สารบัญ

หน้า

สารบัญ (1)

สารบัญตาราง (4)

สารบัญภาพ (5)

คำนำ 1

ความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์การทำวิจัย 2

ขอบเขตการทำวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

การตรวจเอกสาร 4

แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 4

ชนิดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 4

วิธีการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 8

การสร้างต้นแบบรวดเร็ว 17

วิธีการทำต้นแบบ 17

ต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototype, RP) 17

การประยุกต์ใช้ต้นแบบรวดเร็วในอุตสาหกรรม 25

สารประกอบอิพอคซี่เรซิ่นเติมอลูมิเนียม 28

website www.azom.com 29

Blehm Plastics, Inc. 30

De-Comp Composites, Inc. 30

website www.Smooth-On.com and www.sculpturesupply.com 32

website www.manufacturingtalk.com 33

website www.melrosechem.com 33

QCM Industrail 33

Rapid Product Development Resource Centre, Industrail Centre, PolyU 34

MCP Group 38

Star Technology, Inc. 42

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 44
อุปกรณ์และวิธีการ 49
อุปกรณ์ 49
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 49
เครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ 49
อุปกรณ์อื่น ๆ 51
วิธีการ 51
การสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 53
การทำวิศวกรรมย้อนรอยแม่พิมพ์ฉีดยาง 54
กระบวนการสร้างไฟล์ .stl เพื่อสร้างชิ้นงานต้นแบบ 3 มิติ 55
สร้างต้นแบบชิ้นงาน 3 มิติ 55
ทำการวัดค่าอุณหภูมิของส่วนผสมในการเทหล่อ 56
การเตรียมวัสดุเพื่อทดสอบหาวัสดุที่เหมาะสมในการสร้างมาสเตอร์โมเดล 56
กระบวนการเทหล่อชิ้นงานเพื่อหาวัสดุที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นมาสเตอร์โมเดล
ด้วยสารประกอบอิพอคซี่เรซิ่นเติมอลูมิเนียมและเทหล่อชิ้นงานจริง 56
วัดอุณหภูมิแม่พิมพ์ฉีดยางที่ทำการหล่อขึ้นมา 56
ผลและวิจารณ์ 57
ผล 57
การออกแบบชิ้นงานและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 57
การทำวิศวกรรมย้อนรอยแม่พิมพ์ฉีดยาง 81
กระบวนการสร้างไฟล์ .stl เพื่อสร้างชิ้นงานต้นแบบ 3 มิติ 86
สร้างต้นแบบชิ้นงาน 3 มิติ 87
ทำการวัดค่าอุณหภูมิของส่วนผสมในการเทหล่อ 90
ผลการเทหล่อวัสดุเพื่อทดสอบหาวัสดุที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นมาสเตอร์โมเดล 92
กระบวนการเทหล่อชิ้นงาน 98
ผลการวัดอุณหภูมิแม่พิมพ์ฉีดยางที่ทำการหล่อ 114

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

วิจารณ์ 122
การสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 122
การทำวิศวกรรมย้อนรอยแม่พิมพ์ฉีดยาง 123
กระบวนการสร้างไฟล์ .stl เพื่อสร้างชิ้นงานต้นแบบ 3 มิติ 123
การสร้างต้นแบบชิ้นงาน 3 มิติ 123
การทดสอบหาวัสดุที่เหมาะสมในการสร้างมาสเตอร์โมเดล 124
ทำการวัดค่าอุณหภูมิของส่วนผสมในการเทหล่อ 124
กระบวนการหล่อชิ้นงาน 124
วัดอุณหภูมิแม่พิมพ์ฉีดยางที่ทำการหล่อขึ้นมา 126
สรุปและข้อเสนอแนะ 127
สรุป 127
ข้อเสนอแนะ 127
เอกสารและสิ่งอ้างอิง 129
ภาคผนวก 133

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การใช้ขนาดทางวิ่งกับพลาสติกชนิดต่าง ๆ (ค่าแนะนำ)	10
2	ขนาดทางวิ่งและทางเข้าและน้ำหนักของชิ้นงาน (ค่าแนะนำ)	13
3	ขนาดรูระบายอากาศของแม่พิมพ์ (ค่าแนะนำ)	14
4	การออกแบบระบบหล่อเย็นในแม่พิมพ์	14
5	คุณสมบัติทั่วไป	29
6	คุณสมบัติวัสดุอลูมิเนียม ACR-500 ฮาร์ดเดนเนอร์ CS-215 (Standard)	31
7	คุณสมบัติวัสดุอลูมิเนียม ACR-500 ฮาร์ดเดนเนอร์ C-201 (Standard)	31
8	คุณสมบัติวัสดุของ EP tooling resins	39
9	คุณสมบัติทางกายภาพทั่วไป	43
10	ผลการวิเคราะห์และตรวจสอบโดยโปรแกรม Mold flow	59
11	ผลการวัดอุณหภูมิการเทหล่อที่อุณหภูมิห้อง ณ เวลาต่าง ๆ	91
12	อุณหภูมิแม่พิมพ์ฉีดยางเดิมที่ทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง 32.0 °c ทุก 5 นาที	115
13	อุณหภูมิแม่พิมพ์ฉีดยางที่หล่อด้วยอิพอคซี่เรซิ่นเติมอลูมิเนียมที่ทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง 34.0 °c ทุก 5 นาที	117
14	ค่าความโก่งงอของอินเสิร์ทแม่พิมพ์ฉีดยางหลังการวัดอุณหภูมิ ตามแนว L1	120
15	ค่าความโก่งงอของอินเสิร์ทแม่พิมพ์ฉีดยางหลังการวัดอุณหภูมิ ตามแนว L2	120
16	ค่าความโก่งงอของอินเสิร์ทแม่พิมพ์ฉีดยางหลังการวัดอุณหภูมิ ตามแนว L3	121
17	ค่าความโก่งงอของอินเสิร์ทแม่พิมพ์ฉีดยางหลังการวัดอุณหภูมิ ตามแนว L4	121
18	ค่าความโก่งงอของอินเสิร์ทแม่พิมพ์ฉีดยางหลังการวัดอุณหภูมิ ตามแนว L5	121
19	ค่าความโก่งงอของอินเสิร์ทแม่พิมพ์ฉีดยางหลังการวัดอุณหภูมิ ตามแนว L6	122

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แม่พิมพ์สองแผ่น	5
2	แม่พิมพ์สามแผ่น	6
3	แม่พิมพ์แบบแยก	7
4	ส่วนประกอบต่าง ๆ ของแม่พิมพ์	7
5	รูฉีดเรียว	10
6	ทางวิ่งแบบต่าง ๆ	12
7	หลักการของสเตอริโอไลโธกราฟฟี	20
8	การสร้างต้นแบบด้วยกระดาษเคลือบ	21
9	วิธีการหลอมด้วยแสงเลเซอร์	22
10	การสร้างต้นแบบด้วยการหลอมเส้นใยพลาสติก	23
11	วิธีการบ่มให้แข็ง	24
12	วิธีการพิมพ์สามมิติ	25
13	การทำแม่พิมพ์จาก RP โดยตรงแบบ Direct shell production casting	26
14	การทำแม่พิมพ์จาก RP โดยอ้อมแบบ Single - reverse method	27
15	การทำแม่พิมพ์จาก RP โดยอ้อมแบบ Double - reverse method	27
16	การทำแม่พิมพ์จาก RP โดยอ้อมแบบ Triple - reverse method	28
17	ขั้นตอนที่ 1 การวางมาสเตอร์โมเดลและ platen	35
18	ขั้นตอนที่ 2 เตรียมแม่แบบและเทหล่อแม่พิมพ์	36
19	ขั้นตอนที่ 3 กลับด้านแม่พิมพ์และเตรียมเทหล่อแม่พิมพ์อีกด้านหนึ่ง	36
20	ขั้นตอนที่ 4 พ่นสารเคลือบชิ้นงานและเทหล่อแม่พิมพ์อีกด้าน	37
21	ขั้นตอนที่ 5 แยกแม่พิมพ์ด้านคอร์และเบ้าออกจากกัน	37
22	ขั้นตอนที่ 6 เก็บรายละเอียดและประกอบแม่พิมพ์	38
23	เลือกต้นแบบจากวัสดุใด ๆ	40
24	กำหนดแม่แบบ เทหล่อและไล่ฟองอากาศ	40
25	กลับด้านชิ้นงาน เทหล่อทับและไล่ฟองอากาศ	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ถอดแม่แบบออก	41
27	นำแม่พิมพ์ไปอบในเตาอบ	42
28	แม่พิมพ์ฉีดที่สมบูรณ์	42
29	รูเข็มที่ผิวชิ้นงานหล่อ	44
30	รูพรุนหรือโพรงแก๊ส	44
31	ขั้นตอนการสร้างชิ้นงานสำหรับแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกจนถึงขั้นการเทหล่อแม่พิมพ์	52
32	ขั้นตอนการสร้างชิ้นงานสำหรับแม่พิมพ์ฉีดยางจนถึงขั้นการเทหล่อแม่พิมพ์	53
33	ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบ Conventional	54
34	ขนาดมิติของชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูป	57
35	ชิ้นงานที่ขึ้นรูปตามขนาดมิติที่ต้องการจาก Modeling ในโปรแกรม UG NX2	58
36	ชิ้นงานที่กำหนดขนาดทางวิ่งและทางเข้า	58
37	นำชิ้นงานจากการขึ้นรูปด้วยโปรแกรม UG NX2 มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Mold flow	60
38	ผลการวิเคราะห์เวลาในการฉีดชิ้นงาน	60
39	ผลการวิเคราะห์ความเชื่อมั่นในการฉีดชิ้นงาน	61
40	ผลการวิเคราะห์แรงดันในการฉีด	61
41	ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิการไหลที่ผิวชิ้นงาน	62
42	ผลการวิเคราะห์คุณภาพชิ้นงาน	62
43	ผลการวิเคราะห์ weld line	63
44	ผลการวิเคราะห์ air vent	63
45	ชิ้นงานที่เปิดขึ้นใน Mold wizard โปรแกรม UG NX2	65
46	ชิ้นงานที่กำหนดค่าหดตัวในโปรแกรม	65
47	ชิ้นงานที่กำหนด work piece	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
48	เส้นแบ่งแม่พิมพ์ชิ้นงานแยกตามขอบสี	66
49	แยกแม่พิมพ์ตามเส้นแบ่ง	67
50	จำนวนชิ้นงานต่อ 1 แม่พิมพ์เท่ากับ 2 อิมเพรสชั่น	67
51	ขนาด mold base ที่ต้องการ	68
52	ช่องอินเสิร์ทแม่พิมพ์ด้านคอร์	68
53	ช่องอินเสิร์ทแม่พิมพ์ด้านคาวิตี้	69
54	แหวนประคอง (locating ring) และ sprue bush	69
55	เข็มกระทุ้ง (Ejector pin)	70
56	เลือกแบบทางวิ่งตามที่ได้ออกแบบไว้	70
57	แบบทางวิ่งตามที่ได้ออกแบบไว้	71
58	แบบทางวิ่งตามที่ได้ออกแบบไว้ ภาพขยายบริเวณทางวิ่ง	71
59	แบบทางเข้าตามที่ได้ออกแบบไว้	72
60	แบบทางเข้าตามที่ได้ออกแบบไว้ ภาพขยายทางเข้า	72
61	แม่พิมพ์ด้านคอร์ฝั่งที่มีช่องอินเสิร์ท	73
62	แม่พิมพ์ด้านคอร์	73
63	เข็มกระทุ้งและสปริง (ภาพมุมบน)	74
64	เข็มกระทุ้งและสปริง	74
65	แม่พิมพ์ ด้านคาวิตี้ใส่อินเสิร์ทแล้ว	75
66	แม่พิมพ์ ด้านคาวิตี้ด้านหลัง	75
67	แผ่นล่างสุดของแม่พิมพ์ (bottom plate)	76
68	ประกอบแม่พิมพ์	76
69	ประกอบแม่พิมพ์เรียบร้อย เตรียมขึ้นเครื่องฉีดพลาสติก	77
70	เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์เข้าเครื่องฉีดพลาสติก	77
71	ปิดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องฉีดพลาสติกที่แรงดันสูง (High pressure)	78
72	ยึดแม่พิมพ์ (clamp mold) เข้ากับเครื่องฉีดพลาสติก	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
73	ยึดแม่พิมพ์เรียบร้อยเตรียมฉีดชิ้นงาน	79
74	แม่พิมพ์ด้านคอร์ (ยึดแม่พิมพ์กับเครื่องฉีดพลาสติกเรียบร้อยแล้ว)	79
75	แม่พิมพ์ด้านคาวิตี้ (ยึดแม่พิมพ์กับเครื่องฉีดพลาสติกเรียบร้อยแล้ว)	80
76	ชิ้นงานพลาสติกโพลีพรอพีลีน (Polypropylene, PP) ที่ฉีดขึ้นรูป	80
77	ชิ้นงานพลาสติกโพลีสไตรีน (Polystyrene, PS) ที่ฉีดขึ้นรูป	81
78	อินเสิร์ทแม่พิมพ์ฉีดยาง รองเท้า NIKE	82
79	อินเสิร์ทแม่พิมพ์ฉีดยาง รองเท้า NIKE พ่นสเปรย์แป้งเคลือบผิว	82
80	กลุ่มจุดจากการสแกนผิวชิ้นงานผ่านโปรแกรม Polygonia v.5	83
81	กลุ่มจุดที่มีการเรียงตัวที่สมบูรณ์แล้ว	83
82	ชิ้นงานที่เป็นกลุ่มจุดในโปรแกรม Geomagic studio v.6	84
83	ชิ้นงานที่ผ่านการตกแต่งผิวบางส่วนแล้ว	84
84	ชิ้นงานที่ผ่านการตกแต่งผิวเรียบร้อยแล้วด้านคอร์	85
85	ชิ้นงานที่ผ่านการตกแต่งผิวเรียบร้อยแล้วด้านคาวิตี้	85
86	การเปลี่ยนนามสกุลไฟล์จาก .prt เป็น .stl	86
87	การเปลี่ยนนามสกุลไฟล์จาก .wrp เป็น .stl	86
88	เตรียมเครื่องสร้างต้นแบบและวัสดุผงแป้งพลาสเตอร์	87
89	เครื่องสร้างต้นแบบเกลี่ยวัสดุผงแป้งพลาสเตอร์ให้เรียบ	87
90	โปรแกรม Zprint 7.3 นำไฟล์ .stl เข้ามาเพื่อเตรียมสร้างชิ้นงานต้นแบบ	88
91	โปรแกรม Zprint 7.3 ร่วมกับเครื่องซีพริ้นท์เตอร์สร้างต้นแบบ	88
92	เตรียมวัสดุผงไนลอน	89
93	โปรแกรม LS 3.3 นำไฟล์ .stl เข้ามาเพื่อเตรียมสร้างชิ้นงานต้นแบบ	89
94	โปรแกรม LS 3.3 ร่วมกับเครื่องซินเทอร์สเตชั่น ไฮคิว สร้างต้นแบบ	90
95	สารประกอบเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง	90
96	ชิ้นงานตาม 6.1.1 ถึง 6.1.5	92
97	ชิ้นงานตาม 6.1.6 ถึง 6.1.8	93

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
98	ชิ้นงานตาม 6.1.9	93
99	ชิ้นงานตาม 6.2.1	94
100	ชิ้นงานตาม 6.2.2	94
101	ชิ้นงานตาม 6.2.3	95
102	ชิ้นงานตาม 6.2.4	95
103	ชิ้นงานตาม 6.2.5	96
104	ชิ้นงานตาม 6.2.6	96
105	ชิ้นงานตาม 6.2.7	97
106	ชิ้นงานตาม 6.2.8	97
107	ชิ้นงานตาม 6.2.9	98
108	ผลงานจาก platen ดินน้ำมันโดยใช้อิพอคซี่เรซิ่นเติมอลูมิเนียมเทหล่อหนา 10 มิลลิเมตร	99
109	ผลงานจาก platen ดินน้ำมันโดยใช้อิพอคซี่เรซิ่นเติมอลูมิเนียมเทหล่อหนา 35 มิลลิเมตร	99
110	งาน platen ยางพารากับชิ้นงานพลาสติก PS	100
111	งาน platen ยางพารากับชิ้นงานพลาสติก PS และงานหล่อที่ได้	100
112	ผลงานจาก platen ยางพารากับชิ้นงานพลาสติก PS โดยใช้อิพอคซี่เรซิ่นเติมอลูมิเนียมเทหล่อหนา 5 มิลลิเมตร	101
113	งาน platen เทียนไขกับชิ้นงานพลาสติก PP และ PS	101
114	งาน platen เทียนไขกับชิ้นงานพลาสติก PP และ PS ที่ทำการตกแต่งเก็บรายละเอียดก่อนเทหล่อเรียบร้อย	102
115	ผลงานจาก platen เทียนไขกับชิ้นงานพลาสติก PP และ PS โดยใช้อิพอคซี่-เรซิ่นเติมอลูมิเนียมเทหล่อหนา 10 มิลลิเมตร	102
116	ผลงานจาก platen เทียนไขกับชิ้นงานพลาสติก PP และ PS โดยใช้อิพอคซี่-เรซิ่นเติมอลูมิเนียมเทหล่อหนา 10 มิลลิเมตร เมื่อแกะเทียนไขและชิ้นงานออกแล้ว	103

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
117	ผลงานจาก platen เทียนไขกับชิ้นงานพลาสติก PP และ PS โดยใช้อิพอคซี่-เรซิ่นเติมอลูมิเนียมเทหล่อหนา 25 มิลลิเมตร	103
118	งาน platen ปูนพลาสเตอร์กับชิ้นงานพลาสติก PP	104
119	ผลการเทหล่ออิพอคซี่เรซิ่นเติมอลูมิเนียมทับปูนพลาสเตอร์ โดยใช้อิพอค-ซี่เรซิ่นเติมอลูมิเนียมเทหล่อหนา 25 มิลลิเมตร	104
120	ผลการเทหล่ออิพอคซี่เรซิ่นเติมอลูมิเนียมทับปูนพลาสเตอร์ โดยใช้อิพอค-ซี่เรซิ่นเติมอลูมิเนียมเทหล่อหนา 25 มิลลิเมตร เมื่อแกะปูนพลาสเตอร์และชิ้นงานออกแล้ว	105
121	การเตรียมชิ้นงานต้นแบบสำหรับหล่ออินเสิร์ทแม่พิมพ์ฉีดยาง	106
122	ผสมและเทส่วนผสมที่เข้ากันดีแล้วลงในแม่แบบที่ได้เตรียมต้นแบบเอาไว้	107
123	ชิ้นงานที่เทหล่อเรียบร้อยแล้วสำหรับแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	108
124	ชิ้นงานที่เทหล่อเรียบร้อยแล้วด้านคาวิตี้และด้านคอร์สำหรับฉีดชิ้นงานพลาสติก	108
125	ชิ้นงานที่เทหล่อเรียบร้อยแล้วด้านคอร์สำหรับชิ้นงานฉีดพื้นยางรองเท้า NIKE	109
126	เก็บรายละเอียดผิวชิ้นงานที่เทหล่ออินเสิร์ทแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	110
127	เก็บรายละเอียดผิวชิ้นงานที่เทหล่ออินเสิร์ทแม่พิมพ์ฉีดยาง	110
128	ประกอบอินเสิร์ทแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่หล่อได้กับพิมพ์แผ่นคอร์	111
129	ประกอบอินเสิร์ทแม่พิมพ์ฉีดยางที่หล่อได้กับพิมพ์แผ่นคอร์	111
130	ประกอบอินเสิร์ทที่หล่อได้กับแม่พิมพ์แผ่นคอร์บนเครื่องฉีดพลาสติก	112
131	ประกอบอินเสิร์ทที่หล่อได้กับแม่พิมพ์แผ่นคาวิตี้บนเครื่องฉีดพลาสติก	112
132	ชิ้นงานฉีดบนแม่พิมพ์อินเสิร์ทที่หล่อได้	113
133	ชิ้นงานฉีดจากแม่พิมพ์อินเสิร์ทที่หล่อได้โดยใช้เม็ดพลาสติก PP	113
134	ชิ้นงานฉีดจากแม่พิมพ์อินเสิร์ทที่หล่อได้โดยใช้เม็ดพลาสติก PS	114
135	แม่พิมพ์ฉีดยางพร้อมอินเสิร์ทแม่พิมพ์เดิมที่ประกอบกับแท่งนำความร้อนเพื่อวัดอุณหภูมิ	115

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
136	แม่พิมพ์ฉีดยางพร้อมอินเสิร์ทแม่พิมพ์ที่ทำการหล่อขึ้นที่ประกอบกับแท่งนำความร้อนเพื่อวัดอุณหภูมิ	118
137	ชิ้นงานแม่พิมพ์อินเสิร์ทฉีดยางที่หล่อได้หลังการวัดอุณหภูมิเกิดการโก่งงอขึ้น	119
138	พื้นด้านหลังอินเสิร์ทแม่พิมพ์ฉีดยางพร้อมแนวการวัดค่าความโก่งงอ	120
139	ชิ้นงานต้นแบบจากเครื่องซินเทอร์สเตชั่น ไฮคิวที่เกิดการโก่งงอ	124

ภาพผนวกที่

1	โปรแกรม Unigraphics NX 2	133
2	โปรแกรม Mold flow: mold part advisor version 7.2	133
3	โปรแกรม Polygonia version 5	134
4	โปรแกรม Geomagic Studio version 6	134
5	โปรแกรม Zprint version 7.3	135
6	โปรแกรม LS 3.3	135
7	เครื่องสร้างต้นแบบซีพริ้นท์เตอร์ 310 พลัส	136
8	เครื่องสร้างต้นแบบซินเทอร์สเตชั่น ไฮคิว	136
9	หัวเลเซอร์ครีออน	137
10	แขนกลซิมคอร์พร้อมติดตั้งหัวเลเซอร์ครีออน	137
11	เครื่องเจียระไนโอกาโมโต้ 63 ดีเอ็กซ์	138
12	เครื่องกัด 3 แกน ชีวาเลีย โมเดล 2040 วีเอ็มซี	138
13	เครื่องฉีดพลาสติกแบทเทนฟิลด์	139
14	เครื่องชั่งน้ำหนัก Shinko Denshi AJ-820CE	139
15	อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ Laser radiation Digicon DP-88	140
16	กล่องอลูมิเนียม แม่แบบสำหรับแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	140

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
17	กล่องอลูมิเนียม แม่แบบสำหรับแม่พิมพ์ฉีดยาง	141
18	ผงอลูมิเนียม	141
19	อิพอคซี่เรซิ่นเหลว	142
20	ฮาร์ดเดนเนอร์	143
21	สเปรย์ผงแป้ง	144