

2.27.1 จังหวะการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก 64

2.27.2 เวลาทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก 67

2.27.3 การเลือกขนาดเกลียวหนอน 68

2.28 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับพารามิเตอร์ 69

2.28.1 อุณหภูมิพลาสติกเหลว (Melt TempErature) 69

2.28.2 อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Mold TempErature) 70

2.28.3 อุณหภูมิกระบอกฉีด (Barrel Temperature) 70

2.28.4 อุณหภูมิปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (Demold Temperature) 71

2.28.5 ระยะชักสกรู (Metering Stroke) 71

สารบัญ (ต่อ)

2.28.6 เวลาในการฉีด (Injection Time) 71

2.28.7 เวลาในการฉีดย้ำ (HoIding Time) 72

2.28.8 เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) 71

2.28.9 ความดันฉีด (Injection Pressure) 71

2.28.10 ความดันฉีดย้ำ (HoIding Pressure) 72

2.28.11 ความดันต้านการถอยหลังกลับของเกลียวหนอน (สกรู) (Back Pressure) 72

2.28.12 ความเร็วในการฉีด (Injection Speed) 72

2.28.13 เวลาที่พลาสติกเหลวแช่อยู่ในกระบอกฉีด (Resident Time) 72

2.28.14 ระยะสำรอง (Cushion) 72

2.28.15 ความเร็วรอบสกรู (Screw Speed) 72

2.29 ลำดับขั้นในการออกแบบการออกแบบแม่พิมพ์ 73

2.30 สูตร การคำนวณหาระยะเวลาการหล่อเย็น (Cooling Time) 76

2.31 สูตร การคำนวณในการฉีดย้ำ (t_p) คิดส่วนที่โตที่สุดของ Gate Sprue Gate 76

2.32 สูตร การฉีดย้ำ (Packing Time) 76

2.33 สูตร การคำนวณหาระยะเวลาของ 1 รอบการผลิต (Cycle Time) 77

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ 74

3.1 ขั้นตอนที่ใช้ในการออกแบบมีทั้งหมด 9 ขั้นตอน 78

3.1.1 ขั้นตอนที่ 1 จำนวนคาวิตี้ที่เหมาะสม (Number of Cavity) 79

3.1.2 ขั้นตอนที่ 2 ชนิดของแม่พิมพ์ (Kind Of Mould Design) 84

3.1.3 ขั้นตอนที่ 3 การวางตำแหน่งคาวิตี้ (Position Of Cavity) 85

3.1.4 ขั้นตอนที่ 4 ระบบป้อน (Feeding System) 86

3.1.5 ขั้นตอนที่ 5 ระบบการหล่อเย็น (Cooling Design) 92

3.1.6 ขั้นตอนที่ 6 ระบบปลดชิ้นงาน (Ejection System) 94

3.1.7 ขั้นตอนที่ 7 ระบบระบายอากาศ (Venting System) 95

3.1.8 ขั้นตอนที่ 8 การเลือกวัสดุในการทำแม่พิมพ์(Mould Material Selection)95

3.1.9 ขั้นตอนที่ 9 การประมาณการหดตัว (Estimation Of Shrinkage) 95

3.2 การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ถูกต้องตามหลักวิชาการด้วย NX 5 77

สารบัญ (ต่อ)

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 77

3.3.1 การสร้างแม่พิมพ์ฉีดชิ้นงานกล่องพลาสติกที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ 100

3.3.2 การสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ 106

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ 111

4.1 การทดลองแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ออกแบบไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ 111

4.1.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ออกแบบไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ 118

4.2 การทดลองแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ออกแบบถูกต้องตามหลักวิชาการ 123

4.2.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ออกแบบถูกต้องตามหลักวิชาการ 126

4.3 สรุปผลการทดลอง 132

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ 134

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย 135

5.1.1 ภาพการเปรียบเทียบชิ้นงานจาก แม่พิมพ์ที่ออกแบบไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการกับแม่พิมพ์ที่ออกแบบถูกต้องตามหลักวิชาการ 138

5.2 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงงานวิจัย 139

5.3 แนวคิดและข้อเสนอแนะ 140

เอกสารอ้างอิง 143

ภาคผนวก ก ชนิดและคุณสมบัติของพลาสติก 146

ภาคผนวก ข ชิ้นส่วนมาตรฐานของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 160

ภาคผนวก ค ตารางมาตรฐานเหล็กทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 174

ภาคผนวก ง ข้อมูลเครื่องฉีดพลาสติกยี่ห้อ KRAUSS MAFFEI รุ่น KM 65 CX 179

ภาคผนวก จ แบบชิ้นส่วนและแบบประกอบแม่พิมพ์ฉีดกล่องดินสอ 187

ภาคผนวก ฉ ประวัติผู้วิจัย 213

สารบัญตาราง

รายการ	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลระดับคะแนนการหาประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ออกแบบไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ	117
ตารางที่ 4.1 ผลระดับคะแนนการหาประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ออกแบบไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ(ต่อ)	118
ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ในการฉีดสำหรับแม่พิมพ์ที่ออกแบบไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ	124
ตารางที่ 4.3 ผลระดับคะแนนการหาประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ออกแบบถูกต้องตามหลักวิชาการ	127
ตารางที่ 4.4 ผลระดับคะแนนการหาประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ออกแบบถูกต้องตามหลักวิชาการ (ต่อ)	128
ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ในการฉีดสำหรับแม่พิมพ์ที่ออกแบบถูกต้องตามหลักวิชาการ	130
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างแม่พิมพ์ทั้ง 2 ชุด	132
ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างแม่พิมพ์ทั้ง 2 ชุด	137

สารบัญรูปภาพ

รายการ		หน้า
ภาพที่ 2.1	แสดงเครื่องฉีดพลาสติก แบบ A	9
ภาพที่ 2.2	แสดงเครื่องฉีดพลาสติก แบบ B	9
ภาพที่ 2.3	แสดงเครื่องฉีดพลาสติก แบบ C	10
ภาพที่ 2.4	แสดงเครื่องฉีดพลาสติก แบบ D	10
ภาพที่ 2.5	แสดงขั้นตอนการฉีดพลาสติก	11
ภาพที่ 2.6	แสดงแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	12
ภาพที่ 2.7	แสดงผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	12
ภาพที่ 2.8	แสดงแม่พิมพ์ฉีดแบบสามแผ่น (Three Plate Mold)	13
ภาพที่ 2.9	แม่พิมพ์ฉีดแบบแยกด้านข้าง (Split Mold)	13
ภาพที่ 2.10	แม่พิมพ์ฉีดแบบคลายเกลียวด้วยเกลียวหลายปาก (Unscrewing Mold)	14
ภาพที่ 2.11	แม่พิมพ์ฉีดแบบคลายเกลียว ด้วยระบบเฟื่องนพเคราะห์	14
ภาพที่ 2.12	แม่พิมพ์ฉีดแบบสองแผ่น (Two Plate Mold)	15
ภาพที่ 2.13	แม่พิมพ์ฉีดแบบรูวิ่งร้อน (Hot-Runner Injection Mold)	16
ภาพที่ 2.14	แม่พิมพ์ฉีดแบบชั้น (Stack Mold)	16
ภาพที่ 2.15	แสดงขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์	20
ภาพที่ 2.16	แสดงเครื่องกลึง	28
ภาพที่ 2.17	แสดงเครื่องกัดแนวตั้งชนิด Turret Vertical Milling	29
ภาพที่ 2.18	แสดงเครื่องเจาะ	29
ภาพที่ 2.19	แสดงเครื่องเจียระไนราบ	30
ภาพที่ 2.20	แสดงเครื่องเจียระไนเพลากลม	30
ภาพที่ 2.21	แสดงเครื่องกัดควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (CNC)	31
ภาพที่ 2.22	แสดงเครื่องตัดโลหะด้วยไฟฟ้า Wire Cut	32
ภาพที่ 2.23	แสดงฉาก	33
ภาพที่ 2.24	แสดงเวอร์เนียคาลิเปอร์แบบธรรมดาและแบบดิจิตอล	34
ภาพที่ 2.25	แสดงตะไบโมลด์	34
ภาพที่ 2.26	แสดงหินเจียระไนมือ	35
ภาพที่ 2.27	แสดงหินเจียระไนมือ	35

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รายการ	หน้า
ภาพที่ 2.28 แสดงไดแอลเกล	36
ภาพที่ 2.29 แสดงอุปกรณ์ตั้งระยะศูนย์ชิ้นงานกับTool	36
ภาพที่ 2.30 แสดงชุดแท่งขนาน	36
ภาพที่ 2.31 แสดงชุดจับยึดชิ้นงานและชุดดอกสว่าน	37
ภาพที่ 2.32 แสดงค้อน	37
ภาพที่ 2.33 แสดงไมโครมิเตอร์วัดนอก	37
ภาพที่ 2.34 แสดงการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ	39
ภาพที่ 2.35 แสดงการกัดชิ้นงานตัวอย่างโดยโปรแกรม UG	41
ภาพที่ 2.36 แสดงอินเสิร์ตของเบ้าและคอร์แบบต่างๆ	43
ภาพที่ 2.37 แสดงการประกอบปลอกนำและ ลดบ่า	43
ภาพที่ 2.38 แสดงถึงข้อดีของการใช้เพลานำแบบเพลานำกับแผ่นแม่พิมพ์ทั้งสอง	44
ภาพที่ 2.39 การกำหนดตำแหน่งของแม่พิมพ์บนหน้าแปลนยึดของเครื่องฉีดด้วยแหวนบังคับศูนย์	45
ภาพที่ 2.40 แสดงผลที่เกิดขึ้นเมื่อปลอกหัวฉีดกับรูฉีดอยู่ไม่ตรงศูนย์กัน	46
ภาพที่ 2.41 แสดงการบังคับตำแหน่งของปลอกรูฉีด	46
ภาพที่ 2.42 แสดงรูวิ่งที่มีรูปทรงหน้าตัดต่างๆ กัน	49
ภาพที่ 2.43 แสดงกราฟน้ำหนักและเส้นผ่านศูนย์กลางของรูวิ่ง	50
ภาพที่ 2.44 แสดงกราฟความยาวของรูวิ่ง	50
ภาพที่ 2.45 แสดงรูเข้าแบบเข็ม (Pin-Point Gate)	52
ภาพที่ 2.46 แสดงห้องระบบปลดชิ้นงานแนวตรง	53
ภาพที่ 2.47 แสดงแผ่นประกอบตัวปลด	54
ภาพที่ 2.48 แสดงระบบดันกลับของแผ่นประกอบตัวปลด	55
ภาพที่ 2.49 แสดงการดันปลดชิ้นงานด้วยสลักปลด	55
ภาพที่ 2.50 แสดงสลักดึงแกนรูฉีด	56
ภาพที่ 2.52 แสดงระยะต่างๆ ของรูน้ำหล่อเย็น	57
ภาพที่ 2.53 แสดงวงจรหล่อเย็นแผ่นเบ้าแบบชิ้นเดียวอย่างง่าย	58
ภาพที่ 2.54 แสดงการหล่อเย็นอินเสิร์ตที่คอร์ แบบวน	58

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รายการ	หน้า
ภาพที่ 2.55 แสดงข้อต่อมาตรฐานขนาดต่างๆ กัน	59
ภาพที่ 2.56 แสดงการหดตัวเนื่องจากทิศทางการไหลของพลาสติก	60
ภาพที่ 2.57 แสดงหาขนาดการหดตัวต่างๆ	60
ภาพที่ 2.58 แสดงโครงสร้างของเครื่องฉีดพลาสติก	61
ภาพที่ 2.59 แสดงหัวฉีดแบบเปิด (Open Nozzle)	62
ภาพที่ 2.60 แสดงลักษณะของเกลียวหนอน	63
ภาพที่ 2.61 แสดงชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์	63
ภาพที่ 2.62 แสดงจังหวะที่ 1 แม่พิมพ์ปิด	64
ภาพที่ 2.63 แสดงชุดฉีดเลื่อนเข้าชนแม่พิมพ์	64
ภาพที่ 2.64 แสดงจังหวะที่ 3,4 ทำการฉีดและย้ำ	64
ภาพที่ 2.65 แสดงจังหวะที่ 5,6 เริ่มนับเวลาในการหล่อเย็นพร้อมกับหลอมเหลวพลาสติกและป้อนส่งพลาสติกเหลวไปหน้าปลายเกลียวหนอน	65
ภาพที่ 2.66 แสดงจังหวะที่ 7 ชุดฉีดถอยหลังกลับ	66
ภาพที่ 2.67 แสดงจังหวะที่ 8,9 เปิดแม่พิมพ์และปลดชิ้นงานออก	66
ภาพที่ 2.68 แสดงไดอะแกรมจังหวะการฉีดพลาสติก	66
ภาพที่ 2.69 แสดงระยะความยาวของพลาสติกเหลวหน้าปลายเกลียวหนอนที่เหมาะสม	68
ภาพที่ 2.70 แสดงการตั้งอุณหภูมิของกระบอกฉีดของเกลียวหนอนแบบมีช่วงไล่ก๊าซ	70
ภาพที่ 2.71 แสดงลำดับขั้นในการออกแบบการออกแบบแม่พิมพ์	73
ภาพที่ 3.1 แสดง Flow Chart การสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	79
ภาพที่ 3.2 แสดงแสดงขนาดของชิ้นงานพลาสติก	80
ภาพที่ 3.3 แสดงแสดงระยะการเคลื่อนการฉีดของสกรู 1D-5D	82
ภาพที่ 3.4 แสดงแสดงการวางแผนผังของคาวิตี้ (Layout of cavity)	83
ภาพที่ 3.5 แสดงแสดงแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบสามแผ่น (Three Plate Mold)	85
ภาพที่ 3.6 แสดงการวางแผนผังของคาวิตี้ (Layout of Cavity)	86
ภาพที่ 3.7 แสดงพื้นที่หน้าตัดครึ่งวงกลม กัดร่องข้างเดียว	87
ภาพที่ 3.8 แสดงทางวิ่ง(Runner)และทางเข้า(Gate)ของชิ้นงานกล่องพลาสติกจากโปรแกรม NX 5	87

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รายการ	หน้า
ภาพที่ 3.9 แสดงทางวิ่ง(Runner)และทางเข้า(Gate)ของชิ้นงานกล่องพลาสติกจากโปรแกรม NX 5	88
ภาพที่ 3.10 แสดงกราฟน้ำหนักชิ้นงานและเส้นผ่าศูนย์กลางของรูวิ่ง	89
ภาพที่ 3.11 แสดงกราฟน้ำหนักและเส้นผ่าศูนย์กลางของรูวิ่ง	90
ภาพที่ 3.12 แสดงรูปร่างทางเข้าแบบ Pin Point Gate	89
ภาพที่ 3.13 แสดงระบบการหล่อเย็นที่คาวิตี้ อินเสิร์ท (Cavity Insert)	92
ภาพที่ 3.14 แสดงระบบการหล่อเย็นที่คอร์คาวิตี้ (Core Insert)	92
ภาพที่ 3.15 แสดงระบบการหล่อเย็นที่คอร์คาวิตี้ (Core Insert)	93
ภาพที่ 3.16 แสดงลักษณะการหล่อเย็นใน คอร์ อินเสิร์ท (Core Insert) แบบวน	93
ภาพที่ 3.17 การจำลองแม่พิมพ์ฉีดกล่องพลาสติกขณะปิดแบบ 3 มิติ	97
ภาพที่ 3.18 การจำลองแม่พิมพ์ฉีดกล่องพลาสติกขณะปิดแบบ 3 มิติ	97
ภาพที่ 3.19 การจำลองแม่พิมพ์ฉีดกล่องพลาสติกขณะปิดแบบผ่าครึ่ง 3 มิติ	98
ภาพที่ 3.20 ขนาดของทางวิ่ง (Runner) และทางเข้า (Gate) ของชิ้นงานกล่องพลาสติกที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ	98
ภาพที่ 3.21 แสดงระบบการหล่อเย็นที่คาวิตี้ อินเสิร์ท (Cavity Insert)ที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ	99
ภาพที่ 3.22 แสดงระบบการหล่อเย็นที่คอร์คาวิตี้ (Core Insert)ที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ	99
ภาพที่ 3.23 ภาพด้านขวาแสดงระยะต่างๆ ของรูน้ำหล่อเย็นที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ	99
ภาพที่ 3.24 แสดงลักษณะการหล่อเย็นใน คอร์ อินเสิร์ท (Core Insert) แบบวน	100
ภาพที่ 3.25 แสดงแผ่นปลด Runner (Fixed Installation Plate)	101
ภาพที่ 3.26 แสดงแผ่นปลด Runner (Fixed Installation Plate)	101
ภาพที่ 3.27 แสดงคาวิตี้อินเสิร์ท (Cavity Insert)	101
ภาพที่ 3.28 แสดงแผ่นแม่พิมพ์ล่าง (Core Plate)	101
ภาพที่ 3.29 แสดงคอร์อินเสิร์ท (Core Insert)	102
ภาพที่ 3.30 แสดงแผ่นใส่เข็มกระทุ้ง (Ejector Retainer Plate)	102
ภาพที่ 3.31 แสดงแผ่นกระทุ้ง (Ejector Plate)	102
ภาพที่ 3.32 แสดงการทำแหวนบังคับศูนย์ (Locating Ring)	103

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รายการ	หน้า
ภาพที่ 3.33 แสดงเพลากระทุ้ง (Ejector Rod)	103
ภาพที่ 3.34 แสดงปลอกนำฉีด (Spure Bush)	103
ภาพที่ 3.35 แสดงตัวเปิดระยะแม่พิมพ์ (Guide For Tension Links)	104
ภาพที่ 3.36 แสดงเข็มดึง Runner (Runner Lock Pin)	104
ภาพที่ 3.37 แสดงการประกอบชุดคาวิตี้ (Assembly Cavity Inser)	104
ภาพที่ 3.38 แสดงการประกอบชุด คอร์อินเสิร์ท (Assembly Core Inser)	105
ภาพที่ 3.39 แสดงการประกอบ Guide For Tension Links	105
ภาพที่ 3.40 แสดงทำการปิดแม่พิมพ์	105
ภาพที่ 3.41 แสดงการประกอบชุดระบบหล่อเย็น (Assembly Cooling System)	106
ภาพที่ 3.42 แสดงการประกอบรูฉีดและแหวนบังคับศูนย์ (Assembly Spure and Locating Ring)	108
ภาพที่ 3.43 การจำลองแม่พิมพ์ฉีดกล่องพลาสติกขณะปิดแบบ 3 มิติ	108
ภาพที่ 3.44 การจำลองแม่พิมพ์ฉีดกล่องพลาสติกขณะปิดแบบผ่าครึ่ง 3 มิติ	107
ภาพที่ 3.45 ขนาดของทางวิ่ง (Runner) และทางเข้า (Gate) ของชิ้นงานกล่องพลาสติกที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ	107
ภาพที่ 3.46 ขนาดของทางวิ่ง (Runner) และทางเข้า (Gate) ของชิ้นงานกล่องดินสอที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ	107
ภาพที่ 3.47 แสดงระบบการหล่อเย็นที่คาวิตี้อินเสิร์ท(Cavity Insert)ที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ	108
ภาพที่ 3.48 แสดงระบบการหล่อเย็นที่คอร์คาวิตี้ (Core Insert)ที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ	108
ภาพที่ 3.49 ภาพด้านขวาแสดงระยะต่างๆ ของรูน้ำหล่อเย็นที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ	108
ภาพที่ 3.50 แสดงลักษณะการหล่อเย็นใน คอร์ อินเสิร์ท (Core Insert) แบบวน	109
ภาพที่ 3.51 แสดงการประกอบชุดระบบหล่อเย็น (Assembly Cooling System)	109
ภาพที่ 3.52 ขณะแม่พิมพ์เปิด	110
ภาพที่ 3.53 ขณะแม่พิมพ์ปิด	110
ภาพที่ 4.1 แสดงเครื่องฉีดพลาสติกยี่ห้อ KRAUSS MAFFEL รุ่น KM 65-180 CX	111
ภาพที่ 4.2 แสดงยกแม่พิมพ์ขึ้นเครื่องฉีดพลาสติก	111
ภาพที่ 4.3 แสดงการยึดแม่พิมพ์เข้ากับ Fixed Plate ที่เครื่องฉีด	112

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รายการ	หน้า
ภาพที่ 4.4 แสดงการเคลื่อนที่แผ่น Moving Plate เข้าหาโมลด์และทำการยึดแม่พิมพ์เข้า Moving Plate ที่เครื่องฉีด	112
ภาพที่ 4.5 แสดงการติดตั้งระบบหล่อเย็น	113
ภาพที่ 4.6 แสดงระยะการเปิด-ปิดแม่พิมพ์	113
ภาพที่ 4.7 แสดงการป้อนค่าพารามิเตอร์	113
ภาพที่ 4.8 แสดงการเติมเม็ดพลาสติก (PP) ลงใน Hopper	114
ภาพที่ 4.9 แสดงการฉีดชิ้นงาน	114
ภาพที่ 4.10 แสดงระยะชักสกรูในช่วงการฉีดเติม	115
ภาพที่ 4.11 แสดงระยะชักสกรูในช่วงการดึงเม็ดพลาสติกเข้ากระบอกฉีด	115
ภาพที่ 4.12 แสดงระยะชักสกรูในช่วงการดึงเม็ดพลาสติกเข้ากระบอก	116
ภาพที่ 4.13 แสดงรอบเวลาในการฉีด 1 รอบ (Cycle Time)	116
ภาพที่ 4.14 แสดงชิ้นงานที่ได้ระหว่างการปรับตั้งพารามิเตอร์การฉีด	117
ภาพที่ 4.15 ชิ้นงานมีครีบ (Flash)	117
ภาพที่ 4.16 แสดงชิ้นงานที่ได้จากการปรับตั้งพารามิเตอร์การฉีดที่สมบูรณ์	117
ภาพที่ 4.17 แสดงชิ้นงานที่มีตำหนิบริเวณรูเข้า(Gate)	119
ภาพที่ 4.18 ทางเข้า (Gate) ของชิ้นงานกล่องดินสอที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ	122
ภาพที่ 4.19 แสดงเครื่องฉีดพลาสติกยี่ห้อ KRAUSS MAFFEL รุ่น KM 65-180 CX สำหรับใช้ ทดลองฉีด	123
ภาพที่ 4.20 แสดงแม่พิมพ์ขณะเปิด	123
ภาพที่ 4.21 แสดงแม่พิมพ์ขณะปิด	124
ภาพที่ 4.22 ขณะกำลังปรับตั้งพารามิเตอร์การฉีด	124
ภาพที่ 4.23 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการฉีด	124
ภาพที่ 4.24 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด	125
ภาพที่ 4.25 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีดหลังการปรับค่าพารามิเตอร์สมบูรณ์แล้ว	125
ภาพที่ 4.26 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีดและนำมาประกอบกันแล้ว	125
ภาพที่ 4.27 แสดงขนาดของทางวิ่ง (Runner) และทางเข้า (Gate)ตามทฤษฎี	131
ภาพที่ 4.28 แสดงทางวิ่ง (Runner) และทางเข้า (Gate) ของชิ้นงานกล่องพลาสติกที่	

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รายการ	หน้า
ออกแบบถูกต้องตามหลักวิชาการ	131
ภาพที่ 4.29 แสดงทางวิ่ง (Runner) และทางเข้า (Gate) ของชิ้นงานกล่องพลาสติกที่ออกแบบถูกต้องตามหลักวิชาการที่ได้จากการฉีด	131
ภาพที่ 5.1 แสดงชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่ออกแบบไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ	138
ภาพที่ 5.2 แสดงชิ้นงานที่มีตำหนิบริเวณรูเข้า(Gate)	138
ภาพที่ 5.3 แสดงชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่ออกแบบถูกต้องตามหลักวิชาการจะไม่มีรอยตำหนิบริเวณรูเข้า(Gate)	139
ภาพที่ 5.4 แสดงชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ที่ออกแบบถูกต้องตามหลักวิชาการ	139

รายการสัญลักษณ์

A	=	พื้นที่ภาพฉายของแม่พิมพ์
A_A	=	พื้นที่ของแผ่นยึดแม่พิมพ์
A_{KK}	=	พื้นที่ของท่อน้ำหล่อเย็น ซึ่งคิดใน 1 วงจรการหล่อเย็น (Cooling Channel Area In One Mold Half)(m^2)
Q_{TM}	=	ความร้อนที่ไหลออกจากท่อน้ำหล่อเย็น อันเนื่องจากการถ่ายเทความร้อน (Heat Removed By Ratural Means)(W)
α_{TM}	=	สัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนของน้ำหล่อเย็น ($W/m^2\,^\circ C$)
δ_{KK}	=	ระยะทางระหว่างน้ำหล่อเย็น (Distance of Cooling Channel From Cavity Wall)(m)
A_{pl}	=	พื้นที่พื้นผิวของแม่พิมพ์ (Half of The Molding Surface Area Which is Contact With One Mold Half)
s	=	ความหนาของแบบ (คิดส่วนหนาที่สุด) (Molding Thickness) (mm.)
a_{eff}	=	สัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อน (Effective Mean Thermal Conductivity) (mm^2/s)
ϑ_M	=	อุณหภูมิการหลอมเหลวพลาสติก (Melt Temperature)($^\circ C$)
ϑ_W	=	อุณหภูมิเฉลี่ยของผนังพลาสติก (Mean Cavity Wall Tempera Thickness) ($^\circ C$)
ϑ_E	=	อุณหภูมิในการปลดชิ้นงาน (Mean Demolding Temperature, Average Thickness) ($^\circ C$)
t_K	=	เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น(Cooling Time) (sec)
t_{ZUS}	=	เวลาพิเศษอื่นๆ (Extra Time)(Sec)
m	=	น้ำหนักของแม่พิมพ์ (Mold Weight)
h_I	=	เอนทาลปีของพลาสติก ณ อุณหภูมิหลอมเหลว (Specific Enthalpy of Plastic During Injection)
h_E	=	เอนทานปีของพลาสติก ณ อุณหภูมิเปิดแม่พิมพ์ (Specific Enthalpy of Component During Demolding)
t_Z	=	เวลารอบในการฉีด (Cycle Time) (sec)

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

t_K = เวลาของการหล่อเย็น (Cooling Time) (sec)

t_{ZUS} = เวลาพิเศษอื่นๆ (Extra Time)(sec)

A_A = พื้นที่หรือหน้าสัมผัสของแม่พิมพ์ (The Area of Clamping Plate) (m^2)

β = ค่าความสามารถในการนำความร้อน (Thermal Conductivity Calculated by Practical Measurement)

ϑ_{TM} = ค่าอุณหภูมิห้อง (The Room Temperature) ($^\circ$C)

A_s = หน้าอื่นๆที่สัมผัสกับอากาศหรือพื้นผิวด้านข้างของแม่พิมพ์ (The Side Surfaces of Mold) (m^2)

ϑ_U = ค่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ (The Required Mold Temperature) ($^\circ$C)

ϑ_{TM} = ค่าอุณหภูมิห้อง (The Room Temperature) ($^\circ$C)

α = ค่าความสามารถในการพาความร้อน (The Heat Transfer Coefficient for Free Convective in Air ~ 8 $W/m^2\,^\circ K$)

A = พื้นผิวด้านข้างของแม่พิมพ์ (Area of The Mold Side Faces)

D_{KK} = ขนาด Ø ของรูน้ำหล่อเย็น (Diameter of Heating - Cooling Channel)

ρ_{TM} = เส้นผ่าศูนย์กลางของรูหล่อเย็น (Diameter of Heating – Cooling Medium)(kg/m^3)

L = ความยาวรวมทั้งหมดของระบบหล่อเย็น (Total legth of Heating – Cooling Channel)(m.)

ζ = ตัวประกอบความต้านทาน

r = รัศมีของการหมุนเวียนRadius of Gyration (d/4)

l = ความยาวของเข็ม Length of Pin

E = ความสามารถของการยืดหยุ่น Modulus of Elasticity

υ_U = อุณหภูมิของแม่พิมพ์

υ_w = อุณหภูมิของผนังแม่พิมพ์

V = ปริมาตรของชิ้นงาน

t_C = เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น

Tdemold = อุณหภูมิปลดชิ้นงาน

Tmold = อุณหภูมิแม่พิมพ์

ประมวลคำศัพท์เทคนิค

Cavity	เบ้า
Cavity Insert	อินเสิร์ทเบ้า
Cavity Plate	แผ่นเบ้า
Clamping Unit	ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์
Cooling Channe	ท่อหล่อเย็น
Core	คอร์
Core Insert	อินเสิร์ทคอร์
Core Plate	แผ่นคอร์
Cycle Time	เวลารอบในการผลิต
Ejector Pin	เข็มกระทุ้ง
Ejector Plate	แผ่นกระทุ้ง
Feed System	ระบบป้อน
Fixe Plate	แม่พิมพ์ส่วนที่อยู่กับที่
Gate	รูเข้า
Gate Bush	ปลอกนำ
Gate Pillar	เพลานำ
Injection Mold	แม่พิมพ์ฉีด
Injection Pressure	แรงดันฉีด
Injection Rate	อัตราการฉีด
Insert	อินเสิร์ท
Holding Pressure	แรงดันตาม
Locator Pin	สลักบังคับตำแหน่ง
Moving Plate	แม่พิมพ์ส่วนที่เคลื่อนที่
Nozzle	หัวฉีด
Parting Line	เส้นที่แบ่งส่วนแม่พิมพ์
Pin-Point Gate	รูเข้าแบบเข็ม
Register Ring	แหวนบังคับศูนย์
Retum Pin	สลักกระทุ้งกลับ

ประมวลคำศัพท์เทคนิค (ต่อ)

Runner	รูวิ่ง
Scrap	เศษพลาสติก
Shinkage	การหดตัว
Side Core	คอร์อินเสิร์ท
Sink Mark	การยุบตัว
Single-Im Pression Basic Mold	แม่พิมพ์เบื้องต้นแบบช่องว่างเดียว
Split	แยกชิ้น
Split Insert	อินเสิร์ทแยกชิ้น
Split Mold	แม่พิมพ์แบบแยกด้านข้าง
Sprue	รูฉีด
Sprue Bush	ปลอกรูฉีด
Sprue Gate	รูเข้าแกนรูฉีด
Stripper Plate	แผ่นปลด
Support Plate	แผ่นค้ำ
Three-Plate-Injection Mold	แม่พิมพ์ฉีดแบบสามาแผ่น
Two- Plate-Injection Mold	แม่พิมพ์แบบสองแผ่น
Top Clamping Plate	แผ่นยึดส่วนบน
Venting	การระบายอากาศ
Void	โพรง