สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการเกิดรอยเชื่อมประสานและรอยยุบ ในการขึ้นรูปพลาสติกแบบฉีด

A STUDY ON WELD LINE AND SINK MARK IN INJECTION MOLDING OF PLASTIC

T050966

วิษรสรรค์ โชคชัยวิวัฒน์

WISORNSAN CHOKCHAIWIWAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2547

ISBN 974 – 324 – 982 - 6

เลขหมู่....................

เลขทะเบียน 50966

วัน,เดือน,ปี 26 พ.ค. 2547

.b....................

.i....................

b1138949

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY ON WELD LINE AND SINK MARK
IN INJECTION MOLDING OF PLASTIC

WISORNSAN CHOKCHAIWIWAT

A THESIS SUBMITTED IN PARTAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING OF MECHANICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKOT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

ISBN 974 – 324 – 982 - 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการเกิดรอยเชื่อมประสานและรอยยุบในการขึ้นรูปพลาสติกแบบฉีด
นักศึกษา	นายวิษรสรรค์ โชคชัยวิวัฒน์
รหัสนักศึกษา	44062001
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอ การประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Moldex) ในการจำลองการไหล และการกระจายตัวของพลาสติกเหลว ในแม่พิมพ์พลาสติกแบบฉีด โดยศึกษาถึง parameter และปัญหาที่ทำให้เกิดรอยเชื่อมประสาน (Weld line) และรอยยุบ (Sink mark) ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการไหลของพลาสติกเหลวที่เงื่อนไขต่างๆกัน ได้แก่ อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ ความดันฉีด ความดันย้ำ อุณหภูมิของการหล่อเย็น เวลาของการหล่อเย็นและเวลาของการฉีดย้ำ ซึ่ง parameter เหล่านี้ที่ค่ากำหนดเป็นค่าที่ได้ทำการฉีดจริงแล้วเกิดปัญหารอยเชื่อมประสาน (Weld line) และรอยยุบ (Sink mark) โดยจากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิพลาสติกเหลวและอุณหภูมิแม่พิมพ์มีผลกับความเร็ว นั่นคือเมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้ความหนืดต่ำและทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นโดยที่ด้านหลังของ insert ความเร็วจะค่อยๆสูงขึ้น แต่บริเวณใกล้กับ insert ความเร็วจะลดลงเนื่องจากมีการนำความร้อนทำให้อุณหภูมิลดลงทำให้เกิด weld line โดยเฉพาะบริเวณใกล้กับ insert แต่จะค่อยๆหายไปเมื่อห่างจาก insert เวลาเชื่อมประสานล่าช้าทำให้เกิดการแข็งตัวก่อนการเชื่อมประสานจะชนกัน ความดันฉีดมีผลกับความเร็วของน้ำพลาสติกเหลวแต่จะไม่มีผลกับการหดตัว ความดันย้ำ อุณหภูมิของการหล่อเย็น เวลาของการหล่อเย็นและเวลาการฉีดย้ำมีผลกับการหดตัวของชิ้นงานซึ่งส่งผลกับการเกิดรอยยุบ (Sink mark) เมื่อศึกษาผลที่ได้จากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิของการหล่อเย็น อุณหภูมิของแม่พิมพ์ เวลาของการหล่อเย็น เวลาการฉีดย้ำและความดันย้ำเป็นปัจจัยสำคัญทำให้เกิดรอยยุบ (Sink mark) ส่วนอุณหภูมิพลาสติกเหลวและอุณหภูมิแม่พิมพ์เป็นปัจจัยสำคัญทำให้เกิดรอยเชื่อมประสาน(Weld line) ในชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A study on weld line and sink mark in injection molding of plastic
Student	Mr.Wisornsan Chokchaiwiwat
Student ID.	44062001
Degree	Master degree of engineering
Programme	Mechanical engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Jaruwat Jareonsuk

ABSTRACT

This paper presents the use of Moldex to simulate flow of plastic in liquid stage on injection molding process. The parameters affecting weld line and sink mark were studied .The results obtained in this work show the characteristic of flow at different condition such as melt temperature, mold temperature , filling pressure , packing pressure , cooling temperature , cooling time and holdingtime. These parameters set have actually result in weld line and sink mark problems in actual injection stage. From the results, it can be concluded that higher melting temperature result in lower fluid viscosity thus higher flow velocity behind an insert. However , a drop in velocity near the insert is observed where higher flow velocity occurs further away from it. Lower velocity leads to a longer time delay of the melting fronts to fill up the cavity and this explain larger heat loss in liquid plastic near an insert. Injection pressure also plays the role in liquid velocity but does not affect to shrinkage. Packing pressure ,cooling temperature, cooling time and holding time relate to shrinkage of the product. These mechanisms subjected to further study and can be concluded that cooling temperature, mold temperature , cooling time , holding time and packing pressure are important factors in sink mark problem. Melting temperature and mold temperature are the factors that control the appearance of weld line in part.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกทราบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอบพระคุณบิดา มารดา น้องๆ และเพื่อนๆทุกคนที่เป็นกำลังใจมาโดยตลอดให้อดทนต่อสู้ให้สำเร็จ

ขอบพระคุณ อาจารย์ เมธี ใบงาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กับคำแนะนำต่างๆที่เกี่ยวข้องกับ โปรแกรม Moldex

ขอบพระคุณ คุณยุทธนา ธนูศร บริษัท พรีเมียร์ ซีอี จำกัดและบริษัท บีวีที เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนเซ้าแท้น จำกัด กับข้อมูลต่างๆในการทดลองและคำแนะนำเกี่ยวกับความรู้ด้านแม่พิมพ์พลาสติก

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณท่านอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้คำแนะนำในงานวิจัยนี้มาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วิษรสรรค์ โชคชัยวิวัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ...IV
สารบัญตาราง...VIII
สารบัญรูป...IX
บทที่ 1 บทนำ...1
1.1ความเป็นมาและความสำคัญ..1
1.2วัตถุประสงค์...1
1.3ขอบเขตของโครงงาน...1
1.4ขั้นตอนการวิจัยและศึกษา..2
1.5ประโยชน์ที่ได้รับ...2

บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์...3

บทที่ 3 ทฤษฎี..5
3.1ปัจจัยพื้นฐานของกระบวนการในแม่พิมพ์แบบฉีด..5
3.1.1ปัจจัยวัสดุ..6
3.1.1.1 พฤติกรรมความดัน ปริมาตร อุณหภูมิ(PVT)..6
3.1.1.2 ความหนืด..8
3.1.2ปัจจัยด้านรูปร่าง..8
3.1.3ปัจจัยทางการผลิต...10
3.2วัสดุสำหรับแม่พิมพ์ฉีด...13
3.3วัฏจักรในแม่พิมพ์ฉีด..15
3.3.1การย้ำ..15
3.3.2เวลาหล่อเย็น..15
3.4การไหลในแม่พิมพ์ฉีด...16
3.4.1The frozen layer...16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.4.2Flow with shear....17

3.5ปัจจัยที่มีผลกับ PVT diagram....17

3.6การใช้ PVT diagram เพื่อประมาณค่าการหดตัว....17

3.7ปัจจัยที่มีผลกระทบกับการหดตัว....20

3.8Weld lines....20

3.8.1ผลของการเกิด Weld line 20

3.8.2วิธีทำให้เกิด Weld line น้อยที่สุด....23

3.9Sink mark ในแม่พิมพ์....23

3.10ทฤษฎีและสมการที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรม Moldex....24

บทที่ 4 วิธีการทดลอง....28

4.1ขั้นตอนการทดลอง....28

4.2พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา....34

4.2.1อุณหภูมิพลาสติกเหลว....35

4.2.2อุณหภูมิแม่พิมพ์....35

4.2.3ความดันฉีด....35

4.2.4ความดันย้ำ....35

4.2.5อุณหภูมิของการหล่อเย็น 35

4.26เวลาของการหล่อเย็น....35

4.2.7เวลาการฉีดย้ำ....36

4.3Validate Model....36

4.3.1ชิ้นงานที่1....36

4.3.1.1 Weld line....36

4.3.1.2 Sink mark....37

4.3.2 ชิ้นงานที่2....38

4.3.3 ชิ้นงานที่3....39

4.3.3.1Weld line....39

4.3.3.2Sink mark....39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.3.4ชิ้นงานที่4.....40

4.3.4.1Weld line.....40

4.3.4.2Sink mark.....40

บทที่ 5 ผลการทดลอง.....42

5.1 ขบวนการฉีดพลาสติกหน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่นด้วย Program Moldex (ชิ้นงานที่1).....42

5.2 ขบวนการฉีดพลาสติกหน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่นด้วย Program Moldex (ชิ้นงานที่2).....43

5.3 ขบวนการฉีดพลาสติกหน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่นด้วย Program Moldex (ชิ้นงานที่3).....45

5.4 ขบวนการฉีดพลาสติกหน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่นด้วย Program Moldex (ชิ้นงานที่4).....47

5.5ลักษณะของprocessที่ใช้ฉีดชิ้นงานพลาสติกใน Program Moldex และผลการทดลองต่างๆ.....48

5.5.1ผลการทดลองชิ้นงานที่1(Weld line).....50

5.5.2ผลการทดลองชิ้นงานที่2(Weld line).....53

5.5.3ผลการทดลองชิ้นงานที่3(Weld line).....59

5.5.4ผลการทดลองชิ้นงานที่4(Weld line).....63

5.6 Sink mark.....66

5.6.1ผลการทดลองชิ้นงานที่1(sink mark).....66

5.6.2ผลการทดลองชิ้นงานที่3 (sink mark).....68

5.6.3ผลการทดลองชิ้นงานที่4(sink mark).....69

5.7การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....71

5.7.1การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ทำให้เกิด Weld lineจากผลการทดลอง.....71

5.7.1.1 อุณหภูมิของการหล่อเย็น.....71

5.7.1.2 เวลาของการหล่อเย็น.....72

5.7.1.3 เวลาในการฉีดย้ำ.....72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.7.1.4 อุณหภูมิพลาสติกเหลว.....72
5.7.1.5 อุณหภูมิแม่พิมพ์.....72
5.7.1.6 ความดันย้ำ.....72
5.7.1.7 ความดันฉีด.....73
5.7.2การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ทำให้เกิด Sink mark จากผลการทดลอง.....73

บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....75
6.1สรุปผลการทดลอง.....75
6.2ข้อเสนอแนะ.....79

เอกสารอ้างอิง.....81

ภาคผนวก บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....83

ประวัติผู้เขียน.....99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 แสดงข้อมูลทางความร้อนสำหรับ unfilled polymer ในแต่ละตัว....................................15
4.1 แสดง Layer Control ใน Autocad...30
4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำการฉีดจริงแล้วเกิดปัญหาของชิ้นงานที่1..................................31
4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่แปรผันเพื่อทำการศึกษาของชิ้นงานที่1.......................................31
4.4แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำการฉีดจริงแล้วเกิดปัญหาของชิ้นงานที่2...................................32
4.5 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่แปรผันเพื่อทำการศึกษาของชิ้นงานที่2.......................................32
4.6 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำการฉีดจริงแล้วเกิดปัญหาของชิ้นงานที่3..................................33
4.7 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่แปรผันเพื่อทำการศึกษาของชิ้นงานที่3.......................................33
4.8 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำการฉีดจริงแล้วเกิดปัญหาของชิ้นงานที่4..................................34
4.9 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่แปรผันเพื่อทำการศึกษาของชิ้นงานที่4.......................................34
6.1แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดปัญหาและพารามิเตอร์ที่แก้ไขปัญหาแล้วของชิ้นงานที่1........75
6.2แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดปัญหาและพารามิเตอร์ที่แก้ไขปัญหาแล้วของชิ้นงานที่2........76
6.3แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดปัญหาและพารามิเตอร์ที่แก้ไขปัญหาแล้วของชิ้นงานที่3........78
6.4แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดปัญหาและพารามิเตอร์ที่แก้ไขปัญหาแล้วของชิ้นงานที่4........78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

3.1 แสดงเครื่องฉีดแม่พิมพ์พลาสติก.. 5
3.2 แสดงลักษณะของ PVT ละชุดทดลองหาค่า PVT ของวัสดุ.......................................6
3.3แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับปริมาตรจำเพาะของamorphour polymer และ crystalline polymer..7
3.4 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดกับ shear rate และ Cross model.........................8
3.5 แสดงค่า stiffness กับ ความหนาของชิ้นงาน...9
3.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของเวลาของการหล่อเย็นกับความหนาของชิ้นงาน........................10
3.7 แสดงลักษณะการ filling และ packing กับ cooling ใน gate และ freeze-off.......................10
3.8 แสดงบริเวณที่แตกต่างกันของการไหลจนสุดบริเวณของ gate สี่เหลี่ยม..........................11
3.9 แสดงลักษณะของอุณหภูมิใน cavity ระหว่างวัฏจักรการฉีดแม่พิมพ์...............................11
3.10 แสดงการเปลี่ยนของความดันของ cavity บนวัฏจักรการฉีดแม่พิมพ์..............................12
3.11 แสดงชิ้นงานทั่วๆไปกับการเปลี่ยนแปลงความดันในระหว่างจุด 1, 2 และ 3ตามลำดับ........12
3.12 แสดงผลกระทบของความดันย้ำกับการหดตัวเชิงเส้น...13
3.13 แสดงตัวอย่างของวัฏจักรการฉีดแม่พิมพ์...15
3.14 แสดงการไหลและการกิด frozen layer...16
3.15 แสดงความหนืดกับ strain rate...17
3.16แสดงลักษณะของความดันในแต่ละสภาวะ...18
3.17แสดงลักษณะขบวนการของการฉีดแม่พิมพ์บนกราฟปริมาตรจำเพาะกับอุณหภูมิ..............18
3.18แสดงลักษณะของความดัน ณ บริเวณต่างๆกัน...19
3.19แสดงค่าการหดตัวเชิงปริมาตรของตำแหน่งที่ 1 2 และ3...19
3.20แสดงพลาสติกเหลวที่ไหลออกจาก gate สอง gate...20
3.21 แสดงการแยกและรวมกันอีกครั้งของพลาสติกเหลวที่ไหลโดยมีผลมาจาก insert ขวางกั้นอยู่...21
3.22 แสดงลักษณะการไหลของน้ำพลาสติกเหลวในทิศทางที่ตรงข้ามกัน................................21
3.23 แสดงลักษณะการเกิด weld line เนื่องจากความแตกต่างกันของความหนาชิ้นงาน..............22
3.24แสดงลักษณะการเกิด sink mark...23
3.25 กราฟแสดงค่าการนำความร้อนของพลาสติก ABS LUSTRAN 348..................................25
3.26 กราฟแสดงค่าความจุความร้อนของพลาสติก ABS LUSTRAN 348..................................26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ใช้ในการศึกษาเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.27 กราฟแสดงค่าปริมาตรจำเพาะของพลาสติก ABS LUSTRAN 348.....26
3.28 กราฟแสดงค่าความหนืดในแต่ละอุณหภูมิของพลาสติก ABS LUSTRAN 348.....26
4.1 แสดงชิ้นงานจริงให้เป็นชิ้นงานที่1.....28
4.2 แสดงชิ้นงานจริงให้เป็นชิ้นงานที่ 2.....28
4.3 แสดงชิ้นงานจริงให้เป็นชิ้นงานที่ 3.....28
4.4 แสดงชิ้นงานจริงให้เป็นชิ้นงานที่ 4.....28
4.5 แสดงชิ้นงานขึ้นรูปด้วย Surface ใน โปรแกรม Autocad โดยให้เป็นชิ้นงานที่1.....29
4.6 แสดงชิ้นงานขึ้นรูปด้วย Surface ใน โปรแกรม Autocad โดยให้เป็นชิ้นงานที่2.....29
4.7 แสดงชิ้นงานขึ้นรูปด้วย Surface ใน โปรแกรม Autocad โดยให้เป็นชิ้นงานที่3.....29
4.8 แสดงชิ้นงานขึ้นรูปด้วย Surface ใน โปรแกรม Autocad โดยให้เป็นชิ้นงานที่4.....29
4.9 แสดงตำแหน่งด้านบนของชิ้นงานที่ 1 และตำแหน่งที่เกิด Weld line.....36
4.10 แสดงตำแหน่งและความยาวของWeld lineของ model ในชิ้นงานที่ 1.....37
4.11 แสดงตำแหน่งและความยาวของWeld line ของชิ้นงานจริงในชิ้นงานที่1.....37
4.12 แสดงตำแหน่งที่เกิด Sink mark.....37
4.13 แสดงตำแหน่งที่เกิด Sink mark ใน model.....37
4.14 แสดงตำแหน่งด้านบนของชิ้นงานที่ 2 และตำแหน่งที่เกิด Weld line.....38
4.15 แสดงตำแหน่งและความยาวของWeld lineของ model ในชิ้นงานที่ 2.....38
4.16 แสดงตำแหน่งและความยาวของWeld line ของชิ้นงานจริงในชิ้นงานที่2.....38
4.17 แสดงตำแหน่งและความยาวของWeld lineของ model ในชิ้นงานที่ 3.....39
4.18 แสดงตำแหน่งและความยาวของWeld line ของชิ้นงานจริงในชิ้นงานที่ 3.....39
4.19 แสดงตำแหน่งที่เกิด Sink mark ใน model.....39
4.20 แสดงตำแหน่งและความยาวของWeld lineของ model ในชิ้นงานที่ 4.....40
4.21 แสดงตำแหน่งและความยาวของWeld line ของชิ้นงานจริงในชิ้นงานที่ 4.....40
4.22 แสดงตำแหน่งที่เกิด Sink mark ใน model.....40
5.1 Melt front ที่เวลา 0.5 วินาที.....42
5.2 Melt front ที่เวลา 1 วินาที.....42
5.3 Melt front ที่เวลา 1.5 วินาที.....42
5.4 Melt front ที่เวลา 2.0 วินาที.....42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า
5.5 Melt front ที่เวลา 2.5 วินาที....42
5.6 Melt front ที่เวลา 3.0 วินาที....42
5.7 Melt front ที่เวลา 3.5 วินาที....43
5.8 Melt front ที่เวลา 4.0 วินาที....43
5.9 Melt front ที่เวลา 4.5 วินาที....43
5.10 Melt front ที่เวลา 5.0 วินาที....43
5.11 Melt front ที่เวลา 0.3 วินาที....43
5.12 Melt front ที่เวลา 0.6 วินาที....43
5.13 Melt front ที่เวลา 0.9 วินาที....44
5.14 Melt front ที่เวลา 1.2วินาที....44
5.15 Melt front ที่เวลา 1.5 วินาที....44
5.16 Melt front ที่เวลา 1.8 วินาที....44
5.17 Melt front ที่เวลา 2.1 วินาที....44
5.18 Melt front ที่เวลา 2.4 วินาที....44
5.19 Melt front ที่เวลา 2.7 วินาที....45
5.20 Melt front ที่เวลา 3.0 วินาที....45
5.21 Melt front ที่เวลา 0.3 วินาที....45
5.22 Melt front ที่เวลา 0.6 วินาที....45
5.23 Melt front ที่เวลา 0.9 วินาที....45
5.24 Melt front ที่เวลา 1.2 วินาที....45
5.25 Melt front ที่เวลา 1.5 วินาที....46
5.26 Melt front ที่เวลา 1.8 วินาที....46
5.27 Melt front ที่เวลา 2.1 วินาที....46
5.28 Melt front ที่เวลา 2.4 วินาที....46
5.29 Melt front ที่เวลา 2.7 วินาที....46
5.30 Melt front ที่เวลา 3.0 วินาที....46
5.31 Melt front ที่เวลา 0.3 วินาที....47
5.32 Melt front ที่เวลา 0.6 วินาที....47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.33 Melt front ที่เวลา 0.9 วินาที......47

5.34 Melt front ที่เวลา 1.2 วินาที......47

5.35 Melt front ที่เวลา 1.5 วินาที......47

5.36 Melt front ที่เวลา 1.8 วินาที......47

5.37 Melt front ที่เวลา 2.1 วินาที......48

5.38 Melt front ที่เวลา 2.4 วินาที......48

5.39 Melt front ที่เวลา 2.7 วินาที......48

5.40 Melt front ที่เวลา 3.0 วินาที......48

5.41 แสดงลักษณะ Processที่ใช้ฉีดในโปรแกรม Moldex......49

5.42 แสดงลักษณะการเย็นตัวของชิ้นงานในโปรแกรม Moldex......49

5.43 แสดงการอ่านค่าของอุณหภูมิ ณ node ต่างๆที่เกิด weld line......49

5.44 แสดงตำแหน่งที่ศึกษาและเกิด weld line......50

5.45 แสดงตำแหน่ง node ที่ศึกษา......50

5.46 แสดงลักษณะของความเร็ว ณ ตำแหน่งที่ศึกษา......50

5.47กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น......51

5.48กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น......51

5.49กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น......51

5.50กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น......51

5.51กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ......51

5.52กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ......51

5.53กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว......52

5.54กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว......52

5.55กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์......52

5.56กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์......52

5.57กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดันย้ำ......52

5.58กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดันย้ำ......52

5.59กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดัน......53

5.60กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดัน......53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.61 แสดงตำแหน่งที่ศึกษาและตำแหน่งที่เกิดWeld line.....53
5.62 แสดงลักษณะการศึกษาความเร็ว.....54
5.63กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น(ซ้าย).....55
5.64กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น(ซ้าย).....55
5.65กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น(ซ้าย).....55
5.66กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น(ซ้าย).....55
5.67กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ(ซ้าย).....55
5.68กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ(ซ้าย).....55
5.69กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว(ซ้าย).....56
5.70กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว(ซ้าย).....56
5.71กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์(ซ้าย).....56
5.72กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์(ซ้าย).....56
5.73กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดันย้ำ(ซ้าย).....56
5.74กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดันย้ำ(ซ้าย).....56
5.75กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดัน(ซ้าย).....57
5.76กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดัน(ซ้าย).....57
5.77กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น(ขวา).....57
5.78กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น(ขวา).....57
5.79กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น(ขวา).....57
5.80กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น(ขวา).....57
5.81กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ(ขวา).....58
5.82กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ(ขวา).....58
5.83กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว(ขวา).....58
5.84กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว(ขวา).....58
5.85กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์(ขวา).....58
5.86กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์(ขวา).....58
5.87กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดันย้ำ(ขวา).....59
5.88กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดันย้ำ(ขวา).....59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.89กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดัน(ขวา)....59

5.90กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดัน(ขวา)....59

5.91 แสดงตำแหน่งที่ศึกษาและตำแหน่งที่เกิดWeld line....59

5.92 แสดงลักษณะของความเร็วของด้านบนของชิ้นงาน....60

5.93 แสดงลักษณะของความเร็วของด้านข้างของชิ้นงาน....60

5.94กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น....60

5.95กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น....60

5.96กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น....61

5.97กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น....61

5.98กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ....61

5.99กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ....61

5.100กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว....61

5.101กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว....61

5.102กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์....62

5.103กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์....62

5.104กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดันย้ำ....62

5.105กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดันย้ำ....62

5.106กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดัน....62

5.107กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดัน....62

5.108 แสดงตำแหน่งที่ศึกษาและตำแหน่งที่เกิดWeld line....63

5.109 แสดงลักษณะของความเร็วของด้านบนของชิ้นงาน....63

5.110 แสดงลักษณะของความเร็วของด้านข้างของชิ้นงาน....63

5.111กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น....64

5.112กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น....64

5.113กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น....64

5.114กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น....64

5.115กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ....64

5.116กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ....64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.117กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว.....................65

5.118กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว.....................65

5.119กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์.............................65

5.120กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์.............................65

5.121กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดันย้ำ 65

5.122กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดันย้ำ.......................................65

5.123กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดัน...66

5.124กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดัน... 66

5.125 แสดงตำแหน่งที่เกิด sink mark...66

5.126 แสดงค่าการเกิด sink markของความดันเติมเต็มและความดันย้ำ...............................67

5.127 แสดงค่าการเกิด sink markของอุณหภูมิหล่อเย็นอุณหภูมิพลาสติกเหลว
และอุณหภูมิแม่พิมพ์..67

5.128 แสดงค่าการเกิด sink markของเวลาหล่อเย็นและเวลาการฉีดย้ำ..................................67

5.129 แสดงตำแหน่งที่เกิด sink mark...68

5.130 แสดงค่าการเกิด sink markของความดันเติมเต็มและความดันย้ำ 68

5.131 แสดงค่าการเกิด sink markของอุณหภูมิหล่อเย็นอุณหภูมิพลาสติกเหลว
และอุณหภูมิแม่พิมพ์..69

5.132 แสดงค่าการเกิด sink markของเวลาหล่อเย็นและเวลาการฉีดย้ำ.......................... 69

5.133 แสดงตำแหน่งที่เกิด sink mark...70

5.134 แสดงค่าการเกิด sink markของความดันเติมเต็มและความดันย้ำ...............................70

5.135 แสดงค่าการเกิด sink markของอุณหภูมิหล่อเย็นอุณหภูมิพลาสติกเหลว
และอุณหภูมิแม่พิมพ์..70

5.136 แสดงค่าการเกิด sink markของเวลาหล่อเย็นและเวลาการฉีดย้ำ.......................... 71

6.1แสดงค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของค่าที่ทำให้เกิดปัญหาและค่าที่แก้ไขแล้ว...............76

6.2แสดงค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของ ค่าที่ทำให้เกิดปัญหาและค่าที่แก้ไขแล้ว
(ด้านซ้าย)..77

6.3แสดงค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของ ค่าที่ทำให้เกิดปัญหาและค่าที่แก้ไขแล้ว
(ด้านขวา)... 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์พลาสติกมีบทบาทมากขึ้นในชีวิตประจำวัน โดยในอุตสาหกรรมได้ผลิตสินค้าที่เป็นพลาสติกออกมามากมายซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ต้องมีความเสียหายน้อยที่สุด ปัญหาส่วนหนึ่งที่เกิดกับผลิตภัณฑ์พลาสติกแบบฉีดคือ Weld line และ Sink mark โดยในงานวิจัยที่ได้นำเสนอนี้มุ่งเน้นเพื่อศึกษาและแก้ปัญหาการเกิด Weld line และ Sink mark ในชิ้นงานเครื่องทำน้ำอุ่นและพลาสติกที่ใช้คือ ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene) โดยจะมี parameter ควบคุมในการทดลองคืออุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ ความดันฉีด ความดันย้ำ อุณหภูมิของการหล่อเย็น เวลาของการหล่อเย็นและเวลาของการฉีดย้ำ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในส่วนของการ Simulation เพื่อศึกษาถึง parameter และปัญหาเบื้องต้นของ Weld line และ Sink mark โดยอ้างอิงข้อมูลจากการฉีดจริงเท่านั้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษา parameter และปัญหา โดย parameter ที่ศึกษาเกี่ยวข้องกับปัญหาการเกิด Weld line และ Sink mark ได้แก่ อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ ความดันฉีด ความดันย้ำ อุณหภูมิของการหล่อเย็น เวลาของการหล่อเย็นและเวลาการฉีดย้ำ

1.2.2หา parameterที่เหมาะสมที่ได้ทำการศึกษาซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาได้ในการฉีดชิ้นงาน

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1จำลองการไหลโดยการเปลี่ยนแปลงค่า parameter ต่างๆที่ศึกษาโดยใช้โปรแกรม Moldex

1.3.2พลาสติกที่ใช้เป็นชนิด ABS (Acrylonitile Butadiene Styrene)

1.3.3พิจารณาการไหลของของไหลเป็นแบบอัดตัวไม่ได้ในช่วง Filling stage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.4ศึกษาและแก้ไขถึงปัญหาการเกิด Weld lineและ Sink mark เท่านั้นโดยศึกษาถึงลักษณะการเกิดและพารามิเตอร์ต่างๆทีเกี่ยวข้องคืออุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ ความดันฉีด ความดันย้ำ อุณหภูมิของการหล่อเย็น เวลาของการหล่อเย็นและเวลาการฉีดย้ำ

1.3.5ศึกษาและแก้ไขถึงปัญหาการเกิด .Sink mark โดยศึกษาในช่วง packing stage และ cooling stage โดยพารามิเตอร์ต่างๆที่ศึกษาจะเป็นเหมือน Weld line

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและศึกษา

1.4.1ศึกษาถึงลักษณะและตัวแปรของปัญหาที่เกิดจากทฤษฎีและผลการทดลอง ซึ่งทำการสืบค้นในวรรณกรรมปริทัศน์

1.4.2.นำ Conditionต่างๆ ที่ได้จากการฉีดจริงมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมMoldex

1.4.3.นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาสรุปถึงลักษณะและตัวแปรของการเกิดปัญหาเพื่อหา Condition ที่ดีในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

1.4.4.นำค่า Condition ที่ได้ไปทำการฉีดจริงเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลอง

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 ประหยัดเวลาในการฉีดพลาสติก

1.5.2 ประหยัดต้นทุนของวัตถุดิบในการฉีดพลาสติก

1.5.3 สามารถเข้าใจลักษณะของ parameter ต่างๆที่ทำให้เกิด Weld line และSink markได้

1.5.4นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปพัฒนาในงานฉีดพลาสติกต่อไปได้

1.5.5 สามารถนำโปรแกรม Moldexมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาในการฉีดพลาสติกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีอยู่ในปัจจุบันได้แก่

1. งานวิจัยของ เมธี ใบงาม ได้ศึกษาถึงปัญหา Weld line ในบางส่วนโดยทดลองเฉพาะปัญหาของการเกิด Weld line โดยศึกษารูปร่างของชิ้นงานแบบเดียวเท่านั้น ซึ่งสรุปผลออกมาได้ว่าการแก้ไขปัญหา Weld line อุณหภูมิพลาสติกเหลวด้านหลัง insert ต้องไม่ต่ำเกินไปและได้แก้ไขปัญหาโดยเทียบการฉีดจริงกับการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ [1]

2.งานวิจัยของ อกนิษฐ์ สอนตระกูล ได้ศึกษาถึงพฤติกรรมของพลาสติกโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวและบิดงอในแม่พิมพ์พลาสติกแบบฉีด โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนท์ (Finite Element Method) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Mold Flow ซึ่งพบว่าความดันที่ใช้ในช่วงสภาวะการฉีดย้ำ (Packing Stage) จะมีผลกระทบมากกับการหดตัว ขณะที่เวลาที่ใช้ในการฉีดย้ำจะส่งผลกระทบน้อยกว่าและต้องมีค่าน้อยกว่าเวลาการแข็งตัวของประตูทางเข้า (Gate Freeze Off) [2]

3.งานวิจัยของ ภาศิษฎ์ ชูสุวรรณ ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลกับระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์พลาสติกแบบฉีด และทำการเขียนโปรแกรมการออกแบบระบบหล่อเย็นโดยใช้โปรแกรม Visual Basic[3]

4.งานวิจัยของ Jeffrey Dininger ได้ศึกษาถึงตัวแปรที่วิกฤตในขบวนการแม่พิมพ์แบบฉีด ได้แก่ อุณหภูมิพลาสติกเหลว อัตราของการหล่อเย็นพลาสติกและส่วนของความชื้น [10]

5.งานวิจัยของ K.Himasekhar , J.Lottey และ K.K.Wang ได้ศึกษาการวิเคราะห์การหล่อเย็นในแม่พิมพ์แบบฉีดโดยใช้การจำลองแบบ 3-D Numerical โดยได้แสดงถึงการออกแบบท่อหล่อเย็นโดยใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบและแสดงสมการที่เกี่ยวข้อง[11]

6.งานวิจัยของ J.-F H TU, D.M. GAO, A. GARCIA – REJON, and G.SALLOUM ได้ศึกษาถึง 3D Finite Element Model ซึ่งได้ทำนายถึง ความดัน ความเร็ว อุณหภูมิและตำแหน่งของการไหลของพอลิเมอร์ โดยความเร็วและความดันใช้ Stokes Equation พฤติกรรมของของไหลถูกทำนายโดย Carreau Law และ Arrhenius constitutive Models สมการเหล่านี้ถูกแก้โดยการใช้วิธีของ Galerkin วิธีการแบบผสมนี้เป็นที่พอใจอย่างมากกับสมการ continuity เส้นทางของการไหลจะจำลองโดยการใช้ pseudo – concentration method และวิธีการแก้ไขแบบจำลองนี้โดย Petrov – Galerkin ความผิดพลาดของแบบจำลองเหล่านี้ได้ทำการทดสอบ โดยการวิเคราะห์จากการไหลในชิ้นงานตัวอย่าง การทดสอบนี้เป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่งเมื่อมีการนำไปวิเคราะห์ในอุตสาหกรรม[17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.งานวิจัยของ Shin – Jung Liu ได้ศึกษาถึง weldlines strength ในแม่พิมพ์ฉีดของ Thermoplastic ซึ่งการทดลองนี้ถูกออกแบบบนพื้นฐานของ Taguchi method ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง และการทดสอบ Weldline strength จะใช้ tensile tester ซึ่งการทดลองพบว่าอุณหภูมิพลาสติกเหลวกับอุณหภูมิแม่พิมพ์เป็นปัจจัยสำคัญของการเกิด weldline และ weldline strength จะเพิ่มขึ้นกับขนาดของ obstacles ในแม่พิมพ์ฉีดของ Thermoplastic[18]

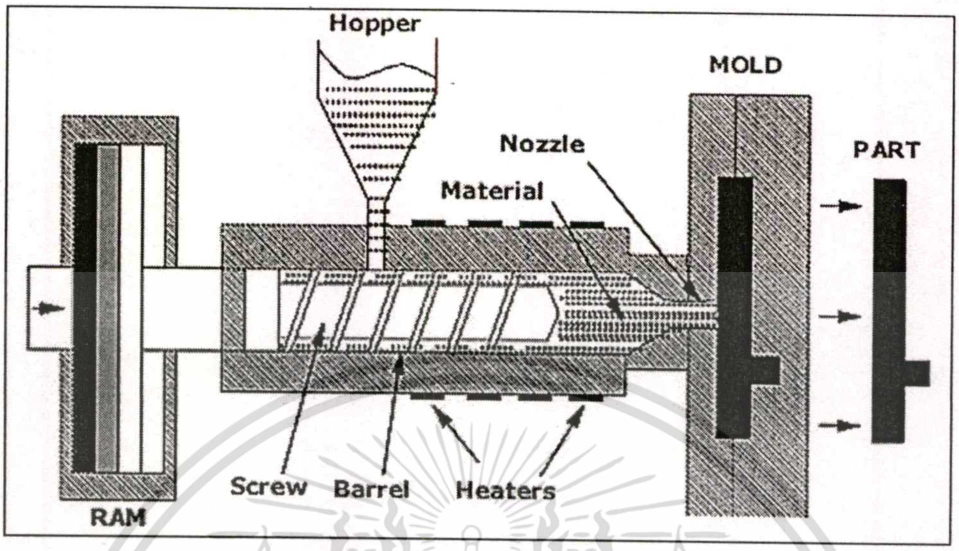
8.งานวิจัยของ Linhuo Shi, Mahesh Gupta ได้ศึกษาถึงการทำนาย sink mark ด้วย Localized Finite Element Shrinkage Analysis โดยการใช้โปรแกรม C-mold และ Abaqus ซึ่งพบว่า Packing Pressure และความหนาของชิ้นงานมีผลกับการเกิด sink mark และได้นำข้อมูลทางการทดลองไปเปรียบเทียบกับทางทฤษฎีพบว่ายอมรับได้เป็นอย่างดี[19]

นอกจากนี้จากการสืบค้นในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา Sink mark ในแม่พิมพ์พลาสติกแบบฉีด ได้กล่าวถึงการเกิด Sink mark ไว้ว่า ตำแหน่งที่เกิด Sink mark จะมีลักษณะการเย็นตัวที่ไม่ดีนั่นคือผิวของชิ้นงานด้านในจะแข็งตัวเร็วกว่าผิวชิ้นงานด้านนอกทำให้ตำแหน่งนี้เกิด Sink mark ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎี



รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องฉีดแม่พิมพ์พลาสติก

ภาพนี้แสดงขบวนการของแม่พิมพ์แบบฉีด พอลิเมอร์ที่ถูกทำให้ร้อนจะถูกฉีดไปที่แม่พิมพ์ที่เย็น สกรูจะเป็นตัวดันพอลิเมอร์เข้าสู่แม่พิมพ์ แสดงดังรูป หลังจากชิ้นงานเย็นและแข็งตัว แม่พิมพ์จะถูกเปิดออกและชิ้นงานจะถูกปล่อยออกมา

3.1 ปัจจัยพื้นฐานของขบวนการในแม่พิมพ์แบบฉีด

ปัจจัยพื้นฐานของขบวนการในแม่พิมพ์แบบฉีดสามารถแบ่งได้เป็น

3.1.1ปัจจัยวัสดุ

- amorphous,semicrystalline,สารที่มีการเติมเต็ม
- พฤติกรรม ความดัน – ปริมาตร – อุณหภูมิ (PVT)
- ความหนืด

3.1.2ปัจจัยทางรูปร่าง

- ความหนาของชิ้นงาน
- จำนวนและตำแหน่งของ gate
- ความหนาและพื้นที่ของ gate
- ชนิดของ gate

3.1.3ปัจจัยทางการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เวลาการเติมเต็ม
- ระดับความดันย้ำ
- อุณหภูมิแม่พิมพ์และพลาสติกเหลว

3.1.1 ปัจจัยวัสดุ

วัสดุพอลิเมอร์ที่ถูกใช้ในแม่พิมพ์แบบฉีดแบ่งได้เป็น amorphous, semi crystalline, สารที่มีการเติมเต็ม

พันธะในพลาสติก amorphous เป็นแบบกระจายตัวแบบสุ่ม ตัวอย่างบางส่วนของพอลิเมอร์แบบ amorphousเช่น polycarbonate, polyphenyleneoxide และ acrylonitrile butadiene styrene

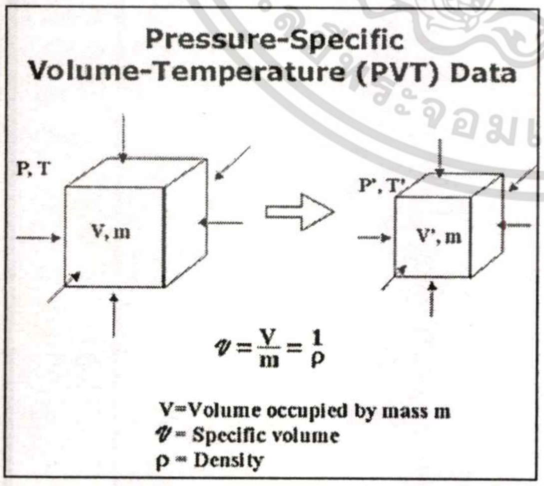
ในพอลิเมอร์ semi crystalline พันธะบางส่วนแบ่งได้จาก crystalline ตัวอย่างบางส่วนของพอลิเมอร์ เช่น polybutylene terephthalate และ nylon

วิศวกรรมพอลิเมอร์มักที่จะผสมพอลิเมอร์ 2 ชนิดหรือมากกว่า พอลิเมอร์มักที่จะผสมในสกรูคู่ของ extruder ตัวที่เติมเช่น short glass fiber สีผสม สารลดความเร็วของเปลวไฟมักที่จะใส่เพิ่มเข้าไปในพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกลหรือพฤติกรรมที่เกิดขึ้นอื่นๆ

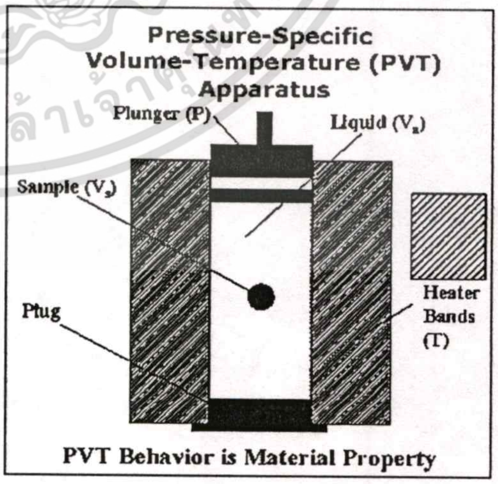
พอลิเมอร์ semi crystalline มีการบิดตัวที่สูงที่สุดตามส่วนผสมกับ amorphous polymer ระบบที่มีตัวเติมจะมีการบิดตัวน้อยที่สุด

3.1.1.1 พฤติกรรมความดัน ปริมาตร อุณหภูมิ(PVT)

พฤติกรรม PVT จะกล่าวถึง การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรจำเพาะกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความดัน



$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของ PVT ละชุดทดลองหาค่า PVT ของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรจำเพาะคือ ปริมาตรต่อ 1 หน่วยมวล ปริมาตรจำเพาะ,v ของพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความดัน

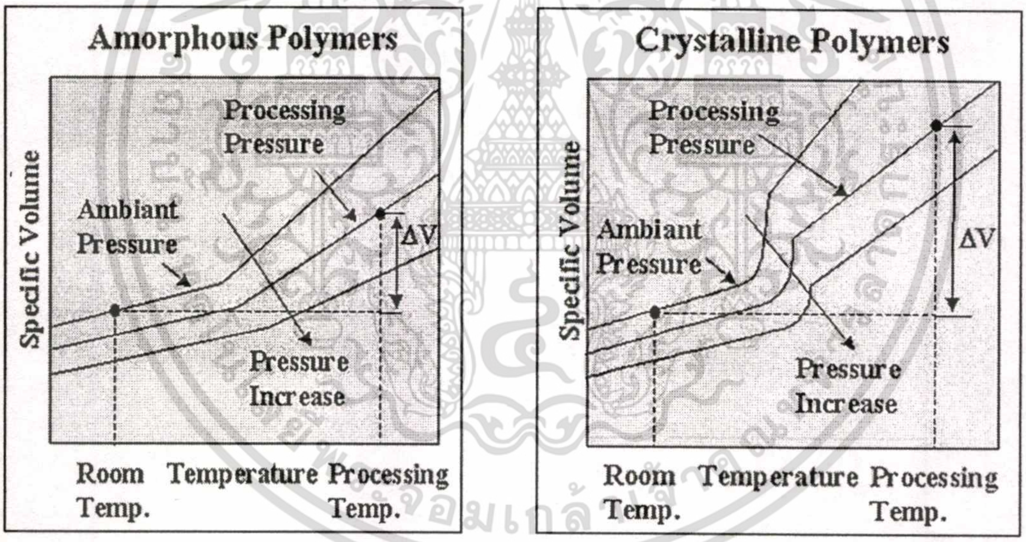
ข้อมูลการขยายตัวเชิงปริมาตรสำหรับวัสดุพอลิเมอร์อยู่ภายใต้สภาวะสมดุลเช่น ข้อมูลของคุณสมบัติทาง thermodynamics และการเปลี่ยนแปลงโดยวัสดุเคลื่อนไหวจาก glassy ไปเป็น crystalline ที่สภาวะหลอมเหลว

จากรูป เป็นความดันของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจาก P และ T ไปที่ P' และT' ปริมาตรของมวลเดียวกันเปลี่ยนจาก v ไปเป็น v'

ข้อมูล PVT สามารถวัดได้จากอุปกรณ์มาตรฐาน specimen ถูกทำให้ร้อนในห้องที่ถูกปิดและเปลี่ยนแปลงในตัวมันปริมาตรจะถูกวัดเมื่อได้ควบคุมช่วงของความดัน

Specimen ในแต่ละอันอยู่ในรูปของพอลิเมอร์ก้อนกลมเล็กๆหรือจะถูกตัดจากตัวขึ้นรูปแม่พิมพ์

พฤติกรรม PVT ของวัสดุจะแสดงที่ตำแหน่งวิกฤตในขบวนการที่สัมพันธ์กันที่ชิ้นงานสุดท้ายที่แสดง



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับปริมาตรจำเพาะของ amorphous polymer และ crystalline polymer

พอลิเมอร์แบบ semi crystalline มีการบิดตัวสูงกว่า พอลิเมอร์แบบ amorphous เนื่องจากระดับของการไขว้ของพันธะในพอลิเมอร์ Semi crystalline ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง

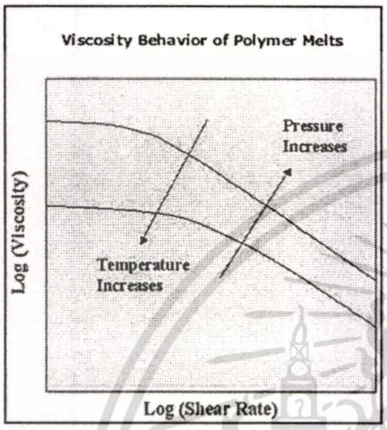
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงความแตกต่างที่สูงกว่าในปริมาตรจำเพาะ(Δv) ระหว่างเฟสที่หลอมเหลวกับเฟสที่แข็งตัวของวัสดุ semi crystalline การเติมส่วนผสมมักที่จะทำให้เกิด short glass fiber ลดความแตกต่างกันในปริมาตรจำเพาะระหว่างเฟสหลอมเหลวและเฟสแข็งตัว

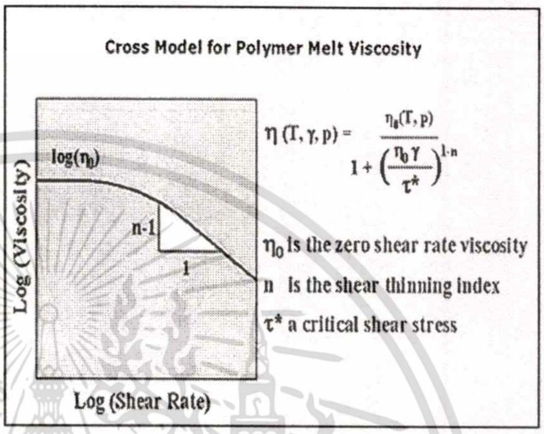
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.2 ความหนืด

พฤติกรรมความหนืดของวัสดุเป็นส่วนสำคัญในการพิจารณาความยาวของการไหลและความหนืดที่เกิดขึ้นระหว่างการไหลของพลาสติกเหลว

พอลิเมอร์เหลวส่วนมากจะมีพฤติกรรมแบบ shear thinning การเปลี่ยนแปลงไปในค่าที่ต่ำจะได้ค่า shear rate ที่สูง ความหนืดของพลาสติกเหลวเปลี่ยนแปลงตามตามขวางตามความหนาของชิ้นงานขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงใน shear rate





รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดกับ shear rate และ Cross model

ตัวผสมจะเพิ่มความหนืดของพลาสติกเหลว ความหนืดเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการพิจารณาความดันในการฉีดกับอัตราที่ให้หรือความยาวในการไหลกับความดันสูงสุดที่ให้ ความหนืดของพอลิเมอร์เหลว ถูกอธิบายได้ด้วย Cross model Model นี้อธิบายถึงความหนืดซึ่งเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ ความดัน และ shear rate Model นี้ใช้ได้ทั้ง Newtonian และ shaer thinning flow การเปลี่ยนแปลงระหว่างกฎทั้งสองขึ้นอยู่กับ t^*

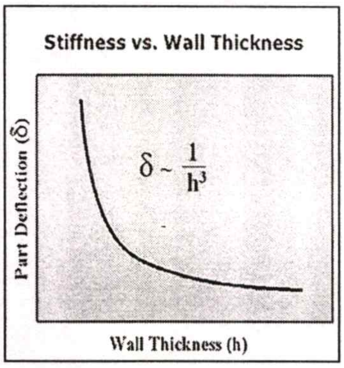
t^* เป็นความเค้นเฉือนที่พฤติกรรม shear thinning เริ่มต้นที่ชัดเจนในตัวของมันเอง ความชันของบริเวณ shear thinning สามารถอธิบายในรูปของ shear thinning index , n

model นี้มักจะนำไปจำลองการไหลสภาวะการเติมเต็มของแม่พิมพ์ฉีด

3.1.2 ปัจจัยด้านรูปร่าง

ปัจจัย 3 ตัวพื้นฐานที่คลอบคลุมตัวเลือกของความหนาของชิ้นงานได้แก่ 1.ชิ้นงานที่ออกแบบเพื่อความแข็งแรง 2.เวลาหล่อเย็น 3.ความยาวในการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงค่า stiffness กับ ความหนาของชิ้นงาน

ความหนาของผนังขึ้นอยู่กับโครงสร้างที่เหมาะสม รูปร่างของทางเข้า ขบวนการและวัสดุที่ใช้โครงสร้างเฉพาะที่เหมาะสมพิจารณาจากความหนาของผนังที่บางที่สุด

ความหนืดของวัสดุพิจารณาได้จากความยาวในการไหล ข้อมูลมาตรฐานได้นำเสนอความหนาของผนังซึ่งเป็นปัจจัยกับค่าของความยาวในการไหลซึ่งได้นำเสนอไว้ รูปร่างของทางเข้าและขบวนการสามารถเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมกับความยาวในการไหลที่ต้องการสำหรับวัสดุที่ให้และความหนาของชิ้นงานปกติ

การหล่อเย็นแม่พิมพ์ต้องมีมากกว่า 2-3 เท่า ของ cycle time ทั้งหมด รูปแบบในการหล่อเย็นพัฒนาคุณภาพของชิ้นงาน โดยการลดความเค้นตกค้าง และลักษณะมิติความแม่นยำ และมั่นคงของชิ้นงาน

เวลาในการหล่อเย็นเป็นปัจจัยของอุณหภูมิของผนังของแม่พิมพ์ อุณหภูมิของหลอมเหลว คุณสมบัติวัสดุและความหนาของชิ้นงาน

สมการได้แสดงไว้เป็นการหาแบบหยาบๆของเวลาหล่อเย็นน้อยที่สุด ที่จำเป็นก่อนปล่อยชิ้นงาน

$$\text{Minimum Cooling Time} = t_c = \frac{h^2}{\alpha \pi^2} \ln \left| \frac{4}{\pi} \left(\frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right) \right|$$

For Example: with

α = thermal diffusivity ~ 10^{-7} m^2/s

h = plate thickness ~ 3 x 10^{-3} m

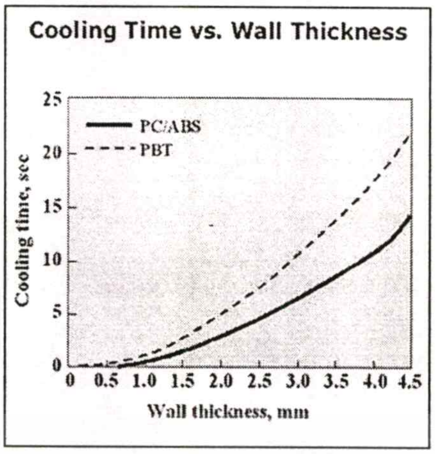
T_W = mold wall temperature ~ 50°C

T_M =melt temperature ~ 250°C

T_E = ejection temperature ~ 100°C

Minimum cooling time for centerline to reach T_E is T_C ~ 23 sec.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

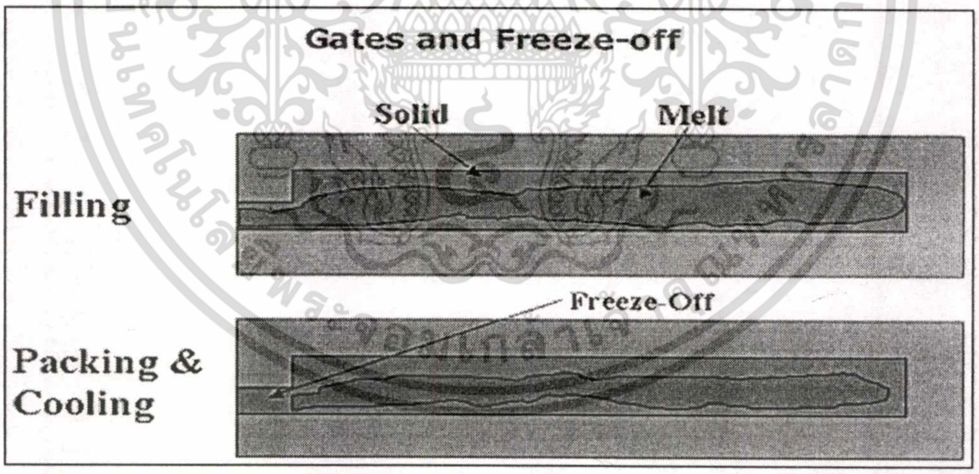


รูปที่ 3.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของเวลาของการหล่อเย็นกับความหนาของชิ้นงาน

เวลาในการหล่อเย็นของ semi-crystalline เป็นแบบเดียวกับ poly butylenes ซึ่งจะมีค่าสูงกว่า amorphous ซึ่งมีการบิดงอแบบเดียวกับ poly carbonate และ ABS

3.1.3 ปัจจัยทางการผลิต

การออกแบบปัจจัยอื่นๆในการผลิต ของชิ้นงานแม่พิมพ์แบบฉีด คือ fill time, packing pressureและ melt temperature



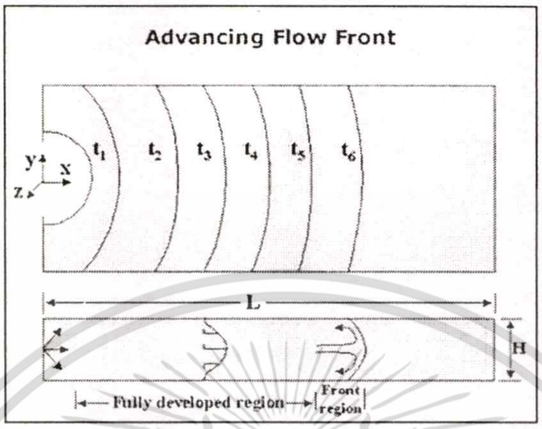
รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะการ filling และ packing กับ cooling ใน gate และ freeze-off

Gate เป็นส่วนของทางเข้า cavity แม่พิมพ์ มันจะถูกต่อเชื่อมกันระหว่าง runner และ cavity ของแม่พิมพ์

Gate ที่บางกว่า ชิ้นงานมักที่จะแข็งตัวเป็นอันดับแรกระหว่างการ packing มีวัสดุไม่มากที่สามารถฉีดหลังจาก gate มีการ freeze-off

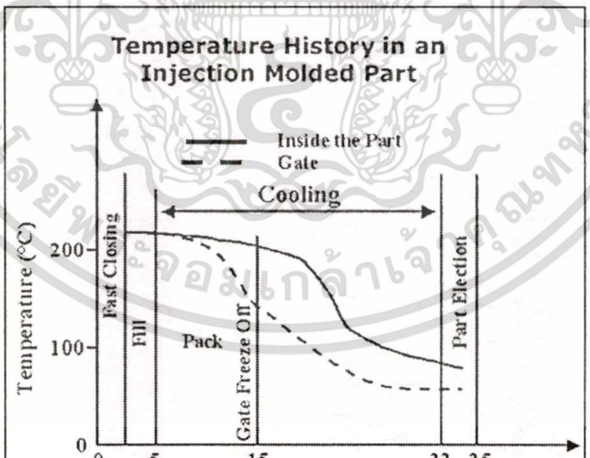
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติกเหลวใกล้กับผนังเย็นเร็วกว่า อุณหภูมิผนังแม่พิมพ์จะต่ำกว่าอุณหภูมิพลาสติกเหลว อย่างไรก็ตาม อัตราของ strain มีค่าสูงใกล้เคียงกับผนังแม่พิมพ์ นำไปสู่ความหนืดที่มีความร้อน



รูปที่ 3.8 แสดงบริเวณที่แตกต่างกันของการไหลจนสุดบริเวณของ gate สี่เหลี่ยม

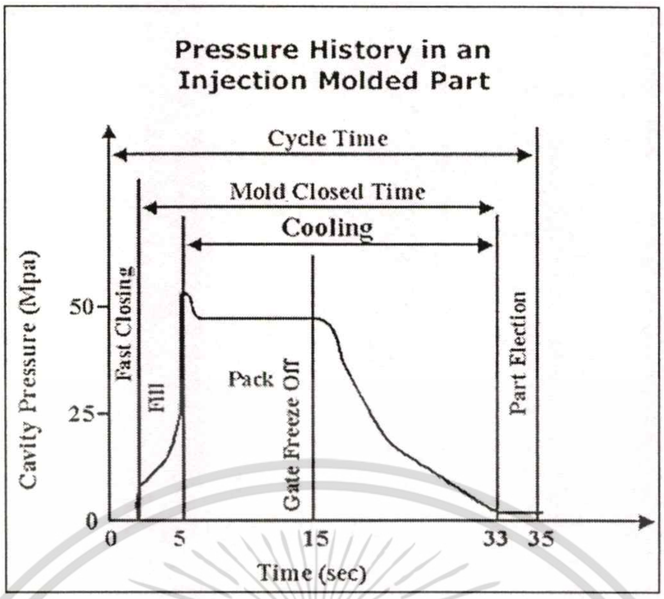
ในบริเวณการไหลแบบ fully developed รูปแบบการไหลจะไม่เปลี่ยนแปลงกับระยะทาง การไหลแบบนี้ สามารถแสดงด้วย 2D



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของอุณหภูมิใน cavity ระหว่างวัฏจักรการฉีดแม่พิมพ์

Gate จะแข็งตัวก่อนเป็นอันดับแรกเนื่องจากมีความบางกว่า cavity ก่อนที่อุณหภูมิของชิ้นงานพอเหมาะต่ำกว่าพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิแข็งตัวชิ้นงานจะถูกปล่อยออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงการเปลี่ยนของความดันของ cavity บนวัฏจักรการฉีดแม่พิมพ์

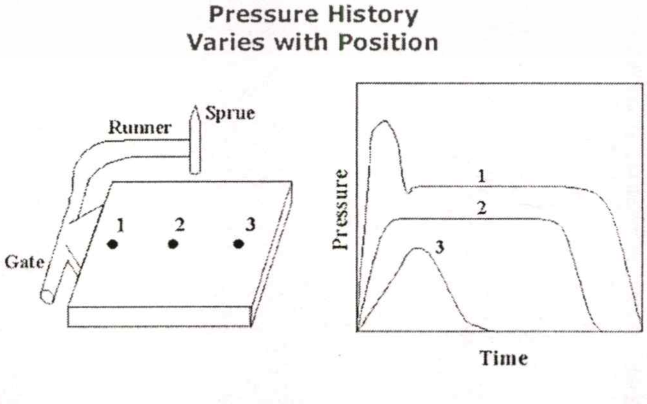
ความดันของ cavity จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างช่วง Filling ตามด้วยสภาวะ Holding หรือ Packing

Gate จะเย็นตัว ความดันของ cavity จะลดลงกับเวลาจนกระทั่งชิ้นงานถูกปล่อยออกมา

ที่ความดันสูง polymer เหลวจะเป็น compressible จะมีการย้ำวัสดุใน cavity แม่พิมพ์ หลังจากการเติมเต็มเสร็จสมบูรณ์ เพื่อที่จะลดการไม่เป็นรูปร่างและการหดตัวของชิ้นงานซึ่งจะนำไปสู่การบิดงอ

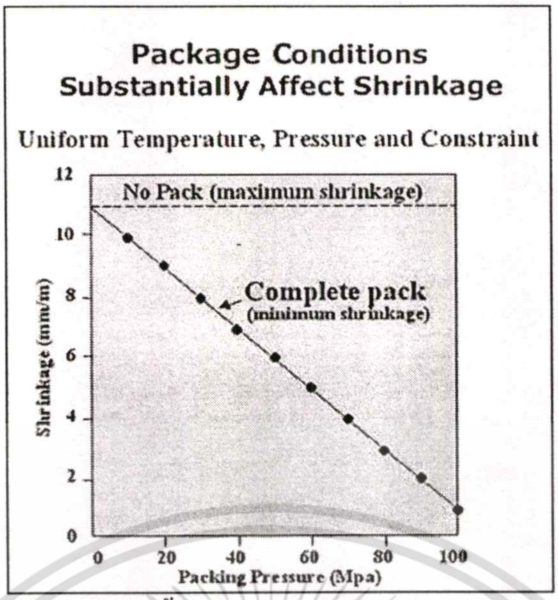
การฉีดย้ำที่มากเกินไปมีผลให้ชิ้นงานมีค่าความเค้นที่สูงและมีผลให้เกิดปัญหาการปลดปล่อยแต่ทว่าการฉีดย้ำที่ไม่เพียงพอผิวชิ้นงานจะไม่ดี sink mark ,welds และการไม่เป็นรูปร่างเกิดการบิดงอ

การกระจายความดันภายใน cavity แม่พิมพ์เปลี่ยนแปลงกับระยะทางภายใน gate



รูปที่ 3.11 แสดงชิ้นงานทั่วๆไปกับการเปลี่ยนแปลงความดันในระหว่างจุด 1,2 และ 3ตามลำดับ

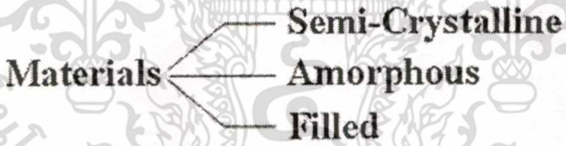
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงผลกระทบของความดันย้ำกับการหดตัวเชิงเส้น

3.2 วัสดุสำหรับแม่พิมพ์ฉีด

การเลือกวัสดุขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่นของปัจจัยที่บังคับของชิ้นงาน amorphous และ crystalline เป็น thermoplastic ที่ได้นำมาใช้ในแม่พิมพ์แบบฉีด short glass fiber มักที่จะใช้กับวิธี reinforcement



Thermoplastic ที่ใช้ในแม่พิมพ์แบบฉีดประกอบด้วย

- Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) *
- Acetal
- Acrylic
- Polycarbonate (PC)
- Polyester
- Polyethylene
- Fluoroplastic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Polyimide
- Nylon
- Polyphenylene oxide
- Polypropylene (PP) **
- Polystyrene (PS)
- Polysulphone
- Polyvinyl chloride (PVC)

*ใช้ทางวิศวกรรม themoplastic มาก

** copolymer ของ PP และ polyethylene คาดว่าจะมีการนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต เนื่องจาก copolymer มีคุณสมบัติที่จะถูกตัดได้

โดยการทดลองของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้ Thermoplastic แบบ ABS ในการฉีด ซึ่งมีคุณสมบัติต่างๆดังนี้

Acrylnitrile - Butadien Styrene (ABS)

<u>สีและลักษณะ</u>: เป็นเม็ดย้อมสี (สีธรรมชาติออกเหลืองน้ำตาล)

<u>คุณสมบัติโดยทั่วไปของผลผลิต</u> : เหนียว ทนการกระแทก มีความแข็งแรงสูง แข็ง ทึบเสียง ทนต่อดินฟ้าอากาศ และไม่เสื่อมสภาพ มีค่า dielectricity ดี ไม่มีสิ่งเป็นพิษตกค้าง

<u>ตัวอย่างการใช้งาน</u> (จากกรรมวิธีฉีด) : ส่วนประกอบภายในรถยนต์ เรือนและส่วนประกอบภายในรถยนต์ เรือนและส่วนประกอบของเครื่องใช้ในสำนักงาน โทรศัพท์ เครื่องใช้ในบ้านและในครัว ถังสำหรับขนส่งของเหลว เรือนและส่วนประกอบที่สำคัญของวิทยุ โทรทัสน์ เทปอัดเสียง และของเด็กเล่น

<u>อุณหภูมิที่ใช้งานได้เป็นระยะเวลานานๆ</u> : max. 60-80 C

<u>การทนต่อสารเคมี</u> : ทนต่อด่างและกรดอ่อน เบนซิน น้ำมันเครื่อง ไขมัน ไม่ทนต่อกรดแก่, Chlortnated hydrocarbon, Ester, Ketone, Ether

<u>สภาพและกลิ่นเมื่อไหม้ไฟ</u> : เปลวจะติดต่อไปหลังจุด เปลวจ้าและมีเขม่ามาก

<u>กลิ่น</u> : คล้ายของหวาน หรือคล้ายยาง กัดจมูก

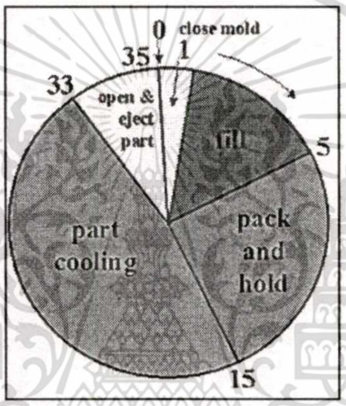
อัตราการหดตัว อยู่ระหว่าง 0.4-0.6 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่3.1 แสดงข้อมูลทางความร้อนสำหรับ unfilled polymer ในแต่ละตัว

Material	k [W/m K]	C_p [J/kg K]	ρ [kg/m3]	T_m [°C]	T_w [°C]	T_e [°C]
ABS	0.264	1314	1040	238	57	82
PC	0.190	1298	1200	302	82	118
PC/ABS	0.246	1252	1120	260	79	93
PBT	0.264	1741	1310	243	41	116
NYLON	0.250	4400	961	260	85	170

3.3 วัฏจักรในแม่พิมพ์ฉีด



รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างของวัฏจักรการฉีดแม่พิมพ์

วัฏจักรแม่พิมพ์ฉีดสามารถแบ่งออกได้เป็นส่วนย่อยๆคือ แม่พิมพ์ปิด การฉีด การย้ำ การหล่อเย็น การปิดแม่พิมพ์และการปล่อยชิ้นงานแสดงดังรูป โดยเวลาหล่อเย็นเป็นส่วนสำคัญของเวลาของวัฏจักรทั้งหมด

3.3.1 การย้ำ

ชิ้นงานเมื่อถูกเติมเต็ม เมื่อ polymer เหลวถูกเติมเต็มเข้าไปจนสุดแม่พิมพ์จะมีการย้ำเกิดขึ้นกับ polymer ความดันของพลาสติกเหลวที่ย้ำเข้า cavity เป็นความดันที่มีค่าสูง การกระทำเช่นนี้เพราะว่าการหล่อเย็นนำไปสู่การหดตัว การออกแบบควรที่จะออกแบบให้ gate freeze off ไม่เกิดขึ้นก่อนมากนัก เนื่องจากว่าการย้ำจะเกิดขึ้นได้สั้นหลังจากเกิด gate freeze off

3.3.2 เวลาหล่อเย็น

เวลาหล่อเย็นจะเป็น 2 ใน 3 ของเวลาของวัฏจักรทั้งหมด รูปแบบของการหล่อเย็นจะพัฒนาคุณภาพชิ้นงานโดยการลดความเค้นตกค้างและความถูกต้องของมิติชิ้นงาน โดยเวลาหล่อเย็นขึ้นอยู่กับ

- อุณหภูมิผนังแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุณหภูมิพลาสติกเหลว
- คุณสมบัติวัสดุ
- ความหนาของผนังชิ้นงาน

3.4 การไหลในแม่พิมพ์ฉีด

การไหลในแม่พิมพ์ฉีดเป็นการไหลแบบ Non – isothermal การแข็งตัวจะเกิดขึ้นใกล้กับผนังของแม่พิมพ์ซึ่งเปลี่ยนแปลงกับเวลาดังนั้น หน้าตัดของการไหลก็จะเปลี่ยนแปลงกับเวลา ของไหลหนืดมีความร้อนและผนังแม่พิมพ์จะเกิดการเย็นตัวมีอยู่ 3 ส่วนในการไหล

1.บริเวณใกล้กับตำแหน่ง gate

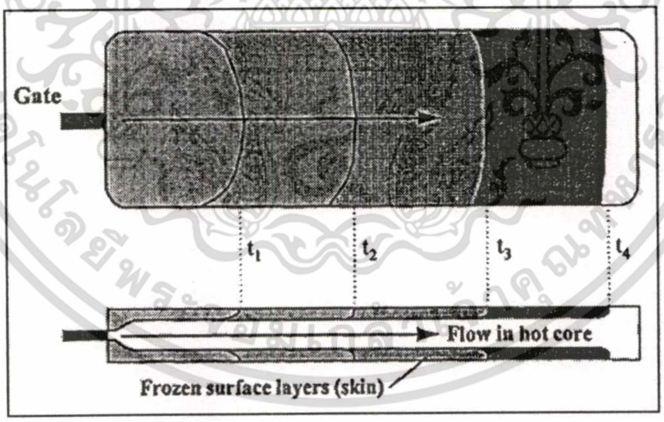
2.ใน cavity : Hele shaw flow

3.Advancing front :fountain flow

ทั้ง 3 ชนิดของการไหลมีผลกระทบกับตำแหน่งของ fiber ในทิศทางที่แตกต่างกัน

- The frozen layer
- Flow with shear

3.4.1 The frozen layer



รูปที่ 3.14 แสดงการไหลและการกิด frozen layer

การไหลในแม่พิมพ์แบบฉีดมีความสลับซับซ้อนเนื่องมาจากพอลิเมอร์แบบเทอร์โมพลาสติกมีการเย็นตัวและแข็งตัวเมื่อมีการไหล ระหว่างการเติมเต็มม่พิมพ์นี้ รูปแบบการไหลไม่ได้เป็นแบบพาราโบลา เนื่องมาจากพอลิเมอร์สัมผัสใกล้กับผิวของแม่พิมพ์ที่เย็นและเกิดการแข็งตัวที่บริเวณเปลือกก่อนที่จะถึงแกนแสดงดังรูป

พฤติกรรมการไหลและเย็นตัวเป็นผลมาจากการเย็นตัวของผิวในโครงสร้างพอลิเมอร์บางๆที่สัมผัสกับผนังที่เย็นจะเย็นตัวอย่างรวดเร็ว (จะเกิดการแข็งตัวภายในไม่กี่นาที) ผิวที่เย็นตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

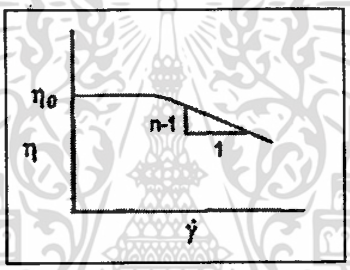
รวดเร็วนี้มีพฤติกรรมแบบ amorphous ในขณะที่กึ่งกลางจะมีการเย็นตัวช้ากว่ามาก จะเกิด crystalline หรือ semi crystalline ตรงกึ่งกลาง พฤติกรรมการเย็นตัวของanisotropic สามารถแสดงปัญหาเมื่อคุณสมบัติของรูปแบบเป็นปตามที่ต้องการ

3.4.2 Flow with shear

ความหนืดของการไหลจะเปลี่ยนแปลงเมื่อของไหลมีการเฉือน ความหนืดของการเฉือนแสดงความสัมพันธ์ได้โดย

$$\eta = \frac{\eta_o(T,p)}{1+\left(\frac{\eta_o\dot{\gamma}}{\tau^*}\right)^{1-n}}$$

η_o เป็นความหนืดที่ไม่มีความเฉือนซึ่งเป็นฟังก์ของ T และ P แสดงดังสมการ strain rate ($\dot{\gamma}$)ขึ้นอยู่กับความหนืด กราฟนี้แสดงค่าความหนืด ความหนืด – ความเครียดซึ่งขึ้นอยู่กับความเฉือนบางๆบนวัสดุ



รูปที่ 3.15 แสดงความหนืดกับ strain rate

3.5 ปัจจัยที่มีผลกับ PVT diagram

การหล่อเย็นที่เร็วทำให้เกิดการหดตัวที่น้อย การหล่อเย็นที่ช้าเกิดเป็นผลึกมากและหดตัวมากความแตกต่างของอัตราการหล่อเย็นทำให้เกิด sink mark

การแปรผันของอัตราการหล่อเย็นเป็นผลมาจาก

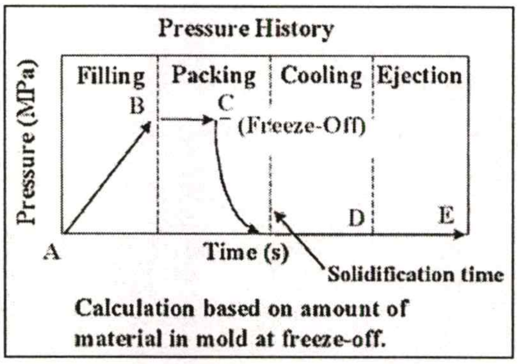
- พื้นที่ความหนาของชิ้นงานที่หนากว่าบริเวณอื่นๆ
- การแปรผันในอุณหภูมิแม่พิมพ์เป็นผลมาจากการออกแบบการหล่อเย็นที่ไม่ดี
- แรงเสียดทานทางความร้อนจำเพาะ

3.6 การใช้ PVT diagram เพื่อประมาณค่าการหดตัว

ลักษณะทางความดันอุดมคติของcavity แม่พิมพ์นี้แสดงดังรูปแบ่งเป็น 4 สภาวะได้แก่ การเติมเต็ม การย้ำ การหล่อเย็นและการปลดชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50966



รูปที่ 3.16 แสดงลักษณะของความดันในแต่ละสภาวะ

จากรูป 5 สภาวะได้แก่

A คือ ไม่มีความดันในพลาสติกเหลวที่อุณหภูมิฉีด

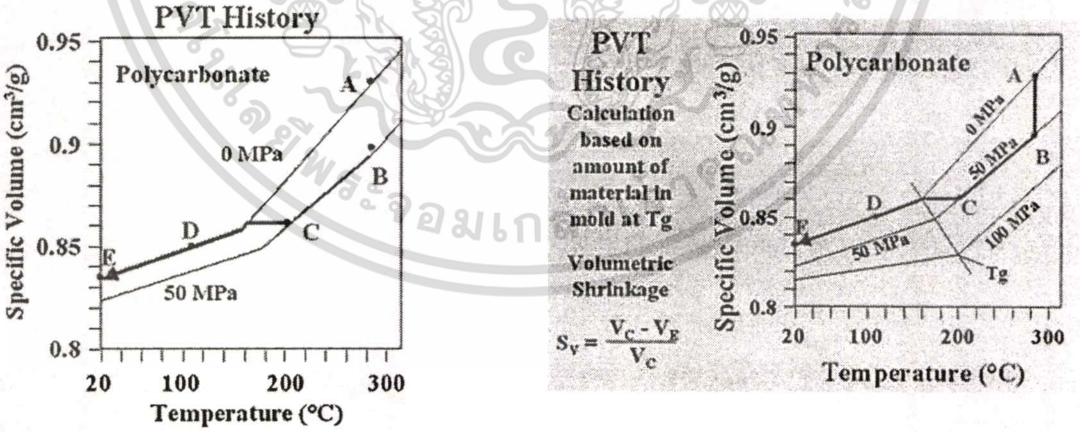
B คือ ความดันพลาสติกเหลวบริเวณด้านหน้าของพลาสติกเหลวจนถึง cavity

C คือ การย้ำพลาสติกเหลวที่เติมที่เวลา gate freeze-off

D คือ พอลิเมอร์เกิดการแข็งตัว

E คือ ชิ้นงานถูกปลดออกจากแม่พิมพ์

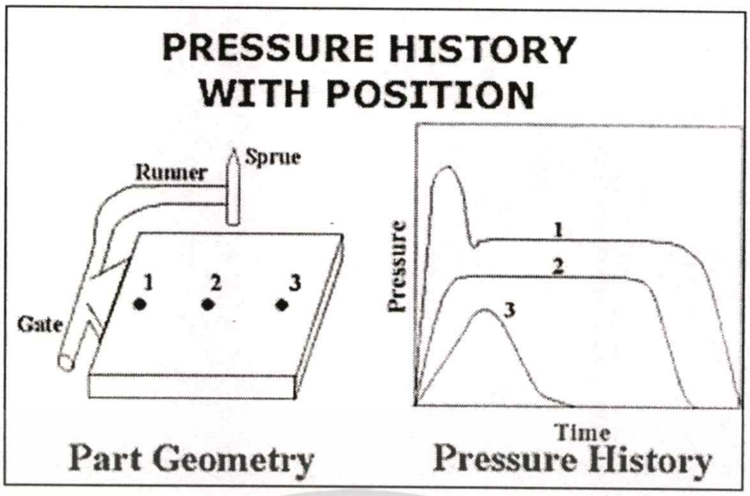
ในทำนองเดียวกันกับสภาวะทั้ง 5 จะถูกทำเครื่องหมายบน PVT diagram จุด C เป็นจุดสิ้นสุดของการย้ำที่ gate freeze-off และจุด E เป็นการปลดชิ้นงาน การหดตัวของปริมาตรเป็นการคำนวณบนพื้นฐานของปริมาตรที่จุดนี้



รูปที่ 3.17 แสดงลักษณะขบวนการของการฉีดแม่พิมพ์บนกราฟปริมาตรจำเพาะกับอุณหภูมิ

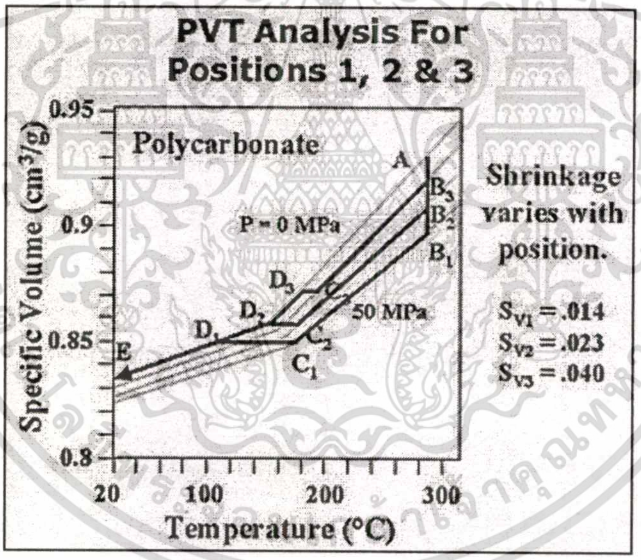
ใน PVT diagram วัสดุจะเคลื่อนตัวจากสภาวะหลอมเหลว (จุด A) และจะเกิดการแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ (จุด E) การหดตัวของปริมาตรเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างปริมาตรแม่พิมพ์และปริมาตรชิ้นงานต่อปริมาตรแม่พิมพ์จาก PVT diagram การหดตัวเชิงปริมาตรหาได้จาก $(V_C-V_E)/V_C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 แสดงลักษณะของความดัน ณ บริเวณต่างๆกัน

ลักษณะความดันภายในชิ้นงานเปลี่ยนแปลงกับระยะทาง ลักษณะของความดันที่แตกต่างกันจะมีผลทำให้เกิดการหดตัวที่แตกต่างกัน ณ ตำแหน่งนี้



รูปที่ 3.19 แสดงค่าการหดตัวเชิงปริมาตรของตำแหน่งที่ 1 2 และ3

โดยสรุปวิธีการวิเคราะห์ PVT จะต้องทราบค่าต่างๆต่อไปนี้ คือ ลักษณะอุณหภูมิ ลักษณะความดัน และ freeze-off และต้องทราบทางที่ลากบน PVT diagram เพื่อหาการหดตัว

โดยมีข้อจำกัดคือ

1.PVT ไม่สามารถหา ฟังก์ชันของเวลา อัตราการหล่อเย็นเป็นส่วนสำคัญทำให้เกิดการหดตัว

2.ความหนาไม่มีผลโดยรวม

ความเค้นตกค้างไม่สามารถหาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

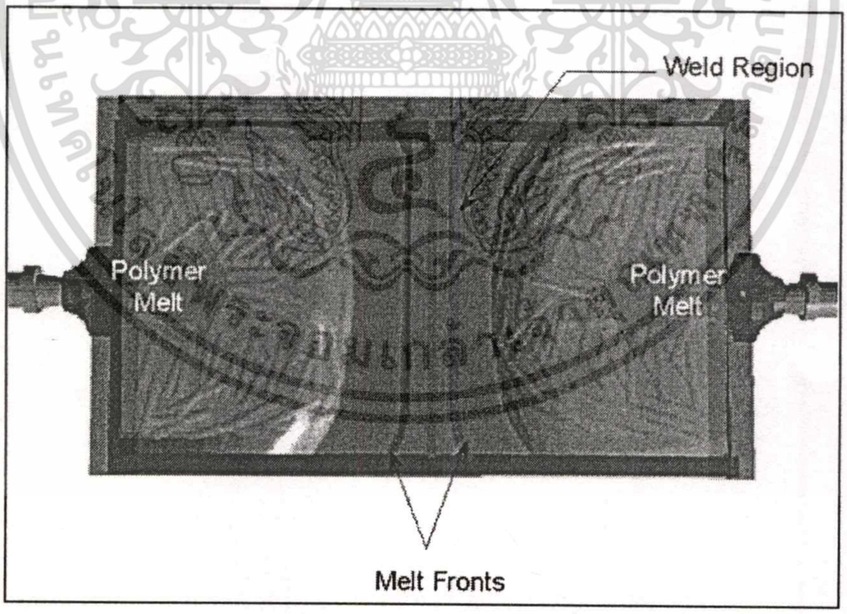
3.7 ปัจจัยที่มีผลกระทบกับการหดตัว

ความดันย้ำบนการหดตัว ในการเพิ่มความดันย้ำนั้นมีผลทำให้การหดตัวลดลงผลกระทบใกล้เคียงกับทั้งแนวระนาบและแนวความหนาของการหดตัว ชิ้นงานที่หนากว่าจะเกิดการหดตัวได้มากกว่าซึ่งกล่าวได้ว่า การหดตัวแนวความหนา เกิดขึ้นได้มากกว่าแนวระนาบ อุณหภูมิหลอมเหลวมีผลไม่มากนักกับการหดตัว อุณหภูมิผนังแม่พิมพ์มีผลกระทบกับการหดตัวเพราะว่าเกี่ยวข้องกับอัตราการหล่อเย็น อุณหภูมิของแม่พิมพ์เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการหล่อเย็นลดลงและเพิ่มอัตราการหดตัว

3.8 Weld lines

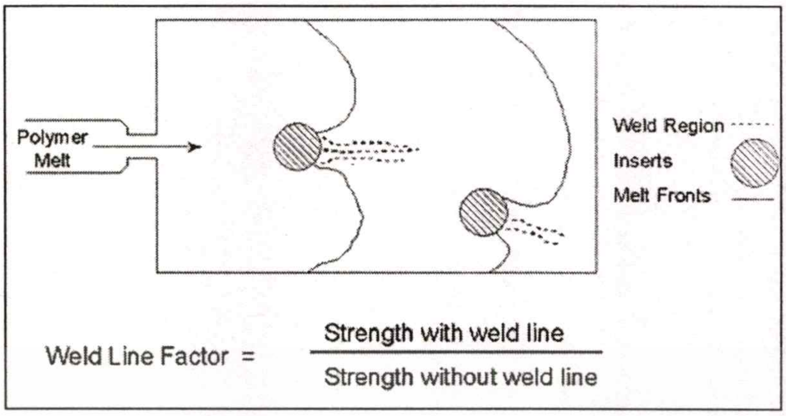
3.8.1 ผลของการเกิด Weld lines

Weld line จะเกิดขึ้นเมื่อน้ำพลาสติกเหลวมาชนกัน น้ำพลาสติกเหลวจะถูกแบ่งที่บริเวณที่มีการขวางของชิ้นงานและจะมารวมกันที่จุดสิ้นสุดของการขวาง ความแข็งแรงของ weld line จะมีความอ่อนเมื่อน้ำพลาสติกเหลวด้านหน้าบางส่วนที่พบกันเกิดการแข็งตัว ตำแหน่งที่รวมกัน จะตั้งฉากกับทิศทางการไหลซึ่งเป็นบริเวณที่มีความอ่อน Weld line สามารถเกิดขึ้นในรูปของการไหลของน้ำพลาสติกเหลวในทิศทางเดียวกันและตรงข้ามกัน

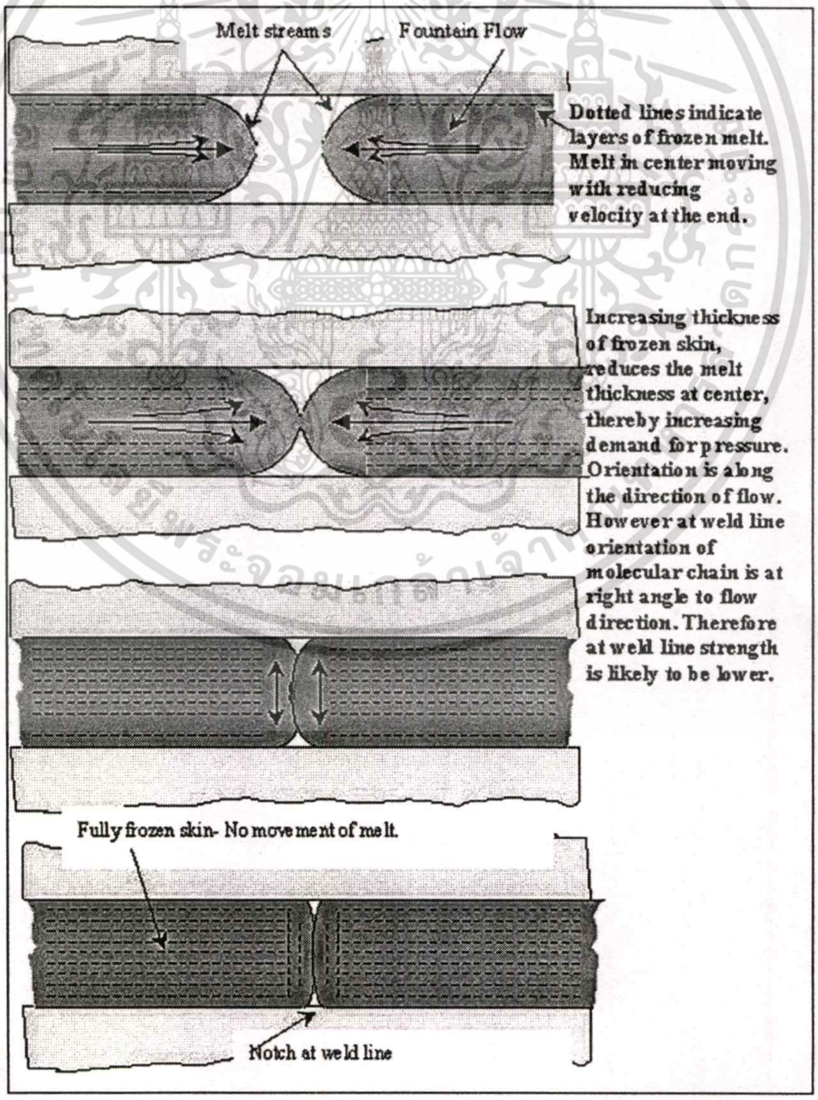


รูปที่ 3.20 แสดงพลาสติกเหลวที่ไหลออกจาก gate สอง gate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 แสดงการแยกและรวมกันอีกครั้งของพลาสติกเหลวที่ไหลโดยมีผลมาจาก insert ขวางกั้นอยู่

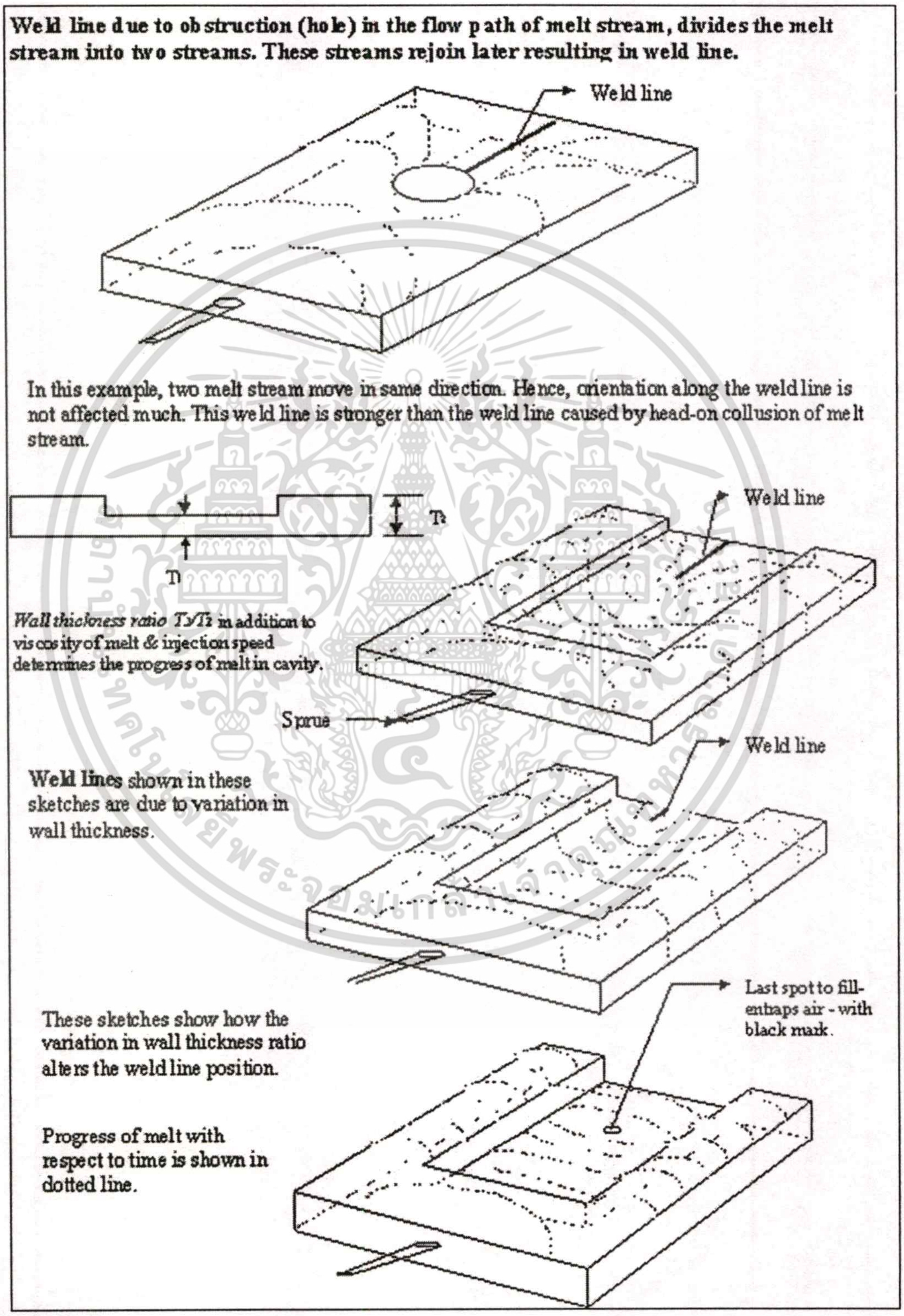


รูปที่ 3.22 แสดงลักษณะการไหลของน้ำพลาสติกเหลวในทิศทางที่ตรงข้ามกัน

เอกสารนี้ได้รับอนุญาตให้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามมิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นประแสดงถึงผิวบางๆของน้ำพลาสติกเหลวที่แข็งตัว น้ำพลาสติกเหลวบริเวณกึ่งกลางที่เคลื่อนไหว จะมีการลดความเร็วที่จุดสุดท้าย

- การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของ Weld line



รูปที่3.23 แสดงลักษณะการเกิด Weld line เนื่องจากความแตกต่างกันของความหนาชิ้นงาน

เอกสาร ... ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Weld line ที่เกิดขึ้นเพราะการขัดขวางกับการไหลของน้ำพลาสติกเหลว การแบ่งน้ำพลาสติกเหลวออกเป็น 2 ส่วน น้ำพลาสติกเหลวจะรวมกันหลังจากนั้นเป็นผลทำให้เกิด Weld line

จากภาพที่แสดงน้ำพลาสติกเหลว 2 ด้านที่เคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นตำแหน่งที่ไกลออกไป การเกิด Weld line จะไม่มีผลมากนัก Weld line ส่วนนี้จะแข็งแรงกว่า Weld line ที่เกิดขึ้นจากการชนกันของน้ำพลาสติกเหลว

3.8.2 วิธีทำให้เกิด Weld line น้อยที่สุด

1. ตำแหน่งของ Weld line จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของ Gate ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ความดันในการฉีดต้องเพียงพอ

2.เตรียมรูอากาศที่ Weld line

3.เพิ่มความหนาของชิ้นงานที่ตำแหน่งที่เกิด Weld line

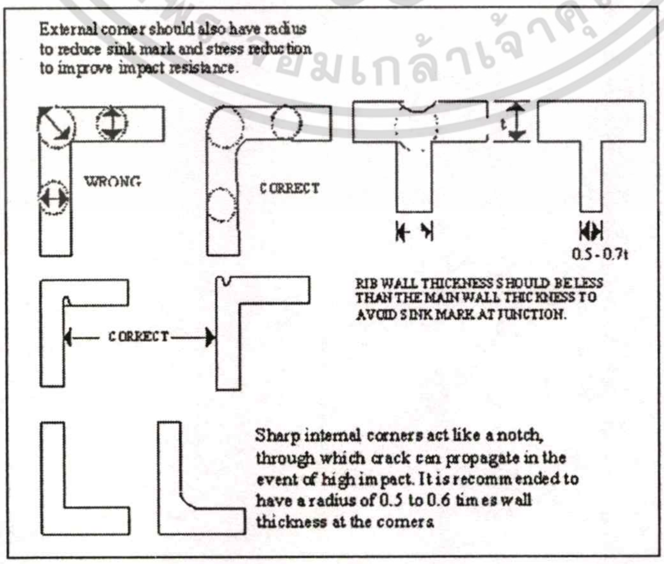
4.เพิ่มอุณหภูมิพลาสติกเหลวและแม่พิมพ์

5.เพิ่มความดันและความเร็วในการฉีด

3.9 Sink mark ในแม่พิมพ์

เมื่อพลาสติกเหลวที่ร้อนไหลไปที่แม่พิมพ์ ส่วนที่หนานี้ไม่มีการเย็นตัวที่ดีของชิ้นงานเนื่องจากวัสดุในส่วนที่หนากว่าทำให้เกิดฉนวนความร้อนและผิวภายนอกจะเย็นตัวเร็วกว่า ภายในของแกนหล่อเย็น มันจะเกิดการหดตัวที่อัตราที่แตกต่างกับอัตราที่ผิวภายนอก ความแตกต่างนี้ในอัตราการหล่อเย็นเป็นผลให้ส่วนที่หนาภายในและทำให้เกิด Sink mark บนผิวภายนอกของชิ้นงาน และทำให้เกิดความเค้นขึ้นภายในชิ้นงาน

ความแปรผันของขนาดความหนาของผนังเป็นผลให้เกิด Sink mark



รูปที่3.24แสดงลักษณะการเกิด sink mark

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่แสดงมุมภายนอกควรที่จะมีรัศมีเพื่อที่จะลด Sink mark และความเค้น ค่าความหนาของผนัง ribs ควรที่จะมีค่าน้อยกว่าความหนาของผนังหลักเพื่อจะกำจัด Sink mark มุมลักษณะภายนอกที่แหลมมีลักษณะคล้ายรอยตัด รัศมีควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 – 0.6 เท่าของความหนาของผนังที่มุม

3.10 ทฤษฎีและสมการที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรม Moldex

สมการที่แสดงด้านล่างเป็นสมการที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรม Moldex ทั้งหมด โดยมีสมการปริมาตรจำเพาะ ค่าความจุความร้อน ค่าการนำความร้อนและความหนืดของพลาสติกเหลวโดยพลาสติกแต่ละชนิดจะเลือกสมการที่ใช้จากสมการที่แสดงดังนี้

Specific Volume

Constant Specific Volume $$V = V_0 \tag{3.1}$$

Spencier Gilmore $$V = V_0 + \frac{RT}{P + P_0} \tag{3.2}$$

Tait Model $$V = V_0\left(1 - C\ln\left(1 + \frac{P}{BT}\right)\right) \tag{3.3}$$

$$V_0 = b_1 \exp(-b_2 T) \tag{3.4}$$

$$BT = b_3 \exp(-b_4 T) \tag{3.5}$$

Modified Tait Model(1) $$V = V_0\left(1 - C\ln\left(1 + \frac{P}{BT}\right)\right)$$

$$V_0 = b_1 + b_2 T_{bar} \tag{3.6}$$

$$BT = b_3 \exp(-b_4 T_{bar}) \tag{3.7}$$

$$T_{bar} = T - T_t \tag{3.8}$$

$$T_t = b_5 + b_6 P \tag{3.9}$$

Modified Tait Model(2) $$V = V_0\left(1 - C\ln\left(1 + \frac{P}{BT}\right)\right) + V_t \tag{3.10}$$

$$T_b = T - b_3 \tag{3.11}$$

$$T_t = b_3 + b_6 P \tag{3.12}$$

$$if\,(T \geq T_t)$$

$$V_0 = b_{1\perp} + b_{2\perp} T_b \tag{3.13}$$

$$BT = b_{3\perp} \exp(-b_{4\perp} T_b) \tag{3.14}$$

$$V_t = 0 \tag{3.15}$$

else

$$V_0 = b_{1s} + b_{2s} T_b \tag{3.16}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$BT = b_{3s} \exp(-b_{4s} T_b) \quad (3.17)$$

$$V_t = b_7 \exp(b_8 T_b - b_9 P) \quad (3.18)$$

Heat Capacity

Constant $$C_P = C_{P0} \quad (3.19)$$

Thermal Conductivity

Constant $$k = k_0 \quad (3.20)$$

Viscosity

Modified Cross Model(1) $$\eta = \frac{\eta_0}{1 + C(\eta_0 \gamma^*)^{1-n}} \quad (3.21)$$

$$\eta_0 = B \exp\left(\frac{T_b}{T} + D \cdot P\right) \quad (3.22)$$

Modified Cross Model(2) $$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\eta_0 \gamma^* / \gamma_5\right)^{1-n}} \quad (3.23)$$

$$\eta_0 = B \exp\left(\frac{T_b}{T} + D \cdot P\right)$$

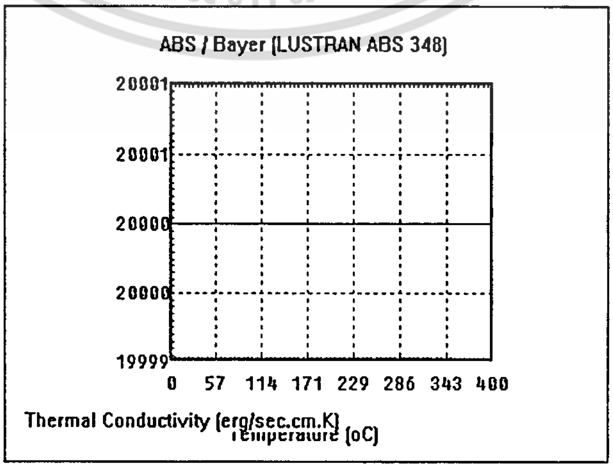
Modified Cross Model(3) $$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\eta_0 \gamma^* / \gamma_5\right)^{1-n}}$$

$$\eta_0 = D_1 \exp\left(\frac{-A_1 (T - T_C)}{A_2 + T - T_C}\right) \quad (3.24)$$

$$T_C = D_2 + D_3 \cdot P \quad (3.25)$$

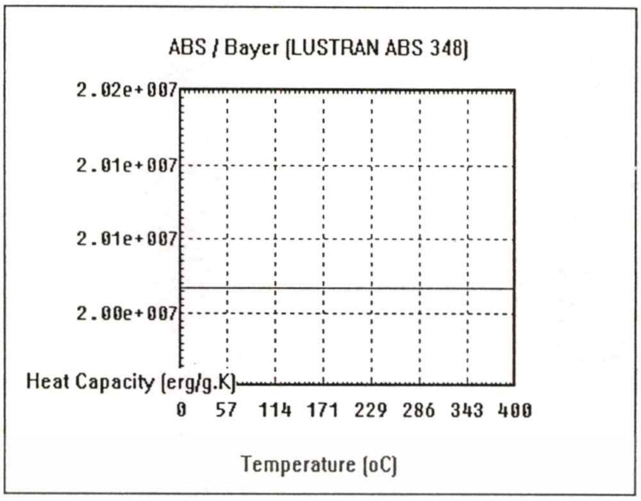
$$A_2 = A_{2b} + D_3 \cdot P \quad (3.26)$$

กราฟที่แสดงด้านล่างทั้งหมดนั้น เป็นกราฟที่แสดงค่าต่างๆของพลาสติกชนิด ABS LUSTRAN 348 โดยค่าที่แสดงมีดังนี้

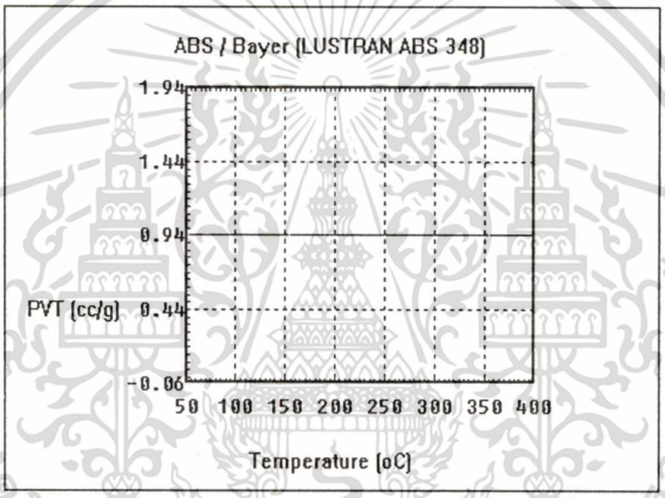


รูปที่ 3.25 กราฟแสดงค่าการนำความร้อนของพลาสติก ABS LUSTRAN 348

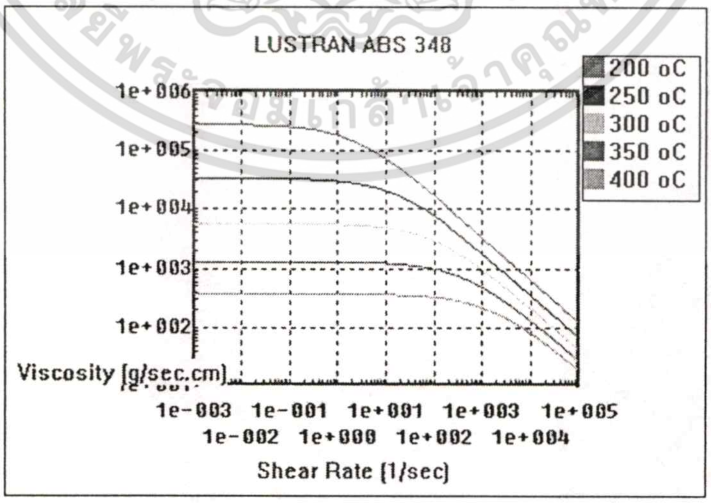
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 กราฟแสดงค่าความจุความร้อนของพลาสติก ABS LUSTRAN 348



รูปที่ 3.27 กราฟแสดงค่าปริมาตรจำเพาะของพลาสติก ABS LUSTRAN 348



รูปที่ 3.28 กราฟแสดงค่าความหนืดในแต่ละอุณหภูมิของพลาสติก ABS LUSTRAN 348

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ใช้ของพลาสติกชนิดต่างๆในโปรแกรม Moldex จะกำหนดและเลือกมาให้ตามสมการที่แสดง (สมการ3.1-3.26) โดยพลาสติกที่ใช้ทดลองคือชนิด ABS LUSTRAN 348และมีสมการ เป็นดังนี้

-Viscosity(Modified Cross Model)

Modified Cross Model(2) $$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\eta_0 \gamma^{\cdot} / \gamma_5\right)^{1-n}}$$

$$\eta_0 = B \exp\left(\frac{T_b}{T} + D \cdot P\right)$$

โดย n=0.273 T_b=1.0553x10^4

Taus = 6.415x10^5 D = 0.000

B=5.7293x10^{-5}

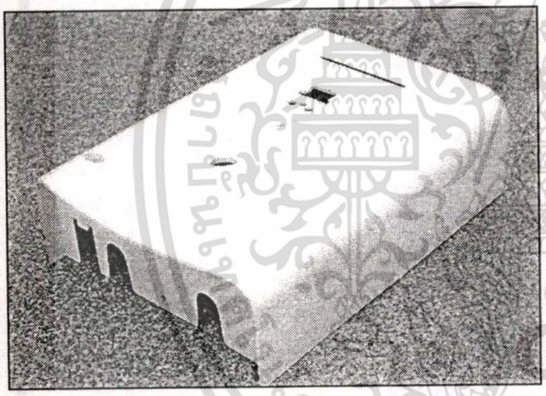
Specific Volume ให้เป็นค่าคงที่มีค่าเท่ากับ V_0 = 0.94 cc/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

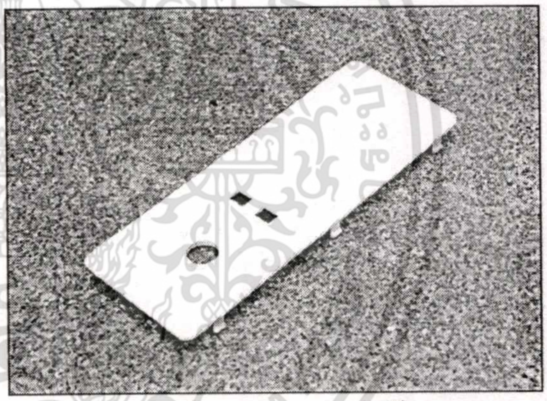
บทที่ 4
วิธีการทดลอง

4.1 ขั้นตอนการทดลอง

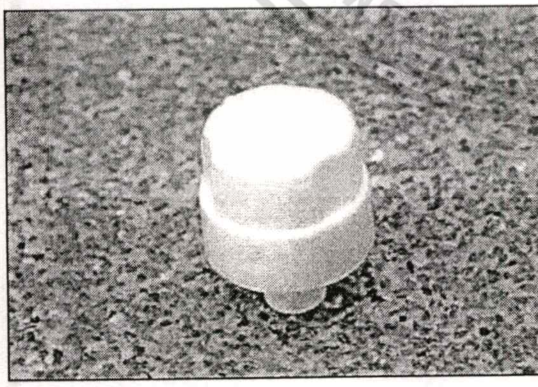
บทความนี้ได้นำเสนอ การประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Moldex) ในการจำลองการไหล และการกระจายตัวของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์พลาสติกแบบฉีด โดยศึกษาถึง parameter และปัญหาที่ทำให้เกิด Weld line (รอยประสาน) และ Sink mark (รอยยุบ) โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาได้แก่ อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ ความดันฉีด ความดันย้ำ อุณหภูมิของการหล่อเย็น เวลาของการหล่อเย็นและเวลาของการฉีดย้ำ ซึ่งชิ้นงานที่ทำการศึกษามีทั้งหมด 4 ชิ้น โดยมีรูปร่างที่แตกต่างกัน แต่มีปัญหาที่เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันคือเกิด Weld line และ Sink mark ชิ้นงานทั้ง 4 ชิ้นแสดงดังรูปด้านล่าง



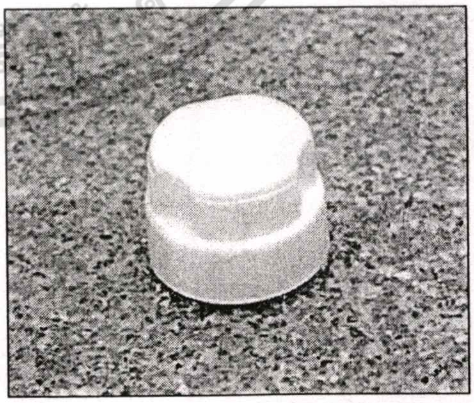
รูปที่ 4.1 แสดงชิ้นงานจริงให้เป็นชิ้นงานที่1



รูปที่ 4.2 แสดงชิ้นงานจริงให้เป็นชิ้นงานที่ 2

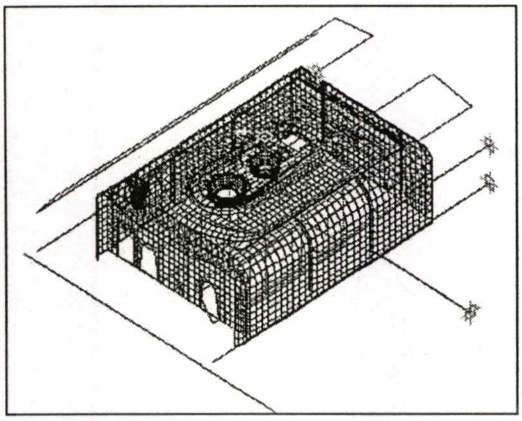


รูปที่ 4.3 แสดงชิ้นงานจริงให้เป็นชิ้นงานที่ 3

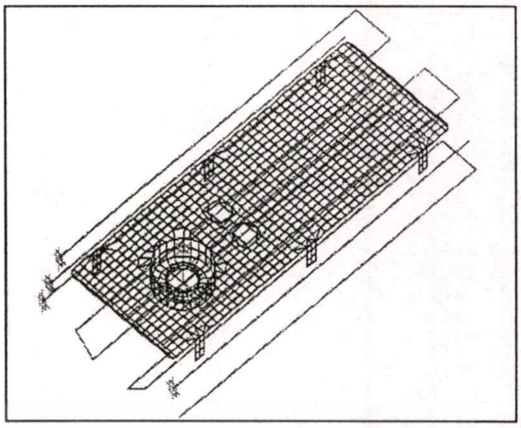


รูปที่ 4.4 แสดงชิ้นงานจริงให้เป็นชิ้นงานที่ 4

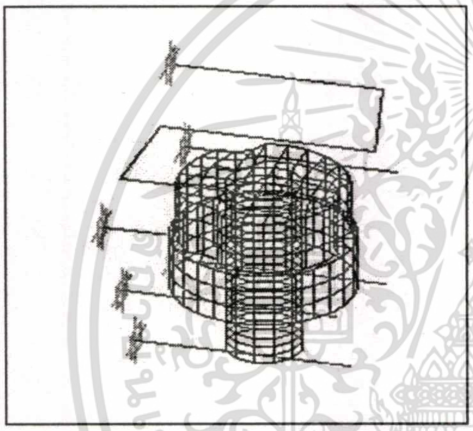
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



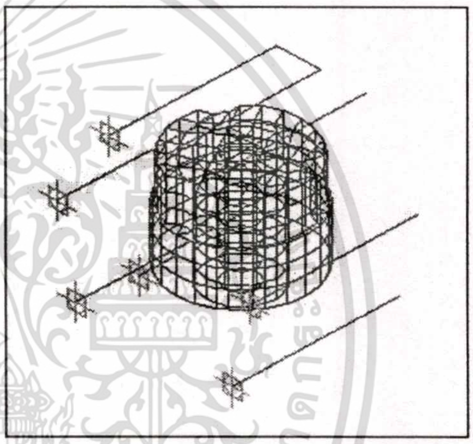
รูปที่ 4.5 แสดงชิ้นงานขึ้นรูปด้วย Surface ใน โปรแกรม Autocad ให้เป็นชิ้นงานที่1



รูปที่ 4.6 แสดงชิ้นงานขึ้นรูปด้วย Surface ใน โปรแกรม Autocad ให้เป็นชิ้นงานที่ 2



รูปที่ 4.7 แสดงชิ้นงานขึ้นรูปด้วย Surface ใน โปรแกรม Autocad ให้เป็นชิ้นงานที่3



รูปที่ 4.8 แสดงชิ้นงานขึ้นรูปด้วย Surface ใน โปรแกรม Autocadให้เป็นชิ้นงานที่ 4

จากรูปที่ 4.5, 4.6, 4.7และ4.8 ได้แสดงถึง model 3-D surface ที่ขึ้นรูปโดยโปรแกรม Autocad ซึ่งในการขึ้นรูปเราจะใช้คำสั่งของการขึ้นรูป surfaceใน Autocad เท่านั้น คือ Edgesurf และ 3D Face ซึ่งการขึ้นรูป surface เราจะต้องสร้างโครงลวดขึ้นมาเสียก่อน (wireframe) โดยเราจะเขียนโครงของชิ้นงานและใช้คำสั่งของ surface ช่วยโดยสามารถกำหนดความละเอียดของ Surface ได้โดยใช้คำสั่ง surftab1 และ surftab2 หลังจากขึ้นรูป surface เสร็จแล้วจึงสร้างท่อหล่อเย็น ทางเข้าของน้ำหล่อเย็น gate cavity โดยกำหนดเป็น layer แสดงตัวอย่างดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดง Layer Control ใน Autocad

Type	Element Type	Definition for layer name	Color
POINT	Entrance Melt	EM$	Green
	Entrance Gas	EG$	Green
	Entrance coolant	EC$	Green
LINE	Runner Cold	RC$1000X RC$1000X	Red
	Runner Hot	RH$1000X RH$1000X	Red
	Channel Melt	CM$1000X CM$1000X	Red
	Channel Gas	CG$1000X CG$1000X	Red
	Channel Coolant	CC$1000X	Red
3D FACE	Face Cavity	FC$3000X FC$3000X	Not Define
	Face Base	FB$	Not Define

โดยชิ้นงานในแต่ละชิ้นจะต้องกำหนดค่า Layer ต่างๆของชิ้นงานนั้น เมื่อกำหนดขนาดท่อต่างๆใน Autocad เรียบร้อยแล้วให้ save เป็นนามสกุล .dxf เพื่อจะทำการ import file ไปยังโปรแกรม moldex และทำการวิเคราะห์ต่อไป

เนื่องจากเราต้องการจะศึกษาว่าพารามิเตอร์ใดมีผลกับปัญหาใดอย่างไร จึงได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์เหล่านี้ โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ต่างๆเป็นค่าที่กำหนดและเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษาในแต่ละส่วน โดยมีทั้งหมด 5 ค่าที่แตกต่างกันในแต่ละพารามิเตอร์ที่ศึกษา ค่าที่ยังไม่ได้ศึกษาจะเป็นค่าที่กำหนด โดยตารางที่ทำการศึกษาเป็นดังแสดง และตารางของชิ้นงานอื่นๆเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำการฉีดจริงแล้วเกิดปัญหาของชิ้นงานที่1

พารามิเตอร์ที่ศึกษา	ค่ากำหนด
อุณหภูมิพลาสติกเหลว T_t	260 °C
อุณหภูมิแม่พิมพ์ T_m	60 °C
ความดันในการฉีด(Filling) P_f	200 MPa
ความดันย้ำ(Packing) P_p	120 MPa
อุณหภูมิหล่อเย็น T_c	28 °C
เวลาในการหล่อเย็น t_c	40 Sec
เวลาในการฉีดย้ำ t_h	8 Sec

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่แปรผันเพื่อทำการศึกษาของชิ้นงานที่1

ค่าที่ศึกษา	T_t	T_m	P_f	P_p	T_c	t_c	t_h
T_t	255 - 275	260	260	260	260	260	260
T_m	60	55-75	60	60	60	60	60
P_f	200	200	190 - 230	200	200	200	200
P_p	120	120	120	110 - 150	120	120	120
T_c	28	28	28	28	24-32	28	28
t_c	40	40	40	40	40	10-50	40
t_h	8	8	8	8	8	8	6-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำการฉีดจริงแล้วเกิดปัญหาของชิ้นงานที่2

พารามิเตอร์ที่ศึกษา	ค่ากำหนด
อุณหภูมิพลาสติกเหลว T_t	260 °C
อุณหภูมิแม่พิมพ์ T_m	60 °C
ความดันในการฉีด(Filling) P_f	120 MPa
ความดันย้ำ(Packing) P_p	90 MPa
อุณหภูมิหล่อเย็น T_c	28 °C
เวลาในการหล่อเย็น t_c	20 Sec
เวลาในการฉีดย้ำ t_h	8 Sec

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่แปรผันเพื่อทำการศึกษาของชิ้นงานที่2

ค่าที่ศึกษา	T_t	T_m	P_f	P_p	T_c	t_c	t_h
T_t	255 - 275	260	260	260	260	260	260
T_m	60	55-75	60	60	60	60	60
P_f	120	120	100 - 140	120	120	120	120
P_p	90	90	90	70 - 110	90	90	90
T_c	28	28	28	28	24-32	28	28
t_c	20	20	20	20	20	10-30	20
t_h	8	8	8	8	8	8	6-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำการฉีดจริงแล้วเกิดปัญหาของชิ้นงานที่3

พารามิเตอร์ที่ศึกษา	ค่ากำหนด
อุณหภูมิพลาสติกเหลว T_t	260 °C
อุณหภูมิแม่พิมพ์ T_m	60 °C
ความดันในการฉีด(Filling) P_f	80 MPa
ความดันย้ำ(Packing) P_p	50 MPa
อุณหภูมิหล่อเย็น T_c	28 °C
เวลาในการหล่อเย็น t_c	20 Sec
เวลาในการฉีดย้ำ t_h	8 Sec

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่แปรผันเพื่อทำการศึกษาของชิ้นงานที่3

ค่าที่ศึกษา	T_t	T_m	P_f	P_p	T_c	t_c	t_h
T_t	255 - 275	260	260	260	260	260	260
T_m	60	55-75	60	60	60	60	60
P_f	80	80	60 - 100	80	80	80	80
P_p	50	50	50	30 -70	50	50	50
T_c	28	28	28	28	24-32	28	28
t_c	20	20	20	20	20	10-30	20
t_h	8	8	8	8	8	8	6-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำการฉีดจริงแล้วเกิดปัญหาของชิ้นงานที่4

พารามิเตอร์ที่ศึกษา	ค่ากำหนด
อุณหภูมิพลาสติกเหลว T_t	260 $^{\circ}$C
อุณหภูมิแม่พิมพ์ T_m	60 $^{\circ}$C
ความดันในการฉีด(Filling) P_f	90 MPa
ความดันย้ำ(Packing) P_p	60 MPa
อุณหภูมิหล่อเย็น T_c	28 $^{\circ}$C
เวลาในการหล่อเย็น t_c	20 Sec
เวลาในการฉีดย้ำ t_h	8 Sec

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่แปรผันเพื่อทำการศึกษาของชิ้นงานที่4

ค่าที่ศึกษา	T_t	T_m	P_f	P_p	T_c	t_c	t_h
T_t	255 - 275	260	260	260	260	260	260
T_m	60	55-75	60	60	60	60	60
P_f	90	90	70 - 110	90	90	90	90
P_p	60	60	60	40 -80	60	60	60
T_c	28	28	28	28	24-32	28	28
t_c	20	20	20	20	20	10-30	20
t_h	8	8	8	8	8	8	6-14

4.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

พารามิเตอร์ที่สนใจในงานวิจัยฉบับนี้ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลกับการเกิด Weld line และ Sink mark ได้แก่ อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ ความดันฉีด ความดันย้ำ อุณหภูมิของการหล่อเย็น เวลาของการหล่อเย็นและเวลาของการฉีดย้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 อุณหภูมิพลาสติกเหลว

อุณหภูมิพลาสติกเหลว เป็นอุณหภูมิของพลาสติกเหลวที่ออกมาจากหัวฉีดขณะทำการฉีด อุณหภูมิของพลาสติกเหลวที่ใช้ในการฉีดนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้พลาสติกชนิดABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene)ซึ่งมีอุณหภูมิพลาสติกเหลวที่แนะนำอยู่ในช่วง 200 – 270 ^{o}C

4.2.2 อุณหภูมิแม่พิมพ์

เราสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของน้ำหรือน้ำมันที่ไหลเข้าหมุนเวียนในแม่พิมพ์ ซึ่งอุณหภูมิการปรับตั้งก็ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้พลาสติกชนิด ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene) ในการทดลอง ซึ่งอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่แนะนำอยู่ในช่วง 50- 90 ^{o}C

4.2.3 ความดันฉีด

ความดันฉีดเป็นความดันที่ใช้ดันพลาสติกเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ ซึ่งความดันที่ใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะและขนาดของชิ้นงาน

4.2.4 ความดันย้ำ

ความดันย้ำเป็นความดันที่ฉีดเข้าแม่พิมพ์หลังจากการฉีดพลาสติกเต็มแม่พิมพ์ในขั้นตอนการ Filling ซึ่งการฉีดความดันย้ำเพื่อที่จะป้องกันชิ้นงานเกิดการหดตัวและทำให้น้ำพลาสติกเหลวไหลเต็มแม่พิมพ์อย่างสมบูรณ์

4.2.5 อุณหภูมิของการหล่อเย็น

หลังจากขั้นตอนการฉีดย้ำแล้ว ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการหล่อเย็นเพื่อให้ชิ้นงานเย็นตัว โดยสารหล่อเย็นของงานวิจัยนี้จะใช้น้ำเป็นสารหล่อเย็น ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ที่ 28^{o}C ในการกำหนดอุณหภูมิของสารหล่อเย็นนั้นจะมีผลกับการเกิด Sink mark ในแม่พิมพ์

4.2.6 เวลาของการหล่อเย็น

ในขั้นตอนการหล่อเย็นนั้น นอกจากต้องคำนึงถึงอุณหภูมิของการหล่อเย็นแล้วยังต้องคำนึงถึงระยะเวลาการหล่อเย็นด้วย ซึ่งถ้าเวลาในการหล่อเย็นพอเหมาะก็จะได้ชิ้นงานที่ดีและวัฏจักรของการขึ้นรูปชิ้นงานก็จะน้อยด้วย

4.2.7 เวลาในการฉีดย้ำ

ในขั้นตอนการฉีดย้ำชิ้นงานนั้น แม้ว่าเราจะกำหนดความดันการฉีดย้ำได้เหมาะสมแต่ถ้าเวลาที่ใช้ในการฉีดย้ำไม่เหมาะสมชิ้นงานก็อาจจะไม่สมบูรณ์ได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 Validate Model

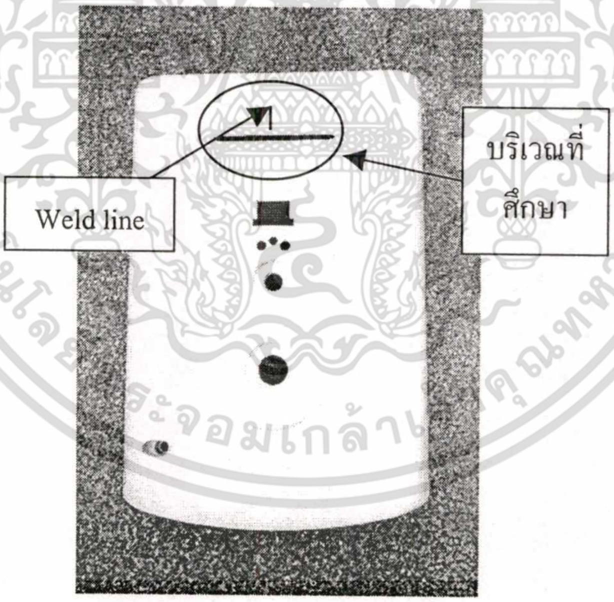
ก่อนที่จะทำการทดลองและศึกษาถึงปัญหาการเกิด Weld line และ Sink mark ในชิ้นงานต่างๆ จะทำการ Validate model ของชิ้นงานต่างๆเพื่อจะตรวจสอบถึงความถูกต้องของโปรแกรม moldex โดยปัญหาของการเกิด Weld line จะดูว่าตำแหน่งและความยาวที่เกิด Weld line ในโปรแกรมว่าตรงกับชิ้นงานจริงหรือไม่ ส่วนปัญหาการเกิด Sink mark จะดูตำแหน่งและระยะการเกิด Sink mark ในโปรแกรมว่าตรงกับชิ้นงานจริงหรือไม่

4.3.1 ชิ้นงานที่1

ในชิ้นงานที่ 1 จะเกิดปัญหา Weld line และ Sink mark ดังนั้นการ Validate model จะต้อง Validate model ทั้ง 2 ส่วน

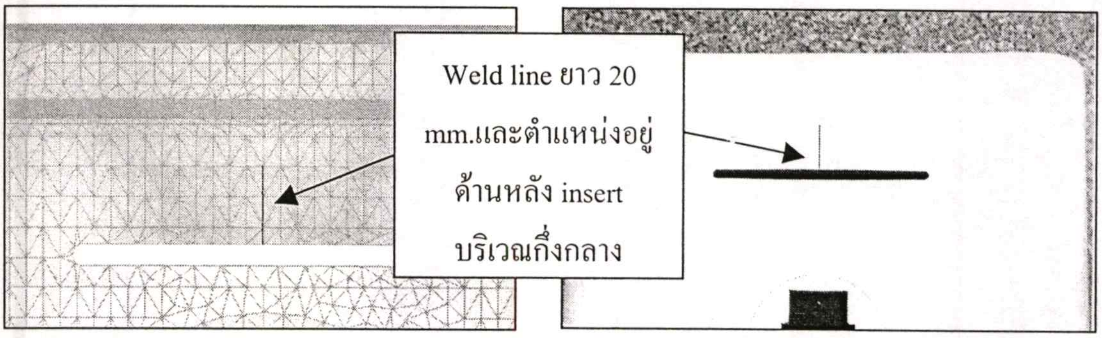
4.3.1.1 Weld line

พารามิเตอร์ที่เราใช้ในการ Validate model จะใช้ค่าที่กำหนดของชิ้นงานที่ 1 โดยดูได้จากตารางที่ 4.2 ซึ่งเมื่อทำการ Validate model จะได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.9 แสดงตำแหน่งด้านบนของชิ้นงานที่ 1 และตำแหน่งที่เกิด Weld line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.10 แสดงตำแหน่งและความยาวของWeld lineของ model ในชิ้นงานที่ 1

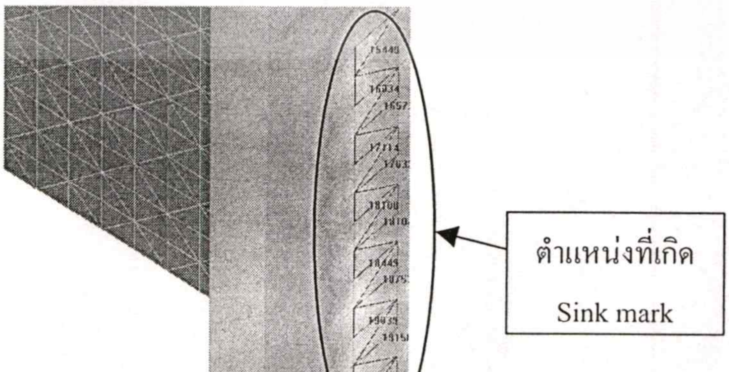
รูปที่4.11 แสดงตำแหน่งและความยาวของWeld line ของชิ้นงานจริงในชิ้นงานที่1

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 เมื่อดูตำแหน่งและความยาวของ Weld line พบว่าตำแหน่งและความยาวของ Weld line ของ model และชิ้นงานจริงตรงกัน

4.3.1.2 Sink mark

พารามิเตอร์ที่เราใช้ในการ Validate model จะใช้ค่าที่กำหนดของชิ้นงานที่ 1 โดยดูได้จากตารางที่ 4.2 ซึ่งเมื่อทำการ Validate model จะได้ผลดังนี้

รูปที่ 4.12 แสดงตำแหน่งที่เกิด Sink mark



รูปที่4.13 แสดงตำแหน่งที่เกิด Sink mark ใน model

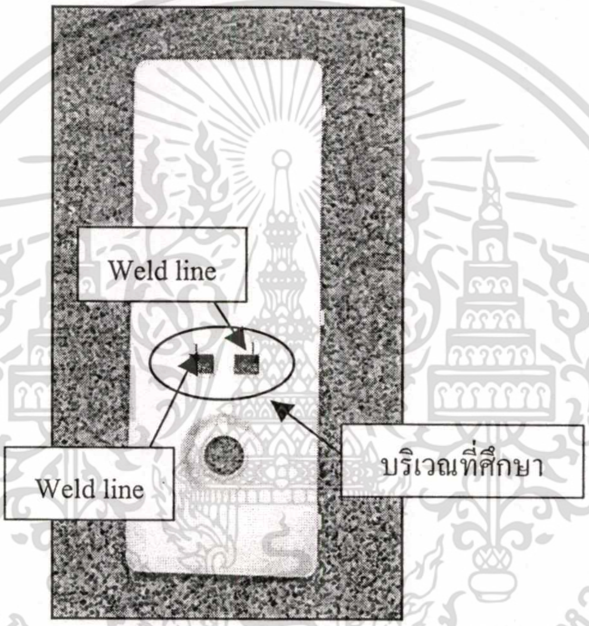
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 และ 4.13 เมื่อดูตำแหน่งและระยะของSink mark พบว่าตำแหน่งและระยะของ Sink mark ของ model และชิ้นงานจริงตรงกัน(โดยระยะการเกิด Sink mark ใน modelและชิ้นงานจริงมีค่าเท่ากับ0.022mm.)

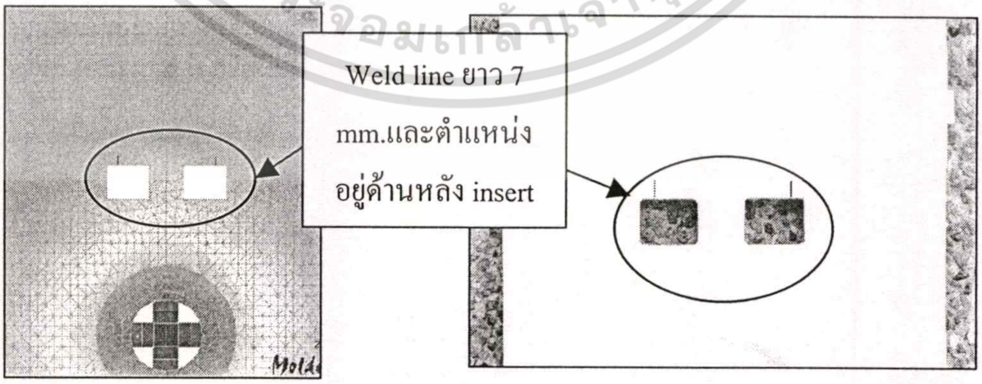
4.3.2 ชิ้นงานที่2

ในชิ้นงานที่ 2 จะเกิดปัญหา Weld line เท่านั้นดังนั้นการ Validate model จะดูเฉพาะส่วนที่เป็น Weld line เท่านั้น

พารามิเตอร์ที่เราใช้ในการ Validate model จะใช้ค่าที่กำหนดของชิ้นงานที่ 2 โดยดูได้จากตารางที่ 4.4 ซึ่งเมื่อทำการ Validate model จะได้ผลดังนี้



รูปที่4.14 แสดงตำแหน่งด้านบนของชิ้นงานที่ 2 และตำแหน่งที่เกิด Weld line



รูปที่4.15 แสดงตำแหน่งและความยาวของWeld lineของ model ในชิ้นงานที่ 2

รูปที่4.16 แสดงตำแหน่งและความยาวของWeld line ของชิ้นงานจริงในชิ้นงานที่2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 เมื่อดูตำแหน่งและความยาวของ Weld line พบว่าตำแหน่งและความยาวของ Weld line ของ model และชิ้นงานจริงตรงกัน

4.3.3 ชิ้นงานที่3

ในชิ้นงานที่ 3 จะเกิดปัญหา Weld line และ Sink mark ดังนั้นการ Validate model จะต้อง Validate model ทั้ง 2 ส่วน

4.3.3.1 Weld line

พารามิเตอร์ที่เราใช้ในการ Validate model จะใช้ค่าที่กำหนดของชิ้นงานที่ 3 โดยดูได้จากตารางที่ 4.6 ซึ่งเมื่อทำการ Validate model จะได้ผลดังนี้

รูปที่4.17 แสดงตำแหน่งและความยาวของWeld lineของ model ในชิ้นงานที่ 3

รูปที่4.18 แสดงตำแหน่งและความยาวของWeld line ของชิ้นงานจริงในชิ้นงานที่ 3

จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 เมื่อดูตำแหน่งและความยาวของ Weld line พบว่าตำแหน่งและความยาวของ Weld line ของ model และชิ้นงานจริงตรงกัน

4.3.3.2Sink mark

พารามิเตอร์ที่เราใช้ในการ Validate model จะใช้ค่าที่กำหนดของชิ้นงานที่ 3 โดยดูได้จากตารางที่ 4.6 ซึ่งเมื่อทำการ Validate model จะได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่4.19 แสดงตำแหน่งที่เกิด Sink mark ใน model

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.19 เมื่อดูตำแหน่งและระยะของSink mark พบว่าตำแหน่งและระยะของ Sink mark ของ model และชิ้นงานจริงตรงกัน(โดยระยะการเกิด Sink mark ใน modelและชิ้นงานจริงมีค่าเท่ากับ0.011mm.)

4.3.4 ชิ้นงานที่4

ในชิ้นงานที่ 4 จะเกิดปัญหา Weld line และ Sink mark ดังนั้นการ Validate model จะต้อง Validate model ทั้ง 2 ส่วน

4.3.4.1 Weld line

พารามิเตอร์ที่เราใช้ในการ Validate model จะใช้ค่าที่กำหนดของชิ้นงานที่ 3 โดยดูได้จากตารางที่ 4.8 ซึ่งเมื่อทำการ Validate model จะได้ผลดังนี้

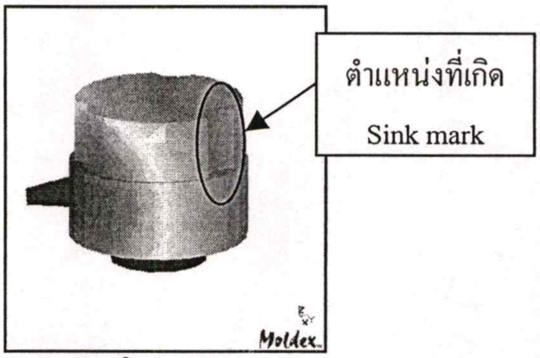
รูปที่4.20 แสดงตำแหน่งและความยาวของWeld lineของ model ในชิ้นงานที่ 4

รูปที่4.21 แสดงตำแหน่งและความยาวของWeld line ของชิ้นงานจริงในชิ้นงานที่ 4

จากรูปที่ 4.20 และ 4.21 เมื่อดูตำแหน่งและความยาวของ Weld line พบว่าตำแหน่งและความยาวของ Weld line ของ model และชิ้นงานจริงตรงกัน

4.3.4.2Sink mark

พารามิเตอร์ที่เราใช้ในการ Validate model จะใช้ค่าที่กำหนดของชิ้นงานที่ 4 โดยดูได้จากตารางที่ 4.8 ซึ่งเมื่อทำการ Validate model จะได้ผลดังนี้



รูปที่4.22 แสดงตำแหน่งที่เกิด Sink mark ใน model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

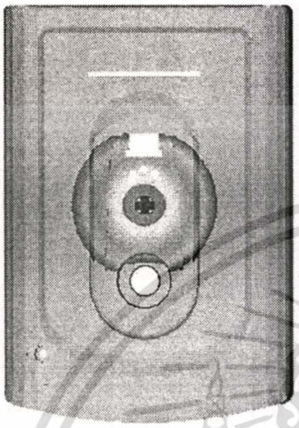
จากรูปที่ 4.22 เมื่อดูตำแหน่งและระยะของSink mark พบว่าตำแหน่งและระยะของ Sink mark ของ model และชิ้นงานจริงตรงกัน(โดยระยะการเกิด Sink mark ใน modelและชิ้นงานจริงมีค่าเท่ากับ0.010mm.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

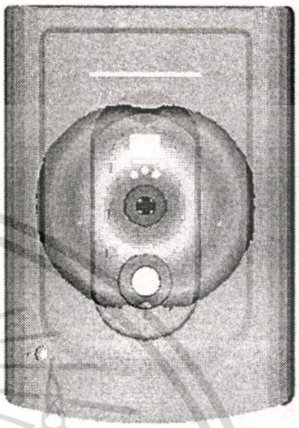
บทที่ 5

ผลการทดลอง

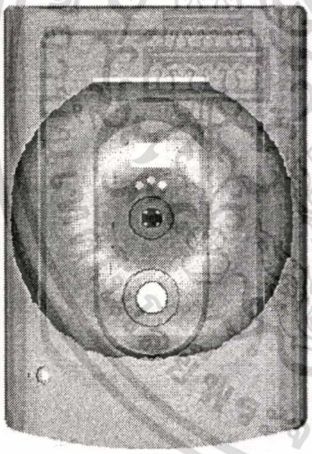
5.1 ขบวนการฉีดพลาสติกหน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่นด้วย Program Moldex(ชิ้นงานที่1)



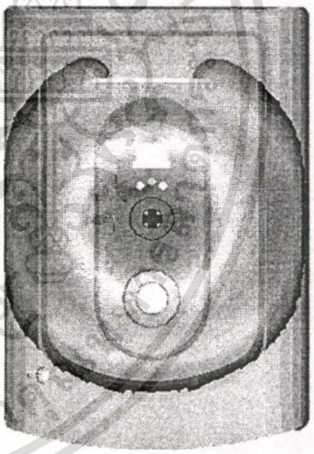
รูปที่ 5.1 Melt front ที่เวลา 0.5 วินาที



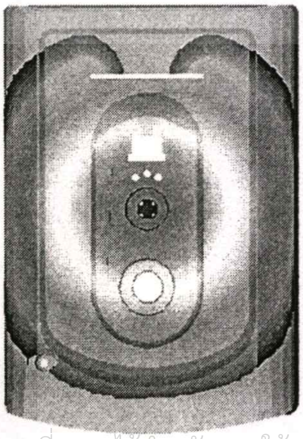
รูปที่ 5.2 Melt front ที่เวลา 1 วินาที



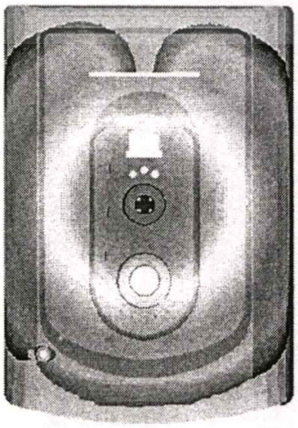
รูปที่ 5.3 Melt front ที่เวลา 1.5 วินาที



รูปที่ 5.4 Melt front ที่เวลา 2.0 วินาที

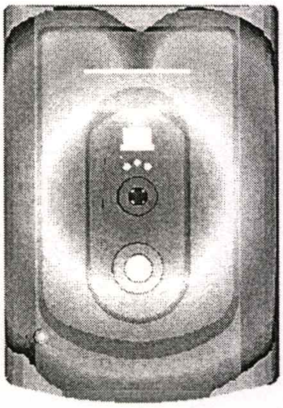


รูปที่ 5.5 Melt front ที่เวลา 2.5 วินาที

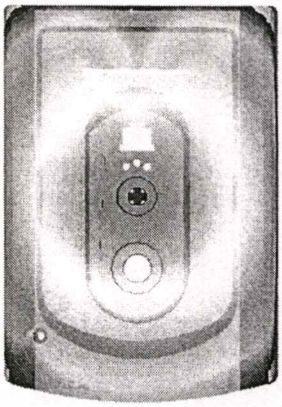


รูปที่ 5.6 Melt front ที่เวลา 3.0 วินาที

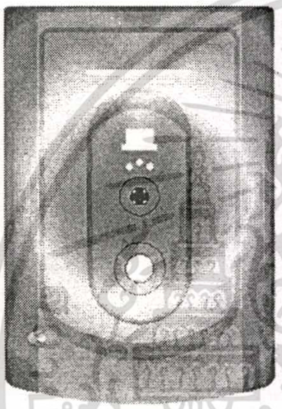
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



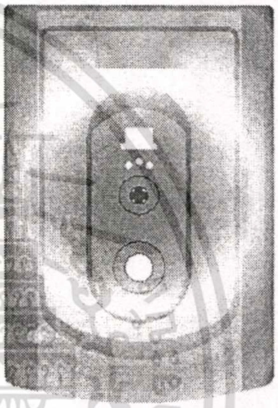
รูปที่ 5.7 Melt front ที่เวลา 3.5 วินาที



รูปที่ 5.8 Melt front ที่เวลา 4.0 วินาที

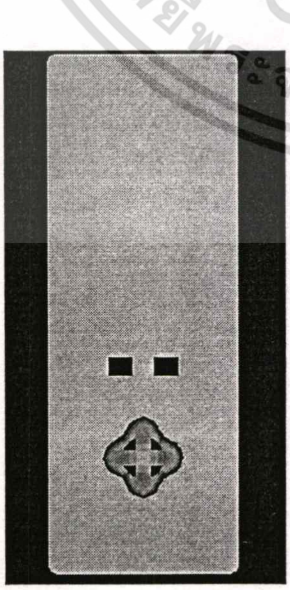


รูปที่ 5.9 Melt front ที่เวลา 4.5 วินาที

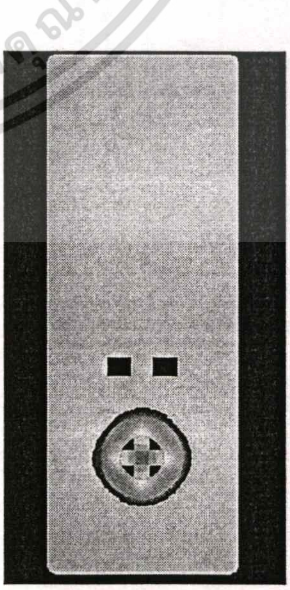


รูปที่ 5.10 Melt front ที่เวลา 5.0 วินาที

5.2 ขบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนหน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่นด้วย Program Moldex(ชิ้นงานที่2)

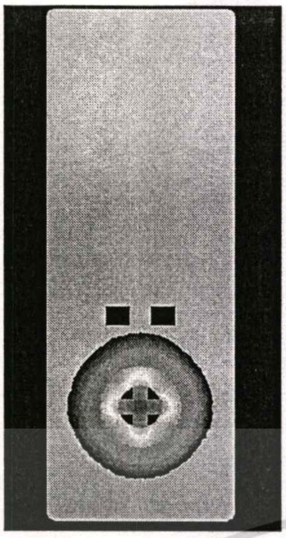


รูปที่ 5.11 Melt front ที่เวลา 0.3 วินาที

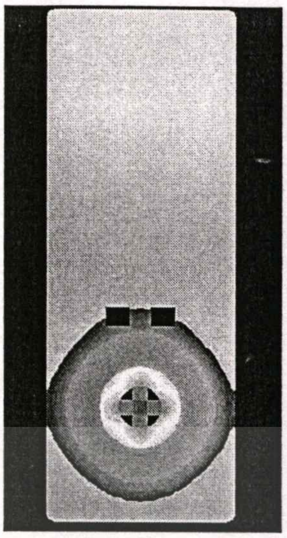


รูปที่ 5.12 Melt front ที่เวลา 0.6 วินาที

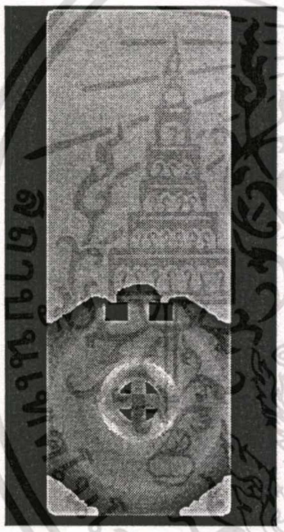
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



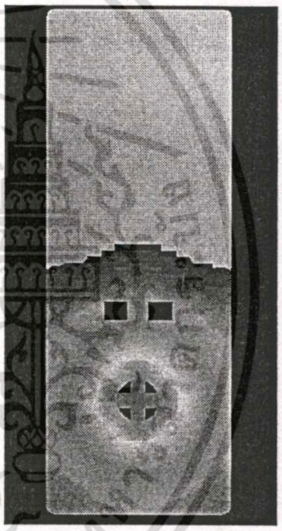
รูปที่ 5.13 Melt front ที่เวลา 0.9 วินาที



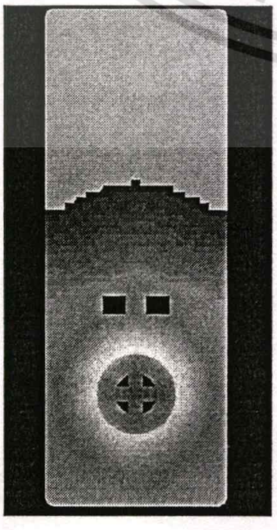
รูปที่ 5.14 Melt front ที่เวลา 1.2วินาที



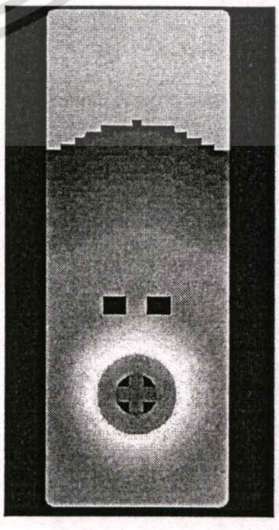
รูปที่ 5.15 Melt front ที่เวลา 1.5 วินาที



รูปที่ 5.16 Melt front ที่เวลา 1.8 วินาที

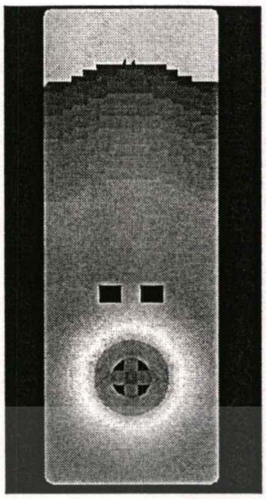


รูปที่ 5.17 Melt front ที่เวลา 2.1 วินาที

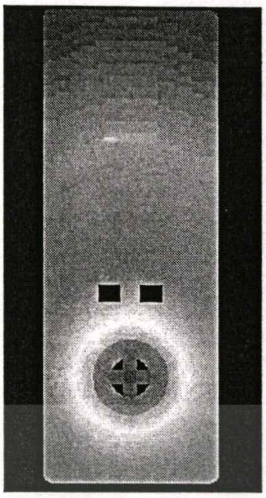


รูปที่ 5.18 Melt front ที่เวลา 2.4 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ใช้ได้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

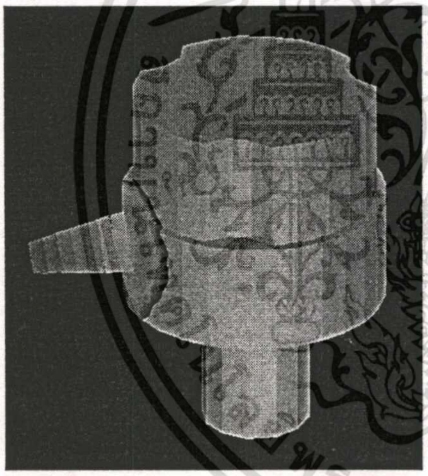


รูปที่ 5.19 Melt front ที่เวลา 2.7 วินาที

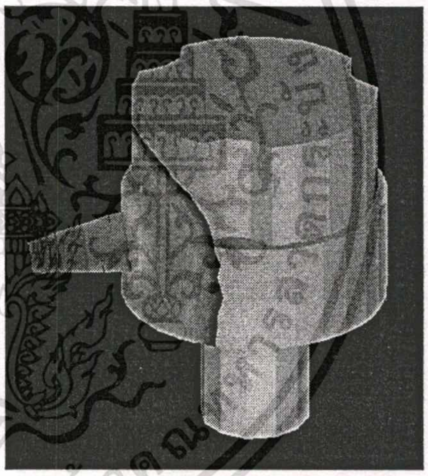


รูปที่ 5.20 Melt front ที่เวลา 3.0 วินาที

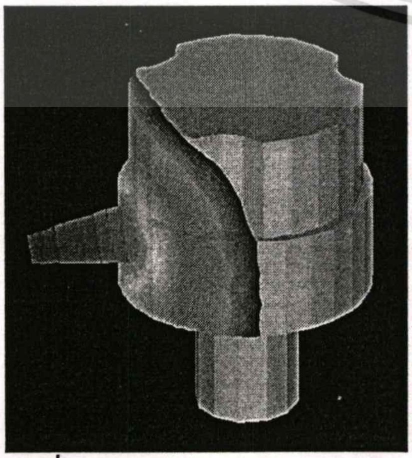
5.3 ขบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนหน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่นด้วย Program Moldex(ชิ้นงานที่3)



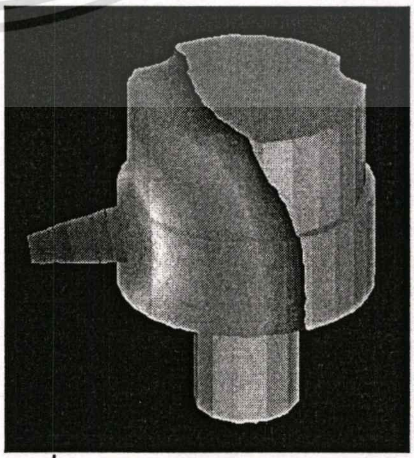
รูปที่ 5.21 Melt front ที่เวลา 0.3 วินาที



รูปที่ 5.22 Melt front ที่เวลา 0.6 วินาที

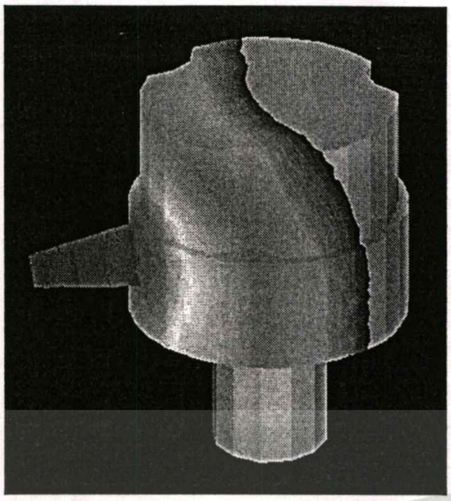


รูปที่ 5.23 Melt front ที่เวลา 0.9 วินาที

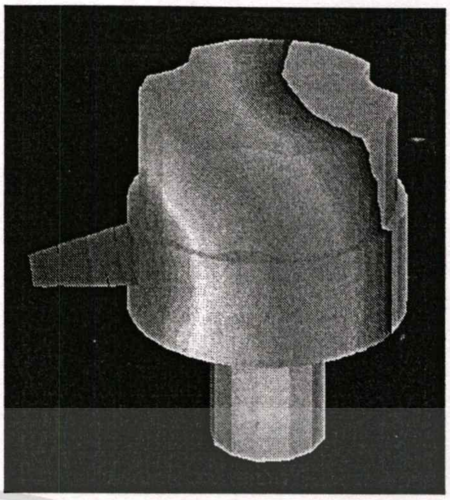


รูปที่ 5.24 Melt front ที่เวลา 1.2 วินาที

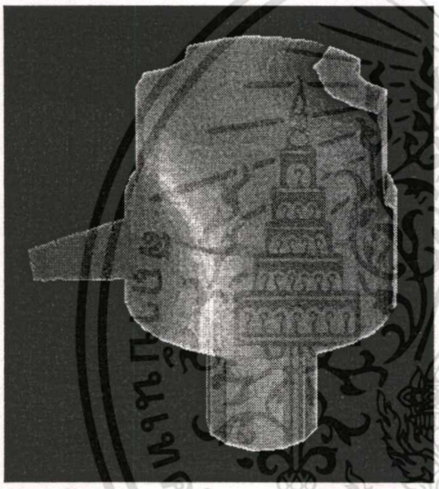
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



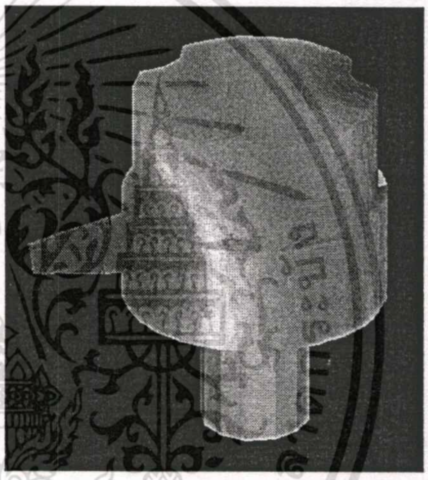
รูปที่ 5.25 Melt front ที่เวลา 1.5 วินาที



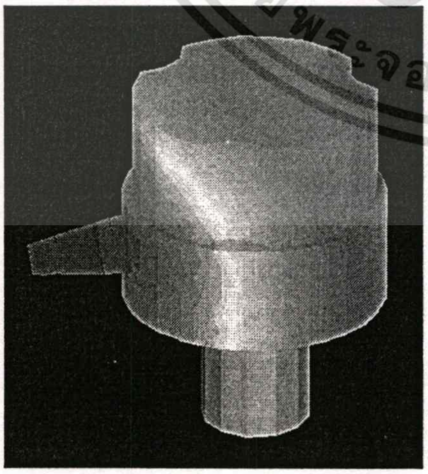
รูปที่ 5.26 Melt front ที่เวลา 1.8 วินาที



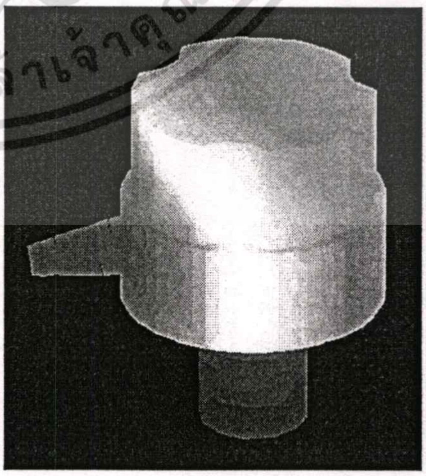
รูปที่ 5.27 Melt front ที่เวลา 2.1 วินาที



รูปที่ 5.28 Melt front ที่เวลา 2.4 วินาที



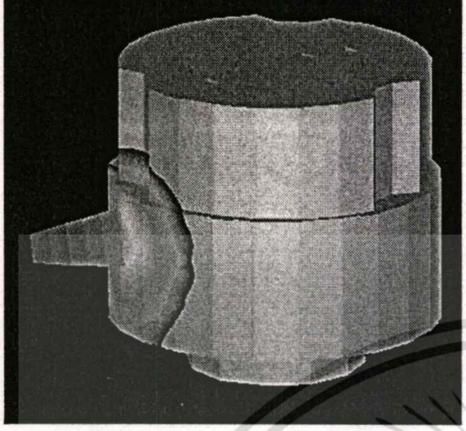
รูปที่ 5.29 Melt front ที่เวลา 2.7 วินาที



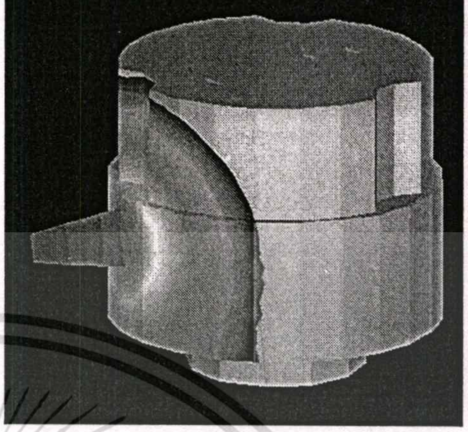
รูปที่ 5.30 Melt front ที่เวลา 3.0 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

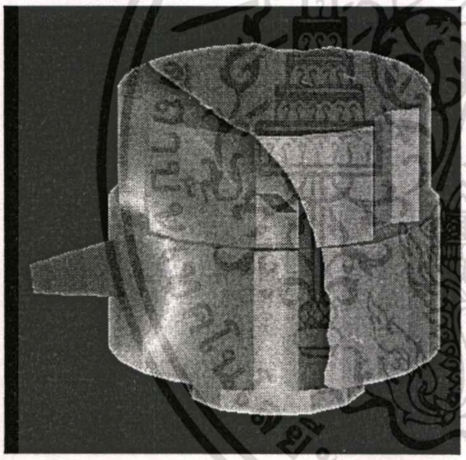
5.4 ขบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนหน้ากากเครื่องทำน้ำอุ่นด้วย Program Moldex(ชิ้นงานที่4)



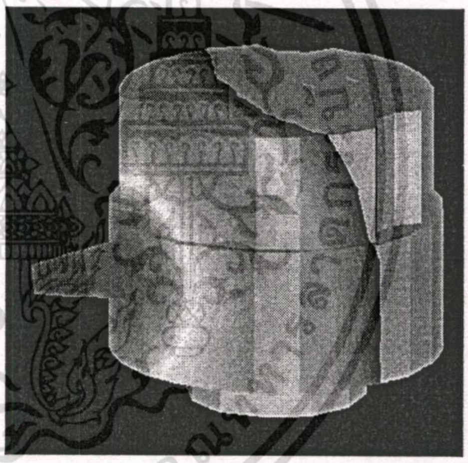
รูปที่ 5.31 Melt front ทีเวลา 0.3 วินาที



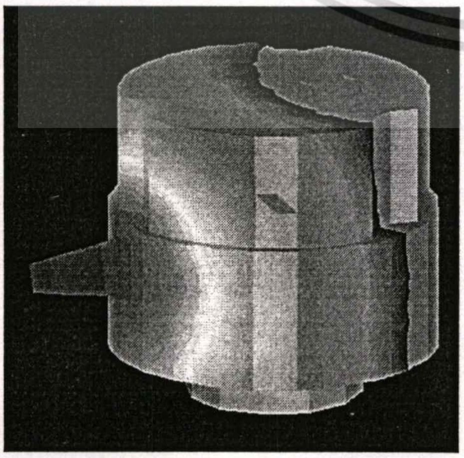
รูปที่ 5.32 Melt front ทีเวลา 0.6 วินาที



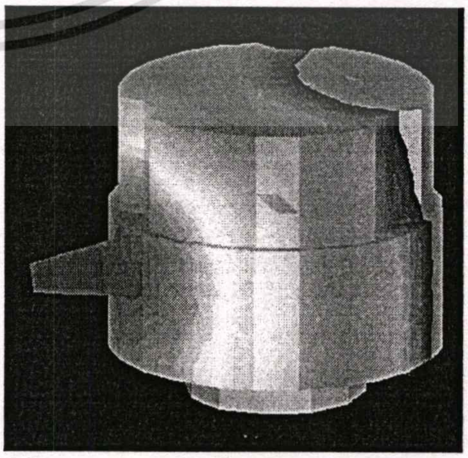
รูปที่ 5.33 Melt front ทีเวลา 0.9 วินาที



รูปที่ 5.34 Melt front ทีเวลา 1.2 วินาที

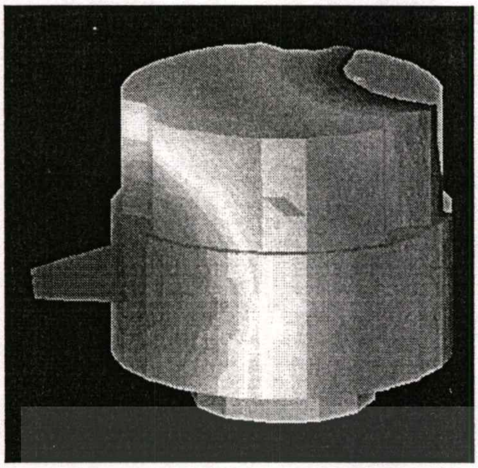


รูปที่ 5.35 Melt front ทีเวลา 1.5 วินาที

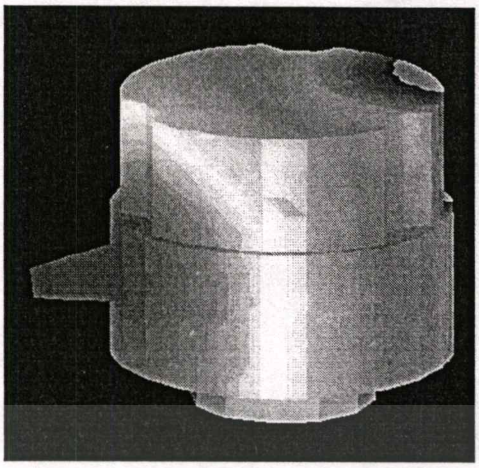


รูปที่ 5.36 Melt front ทีเวลา 1.8 วินาที

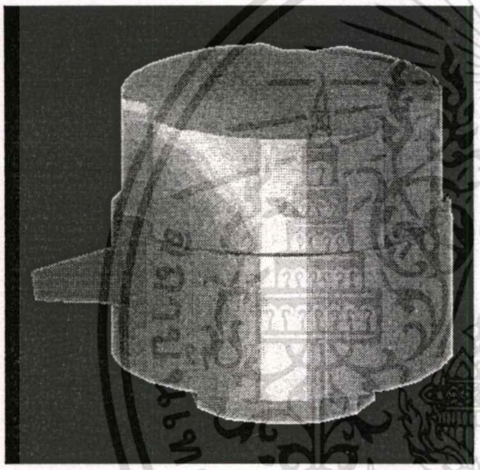
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



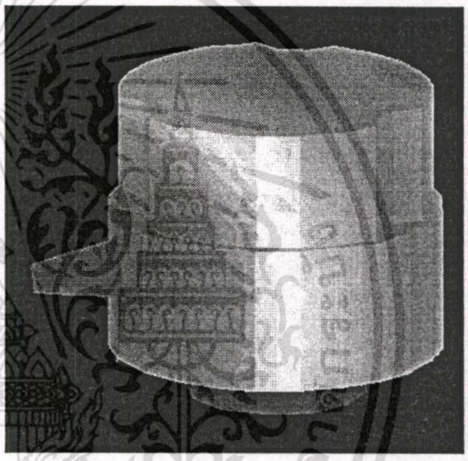
รูปที่ 5.37 Melt front ทีเวลา 2.1 วินาที



รูปที่ 5.38 Melt front ทีเวลา 2.4 วินาที



รูปที่ 5.39 Melt front ทีเวลา 2.7 วินาที

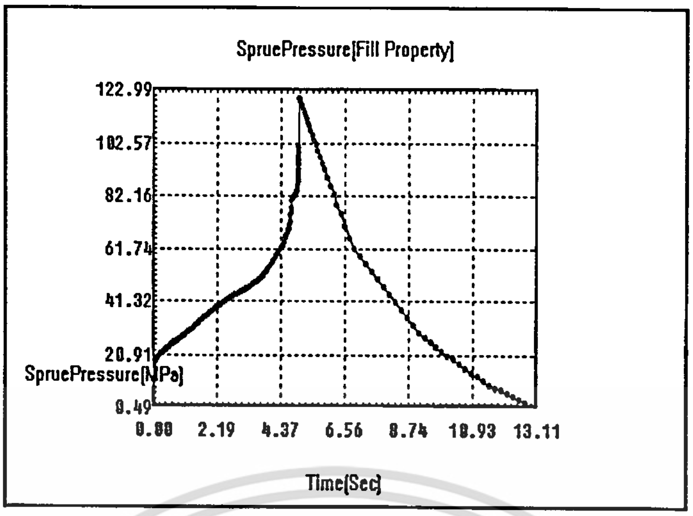


รูปที่ 5.40 Melt front ทีเวลา 3.0 วินาที

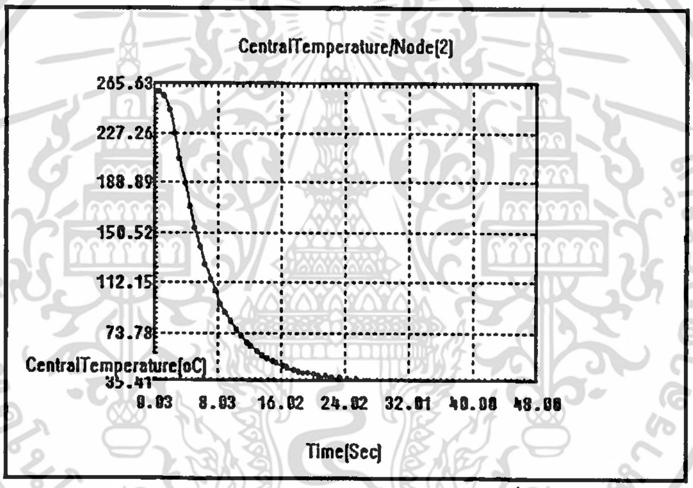
5.5 ลักษณะของ process ที่ใช้ฉีดชิ้นงานพลาสติกใน Program Moldex และผลการทดลองต่างๆ

ก่อนที่จะทำการทดลองในแต่ละครั้ง จะต้องตั้งกราฟลักษณะของการฉีดชิ้นงานก่อนโดยแบ่งเป็น filling stage, packing stage, และ cooling stage โดยการตั้งค่าจะอ้างอิงจากลักษณะของ process ที่ใช้ฉีดจริงเป็นหลัก และในงานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาถึงตัวแปรต่างๆที่มีผลกับการเกิด weld line และ sink mark โดยการศึกษาจะดูลักษณะของความเร็วและอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่เกิด Weld line ส่วน sink mark จะดูการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆกับการเกิด sink mark ซึ่งกราฟของลักษณะ Process ที่ใช้ฉีดในโปรแกรม Moldex และผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังรูป

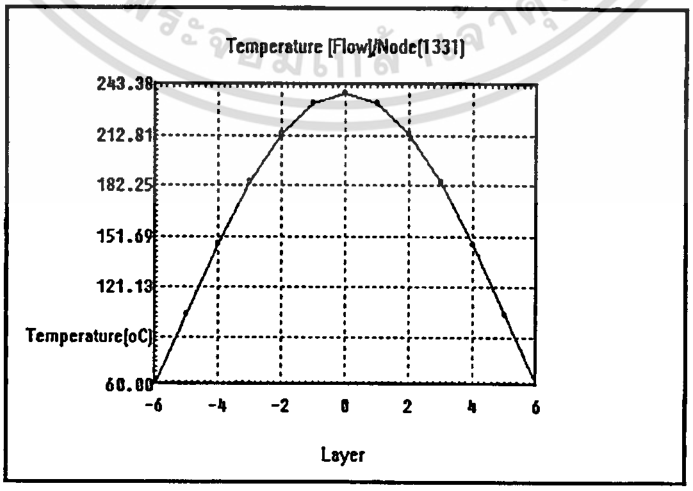
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.41 แสดงลักษณะ Processที่ใช้ฉีดในโปรแกรม Moldex



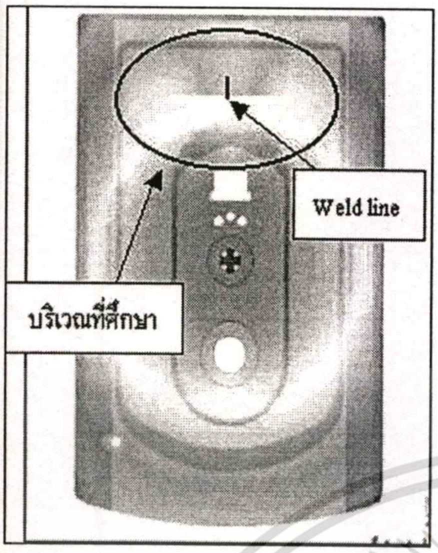
รูปที่ 5.42 แสดงลักษณะการเย็นตัวของชิ้นงานในโปรแกรม Moldex



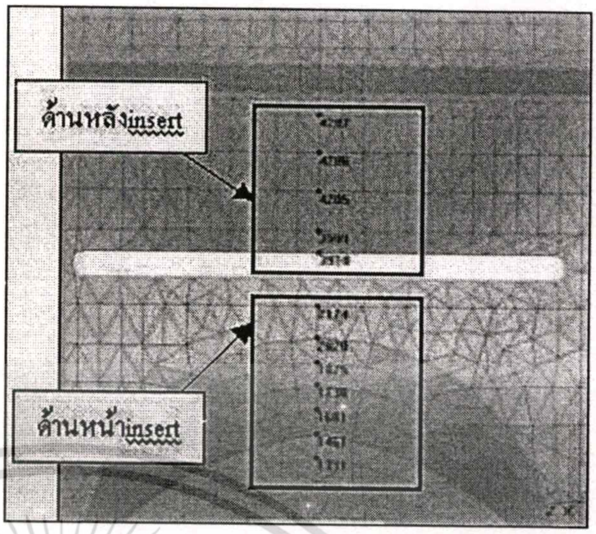
รูปที่ 5.43 แสดงการอ่านค่าของอุณหภูมิ ณ node ต่างๆที่เกิด weld line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

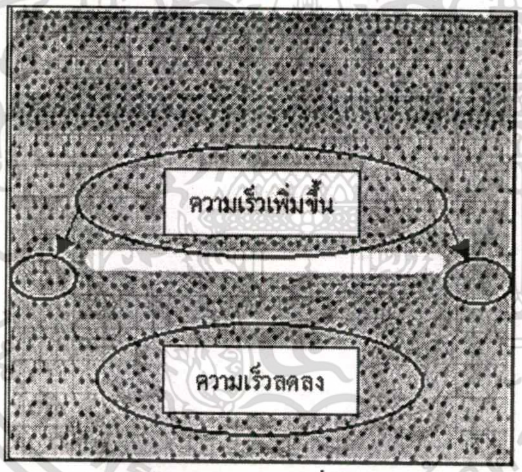
5.5.1 ผลการทดลองชิ้นงานที่1(Weld line)



รูปที่ 5.44 แสดงตำแหน่งที่ศึกษาและเกิด weld line



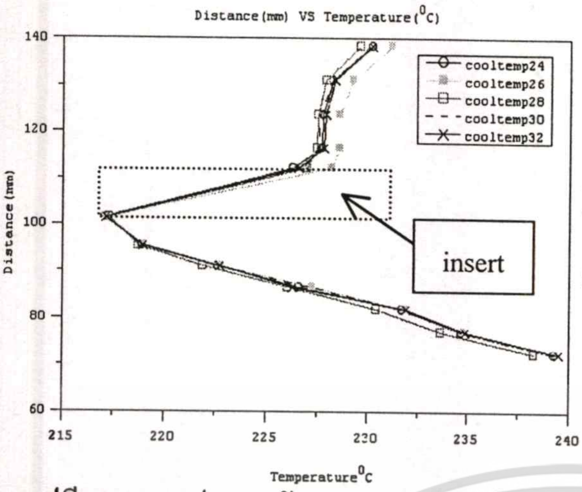
รูปที่ 5.45 แสดงตำแหน่ง node ที่ศึกษา



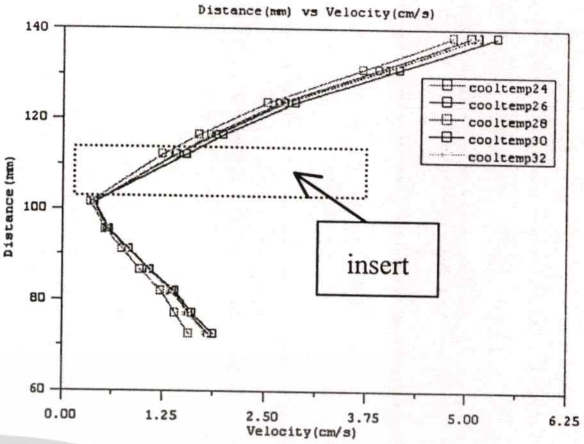
รูปที่ 5.46 แสดงลักษณะของความเร็ว ณ ตำแหน่งที่ศึกษา

โดย node ที่ศึกษาคือ node ที่ 1331, 1461, 1601, 1738, 1875, 2020, 2174, 3910, 3909, 4205, 4206, และ 4207 ซึ่งระยะที่วัดจากตำแหน่งที่น้ำพลาสติกไหลเข้าในแต่ละ node ที่ศึกษาคือ 72.39mm.,77 mm, 81.76mm., 86.53mm., 90.99 mm., 95.51 mm., 101.53 mm., 112.1mm., 116.32mm., 123.71 mm., 131.11 mm., และ 138.5 mm. ตามลำดับ โดยกราฟที่ศึกษาความเร็วและอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่เกิด Weld line เป็นดังรูป

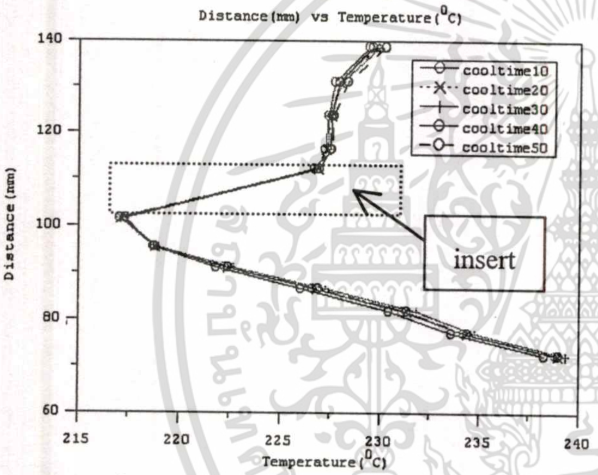
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



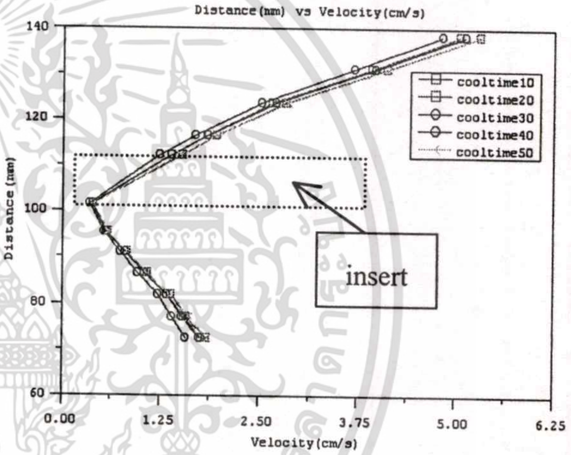
รูปที 5.47 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น



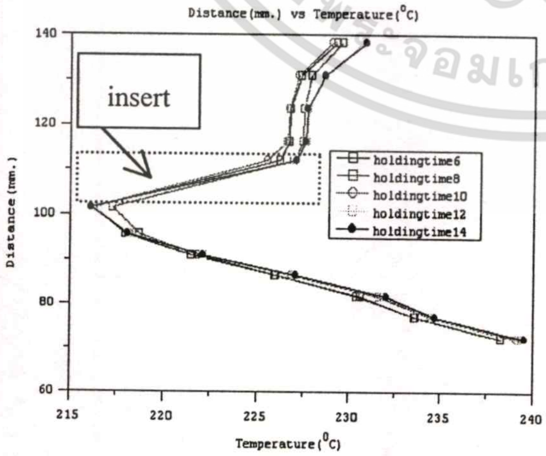
รูปที่ 5.48 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น



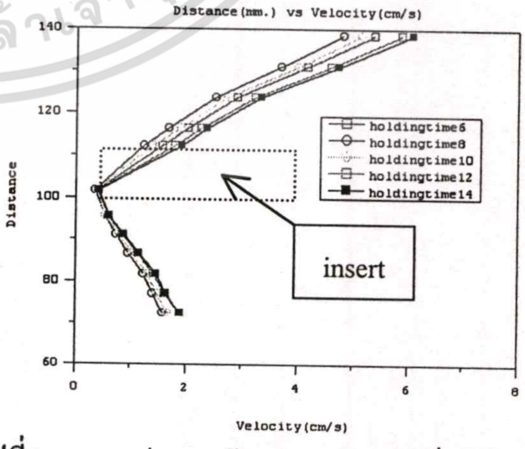
รูปที่ 5.49 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น



รูปที่ 5.50 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น

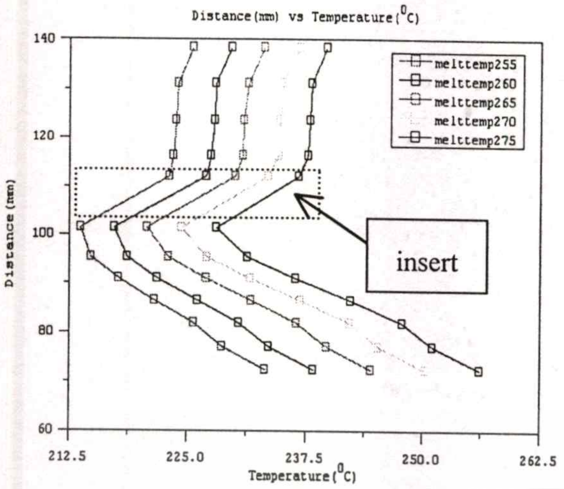


รูปที่ 5.51 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ

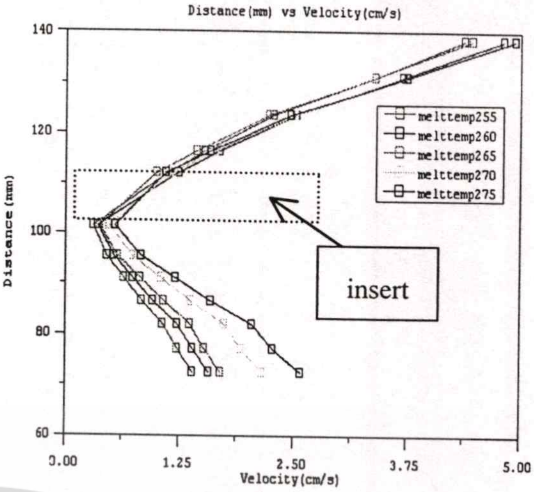


รูปที่ 5.52 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ

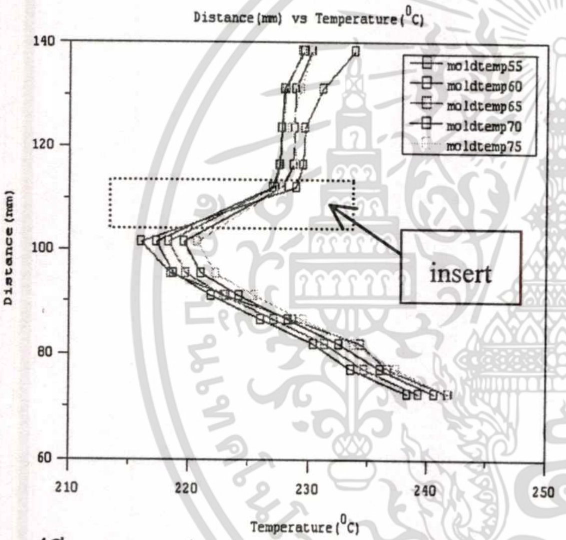
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



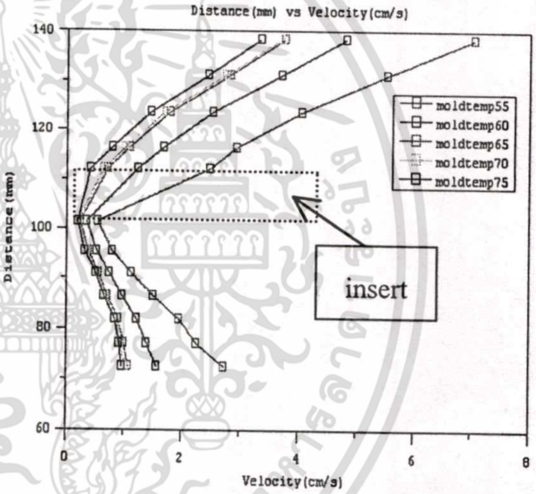
รูปที่ 5.53 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว



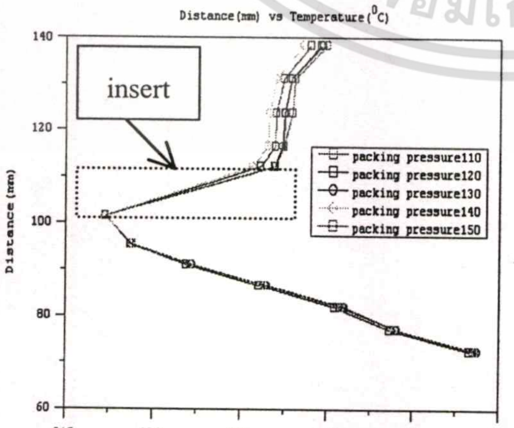
รูปที่ 5.54 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว



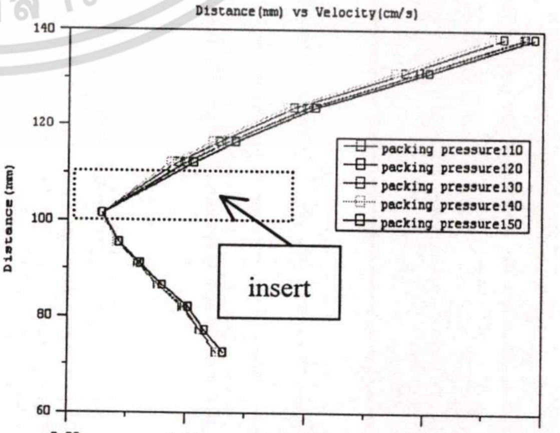
รูปที่ 5.55 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์



รูปที่ 5.56 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์

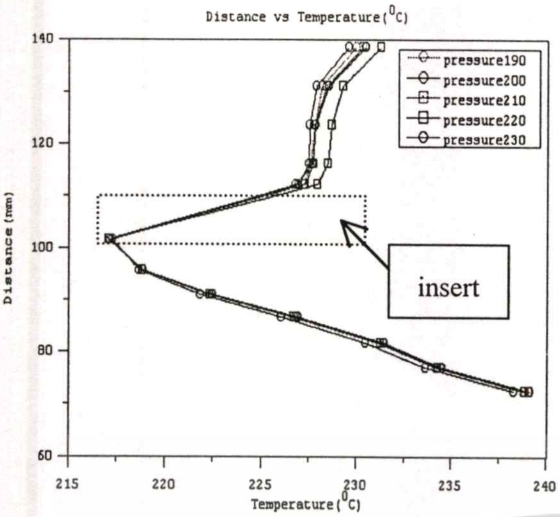


รูปที่ 5.57 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดันย้ำ

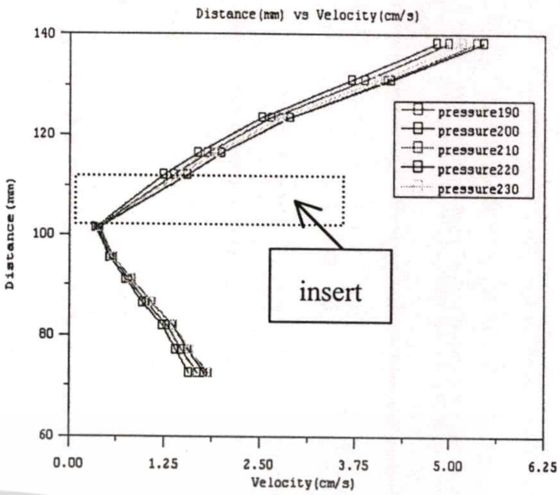


รูปที่ 5.58 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดันย้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

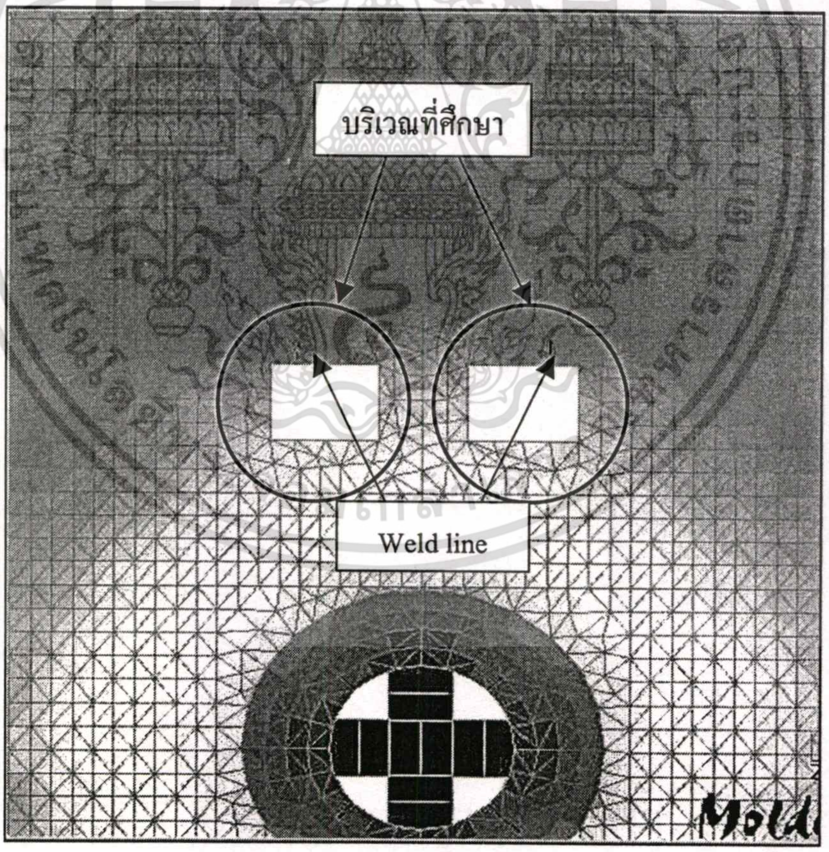


รูปที่ 5.59 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดัน



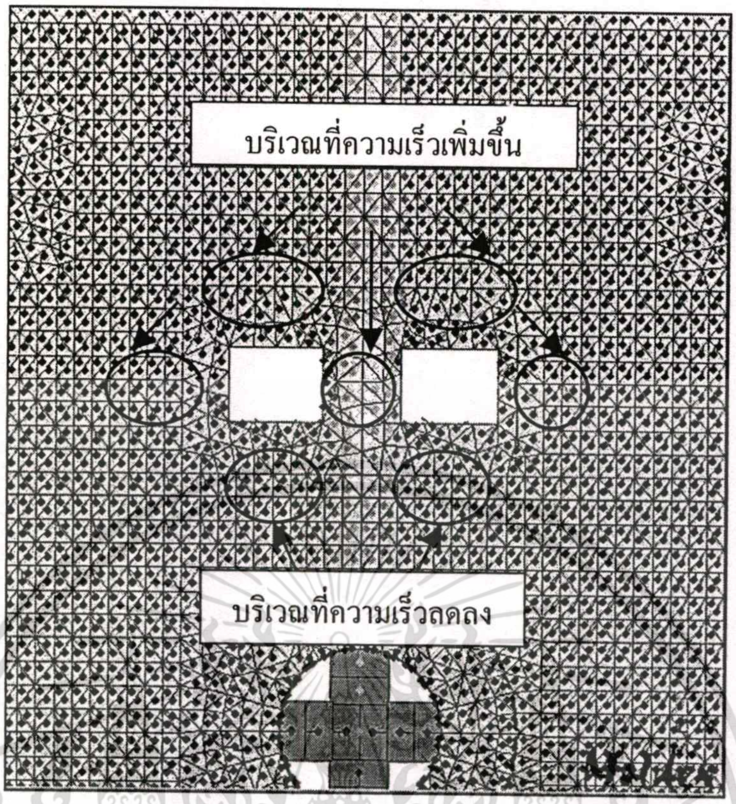
รูปที่ 5.60 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดัน

5.5.2 ผลการทดลองของชิ้นงานที่2(Weld line)



รูปที่ 5.61 แสดงตำแหน่งที่ศึกษาและตำแหน่งที่เกิดWeld line

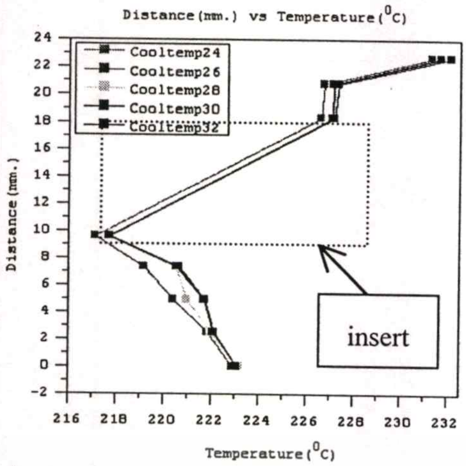
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



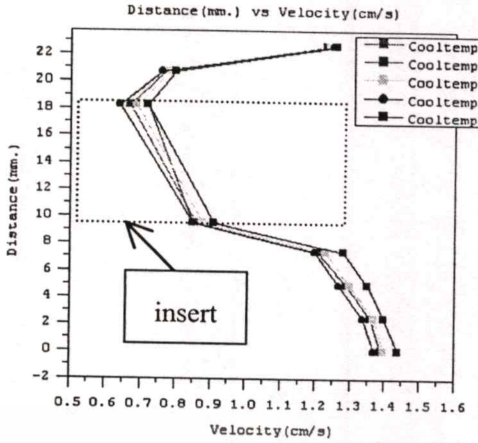
รูปที่ 5.62 แสดงลักษณะการศึกษาความเร็ว

ตำแหน่งที่ทำการศึกษาดูลักษณะของอุณหภูมิและความเร็วเพื่อศึกษาลักษณะการเกิด Weld line ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5.62 โดยศึกษา ณ ตำแหน่งในแต่ละ node ทั้งสองด้าน เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความเร็ว โดย node ที่ศึกษาด้านซ้ายคือ node ที่ 485, 566, 647, 648, 825, 1261, 1258,และ1387 ส่วน node ด้านขวาคือ nodeที่ 420, 487, 568, 652, 739, 1141, 1268, และ1399 ซึ่งระยะที่วัดจากตำแหน่งที่เริ่มศึกษาในแต่ละ node ที่ศึกษาด้านขวาคือ 0mm.,2.45 mm, 4.9mm., 7.33mm., 9.51 mm., 18.3 mm., 20.68 mm., และ 22.59 mm. ตามลำดับ และระยะที่วัดจากตำแหน่งที่เริ่มศึกษาในแต่ละ node ที่ศึกษาด้านซ้ายคือ 0mm.,2.45 mm, 4.9mm., 7.33mm., 9.51 mm., 18.3 mm., 20.68 mm., และ 22.59 mm. ตามลำดับ โดยกราฟที่ศึกษาความเร็วและอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่เกิด weld line เป็นดังรูป

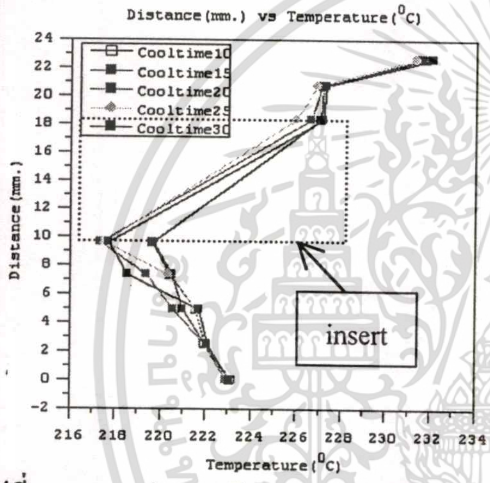
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



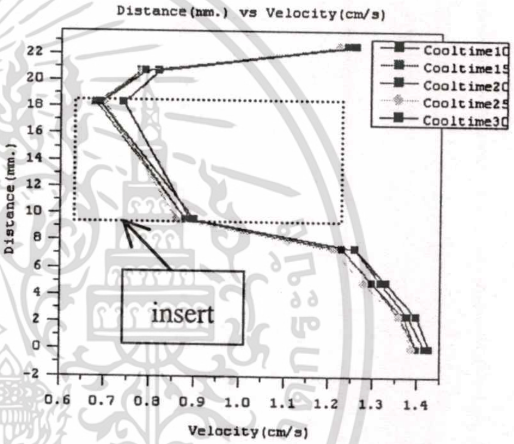
รูปที่ 5.63 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น(ซ้าย)



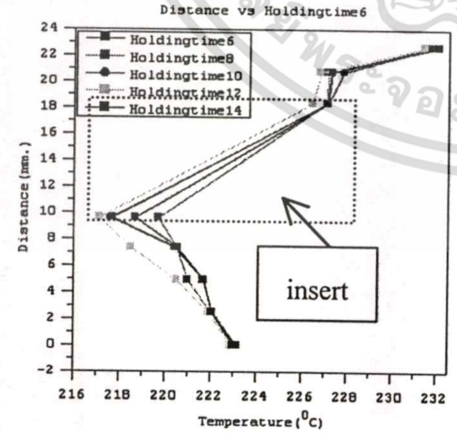
รูปที่ 5.64 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น(ซ้าย)



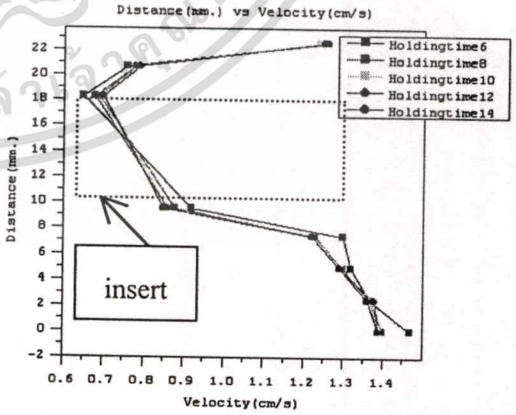
รูปที่ 5.65 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น(ซ้าย)



รูปที่ 5.66 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น(ซ้าย)

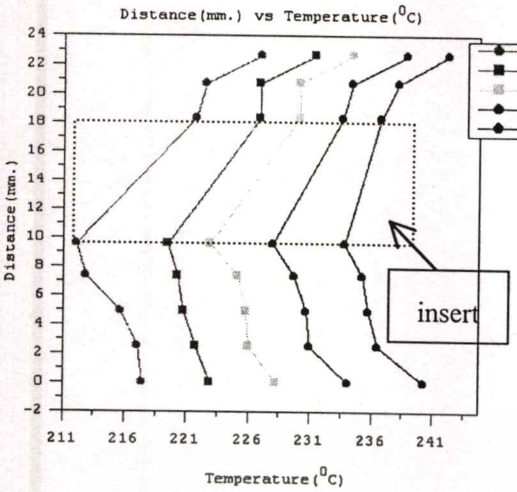


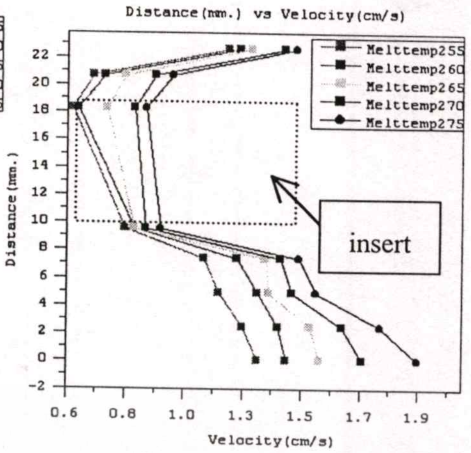
รูปที่ 5.67 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ(ซ้าย)



รูปที่ 5.68 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ(ซ้าย)

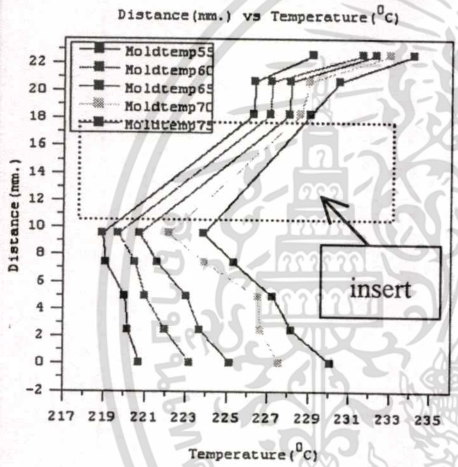
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

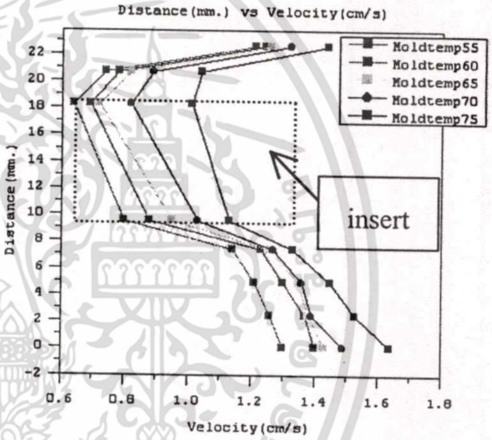




รูปที่ 5.69 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว(ซ้าย)

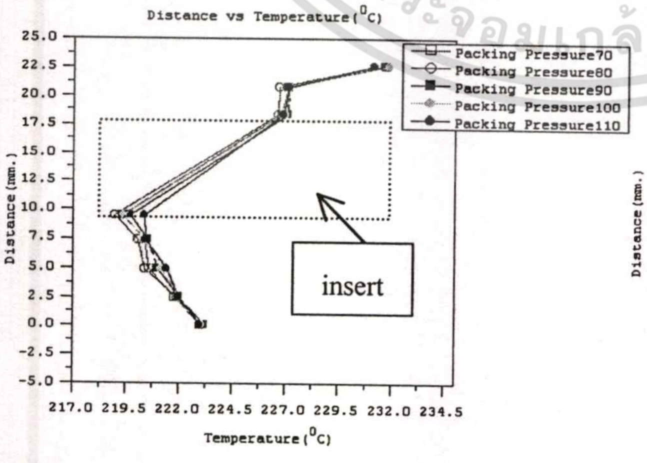
รูปที่ 5.70 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว(ซ้าย)

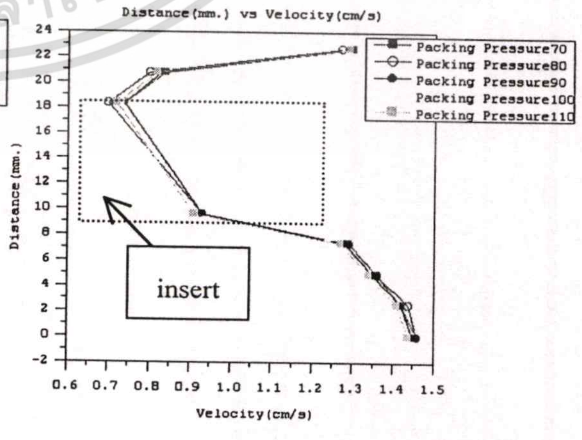




รูปที่ 5.71 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์(ซ้าย)

รูปที่ 5.72 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์(ซ้าย)

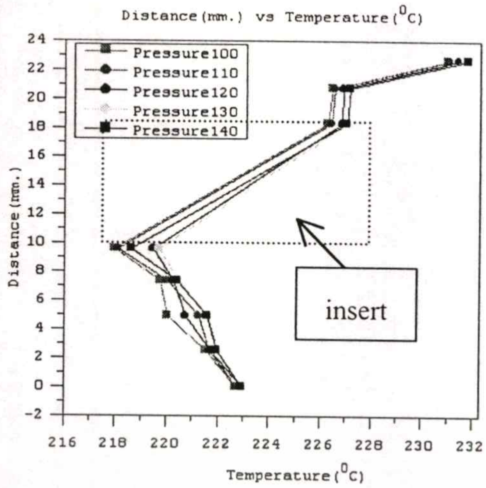




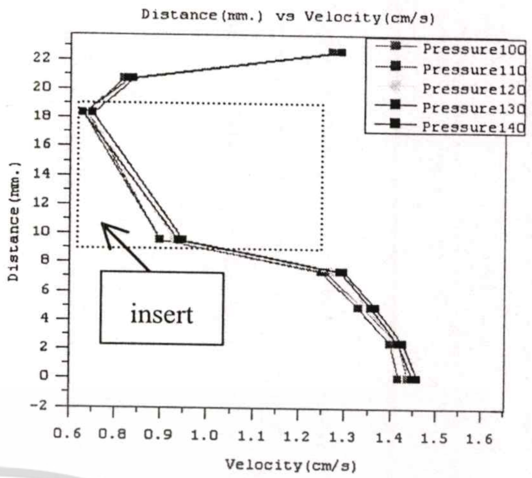
รูปที่ 5.73 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดันย้ำ(ซ้าย)

รูปที่ 5.74 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดันย้ำ(ซ้าย)

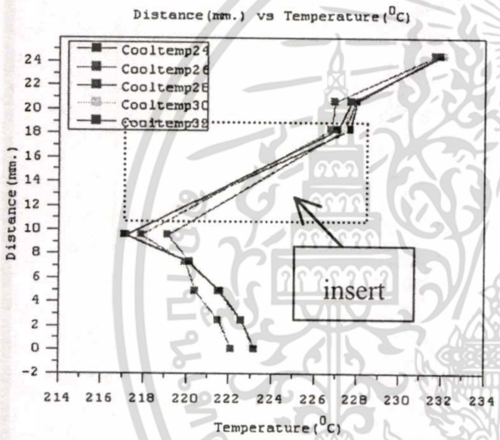
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



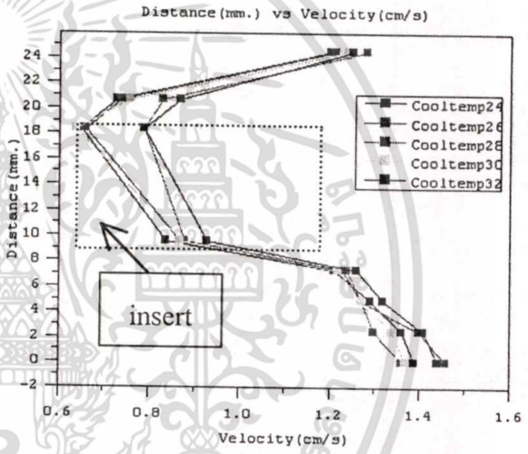
รูปที่ 5.75 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดัน(ซ้าย)



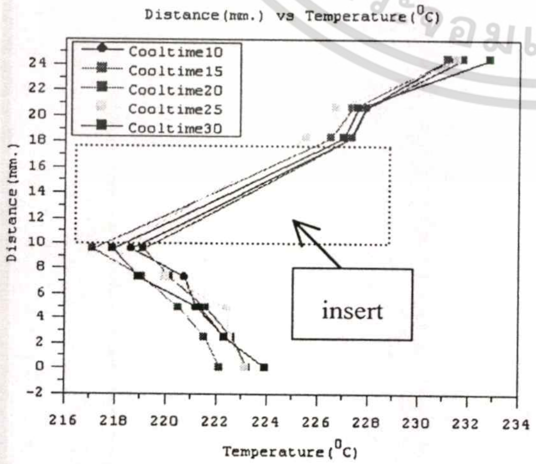
รูปที่ 5.76 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดัน(ซ้าย)



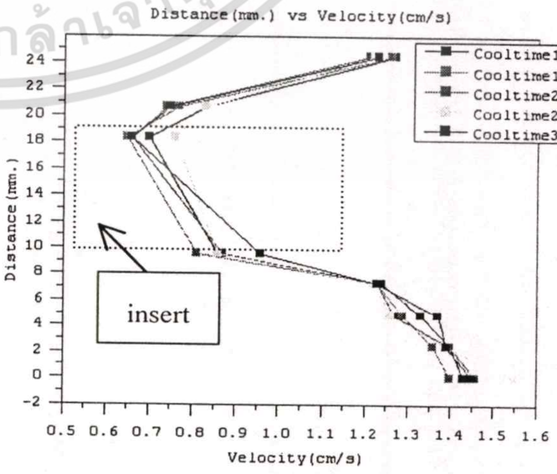
รูปที่ 5.77 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น(ขวา)



รูปที่ 5.78 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น(ขวา)

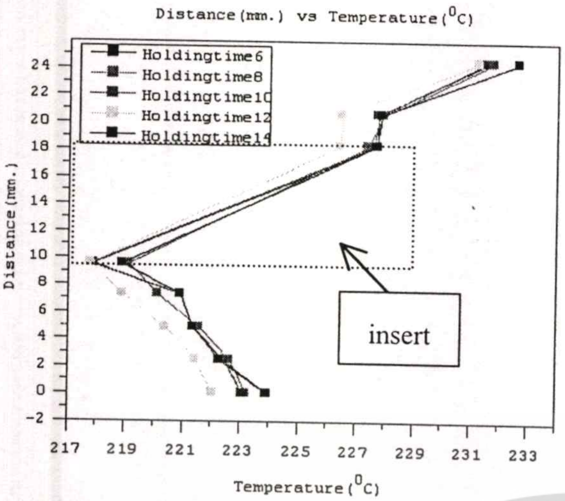


รูปที่ 5.79 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น(ขวา)

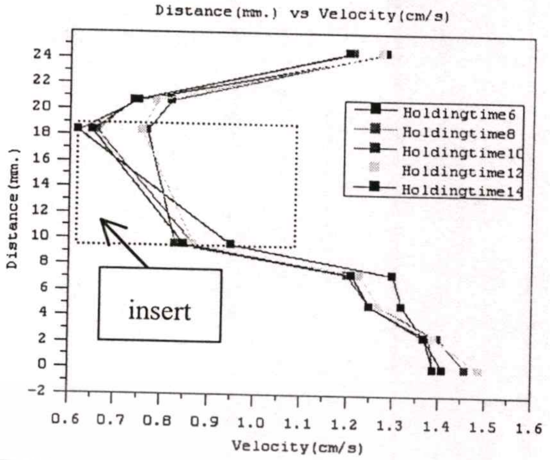


รูปที่ 5.80 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น(ขวา)

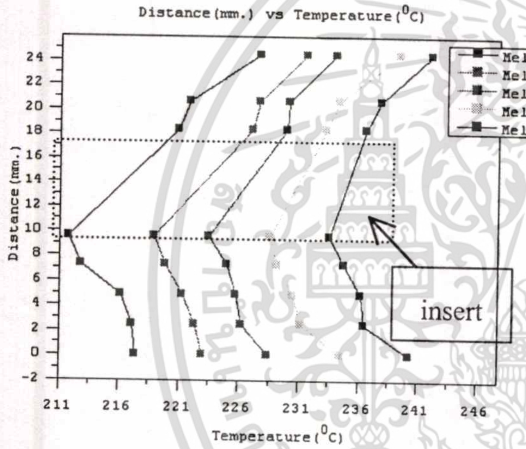
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



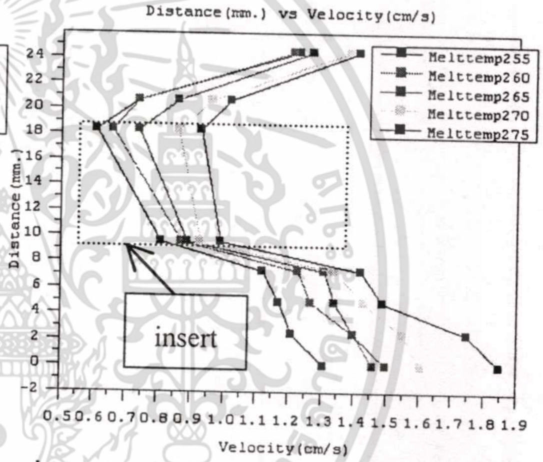
รูปที่ 5.81 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ(ขวา)



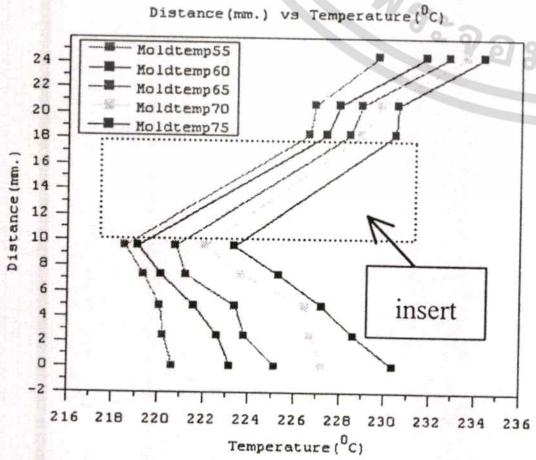
รูปที่ 5.82 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ(ขวา)



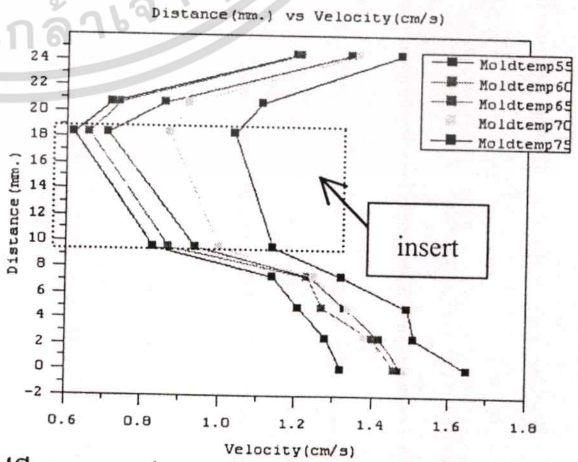
รูปที่ 5.83 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว(ขวา)



รูปที่ 5.84 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว(ขวา)

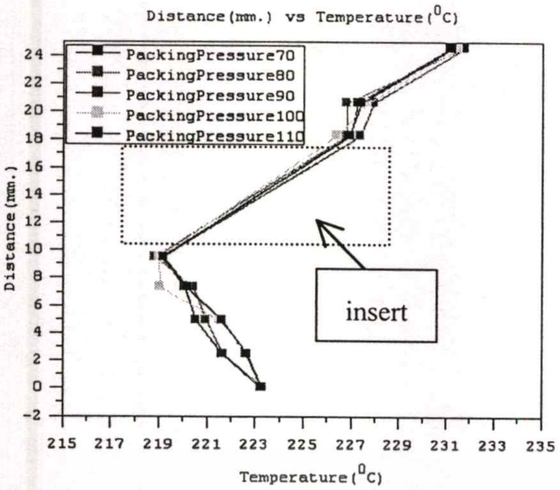


รูปที่ 5.85 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์(ขวา)

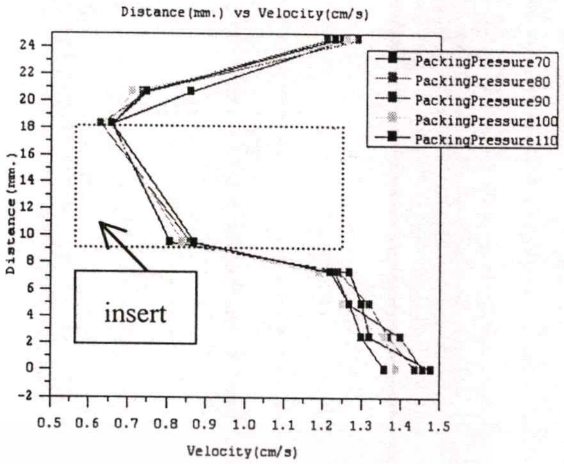


รูปที่ 5.86 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์(ขวา)

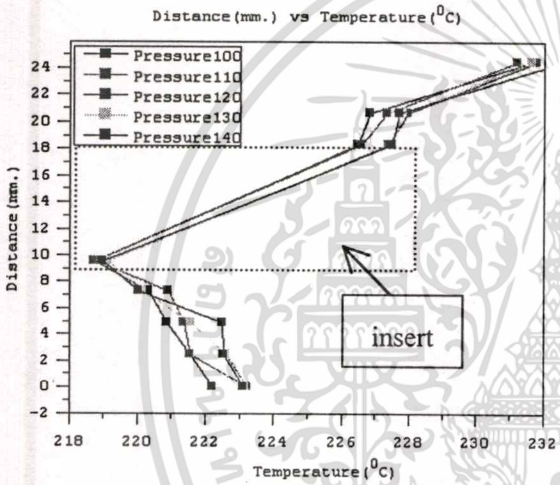
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



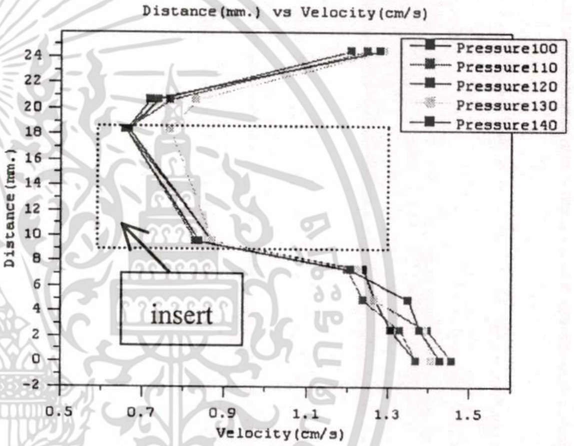
รูปที่ 5.87 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดันย้ำ(ขวา)



รูปที่ 5.88 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดันย้ำ(ขวา)

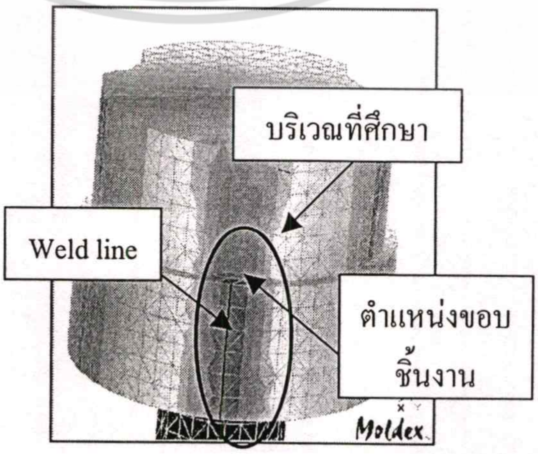


รูปที่ 5.89 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดัน(ขวา)



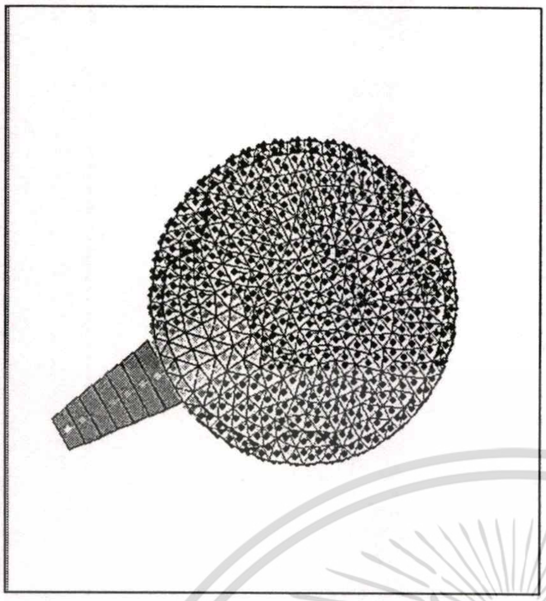
รูปที่ 5.90กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดัน(ขวา)

5.5.3 ผลการทดลองของชิ้นงานที่3(Weld line)

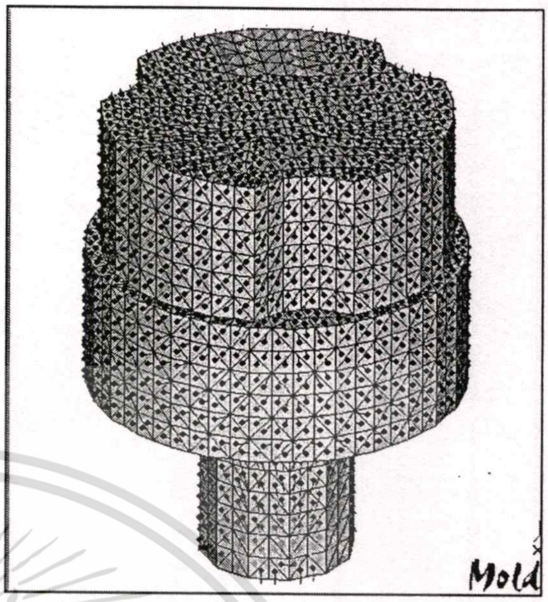


รูปที่ 5.91 แสดงตำแหน่งที่ศึกษาและตำแหน่งที่เกิดWeld line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ได้ที่ได้รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

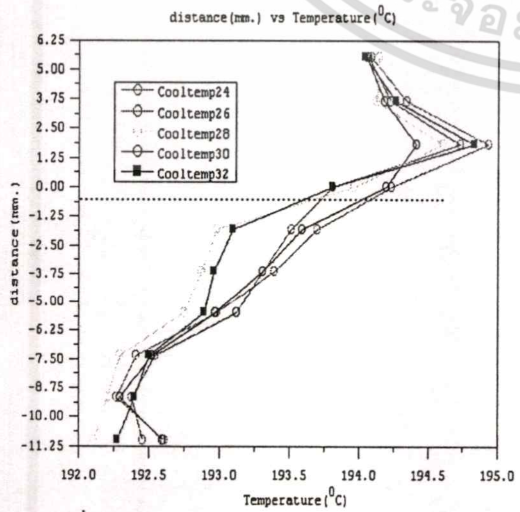


รูปที่ 5.92 แสดงลักษณะของความเร็วของด้านบนของชิ้นงาน

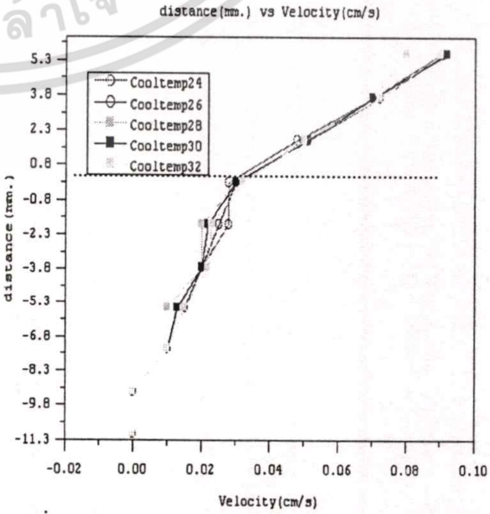


รูปที่ 5.93 แสดงลักษณะของความเร็วของด้านข้างของชิ้นงาน

ตำแหน่งที่ทำการศึกษาดูลักษณะของอุณหภูมิและความเร็วเพื่อศึกษาลักษณะการเกิด weld line ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5.92 โดยศึกษา ณ ตำแหน่งในแต่ละ node ในบริเวณที่ศึกษา เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความเร็วโดย node ที่ศึกษาคือ node ที่ 1205, 1239, 1237, 1199, 1238, 1241, 1240, 1243, 1242,และ 1244 ซึ่งระยะที่วัดวัดจากตำแหน่งขอบชิ้นงานเป็น 0 ด้านบนเป็นบวกและด้านล่างเป็นลบ ในแต่ละ node ที่ศึกษาคือ 5.5mm.,3.66 mm, 1.83mm., 0mm., -1.83 mm., -3.67 mm., -5.5 mm., -7.33 mm., -9.17 mm., และ -11mm. ตามลำดับ โดยกราฟที่ศึกษาความเร็วและอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่เกิด weld line เป็นดังรูป

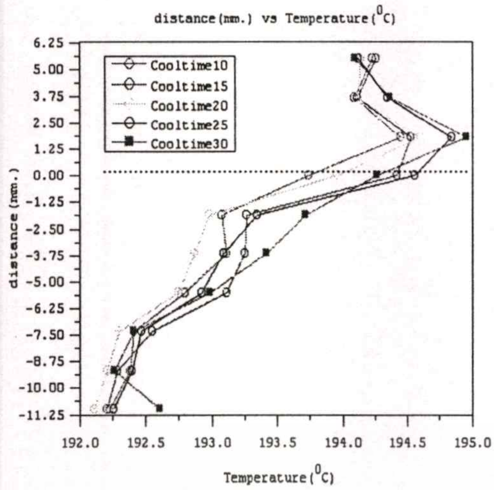


รูปที่ 5.94 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น

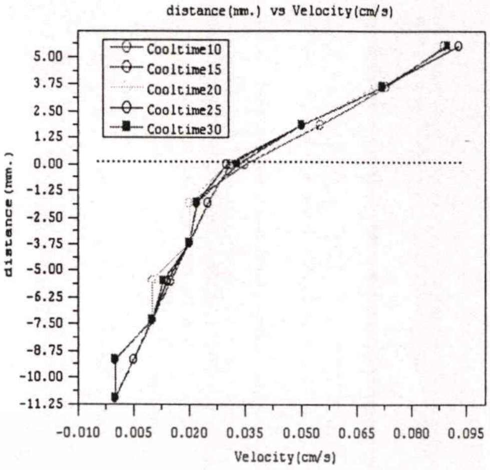


รูปที่ 5.95 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น

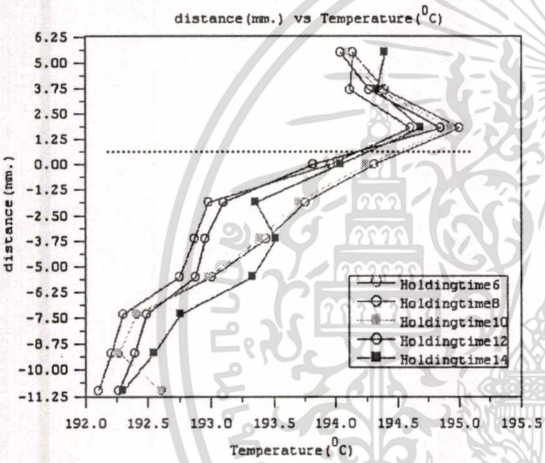
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



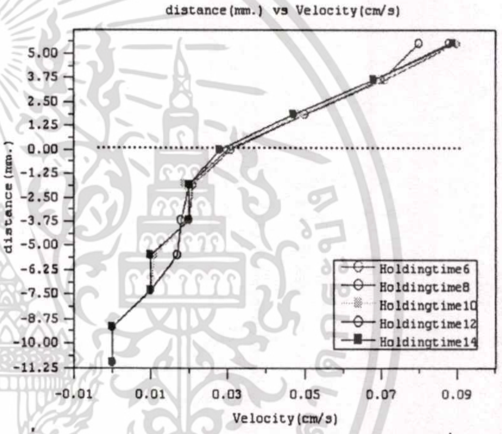
รูปที่ 5.96 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น



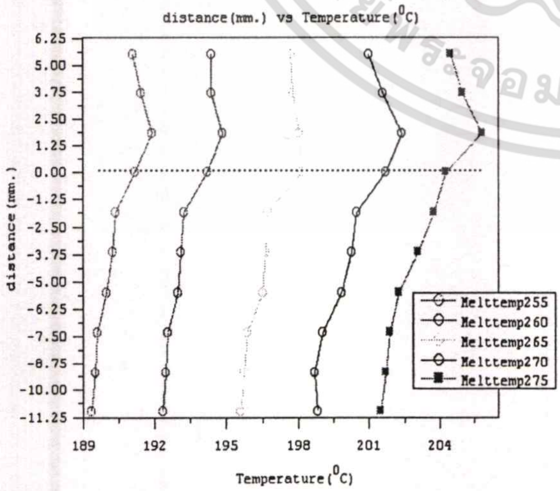
รูปที่ 5.97 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น



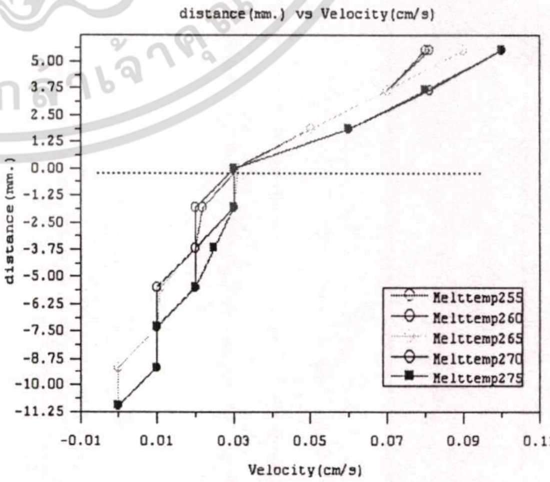
รูปที่ 5.98 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ



รูปที่ 5.99 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ

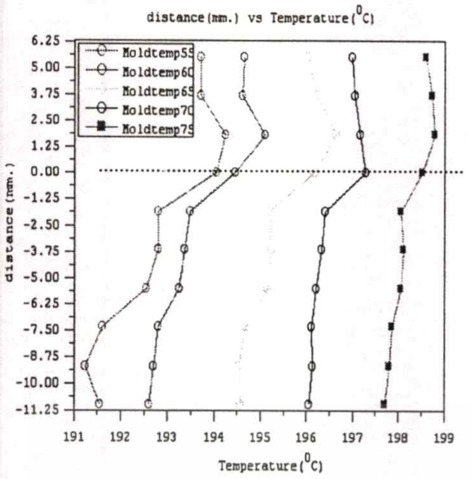


รูปที่ 5.100 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว

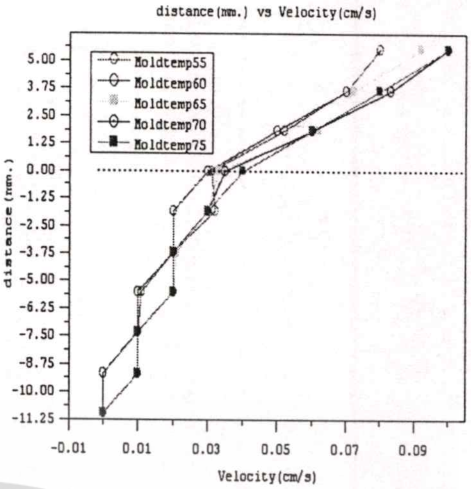


รูปที่ 5.101 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว

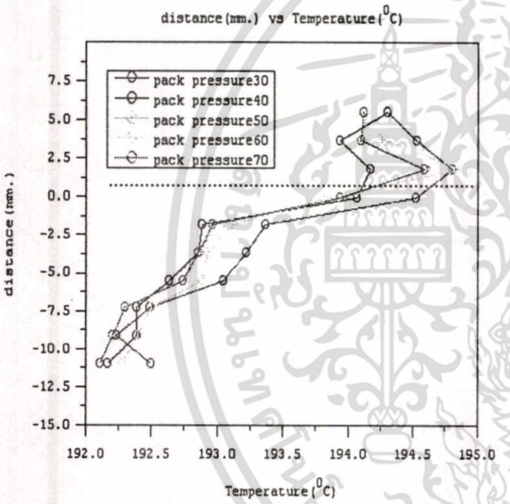
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



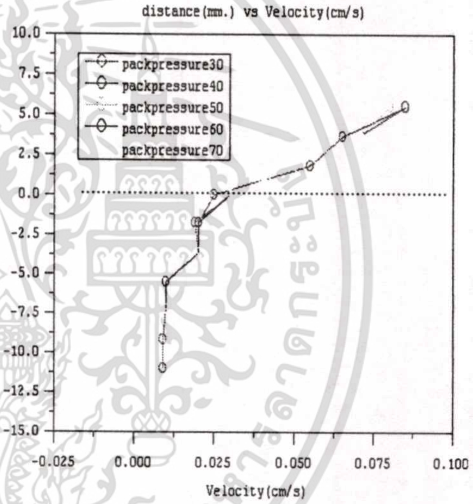
รูปที่ 5.102 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์



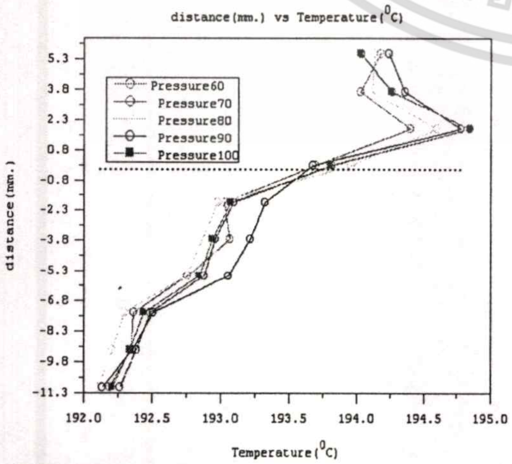
รูปที่ 5.103 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์



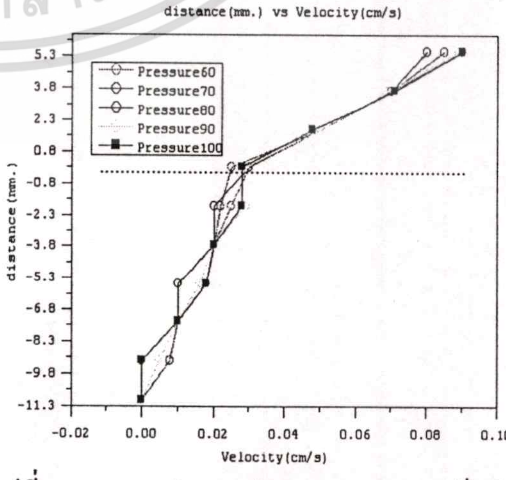
รูปที่ 5.104 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดันย้ำ



รูปที่ 5.105 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดันย้ำ



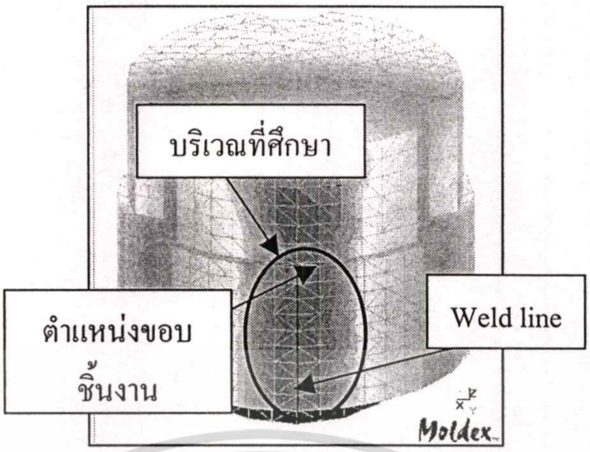
รูปที่ 5.106 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดัน



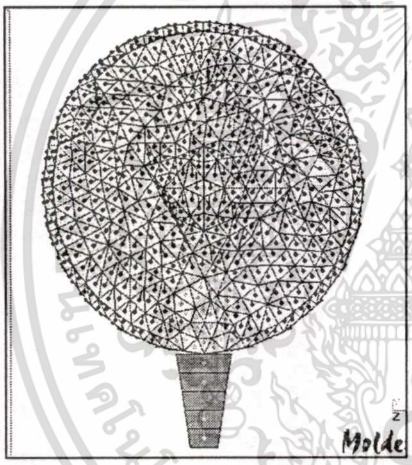
รูปที่ 5.107 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่อนุญาตให้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

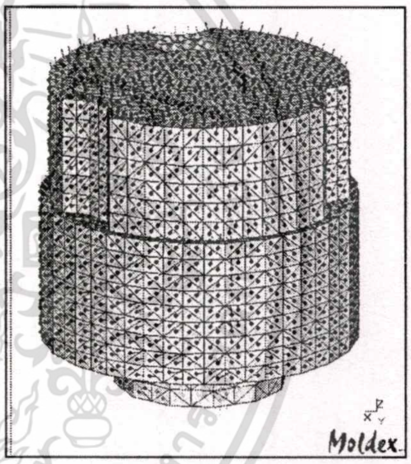
5.5.4 ผลการทดลองของชิ้นงานที่4(Weld line)



รูปที่ 5.108 แสดงตำแหน่งที่ศึกษาและตำแหน่งที่เกิดWeld line



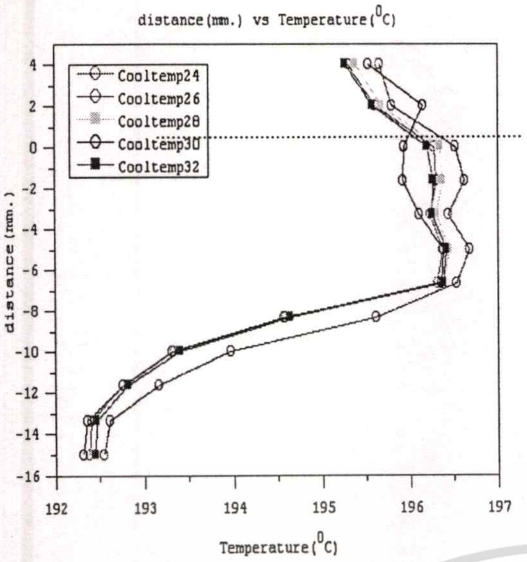
รูปที่ 5.109 แสดงลักษณะของความเร็ว ของด้านบนของชิ้นงาน



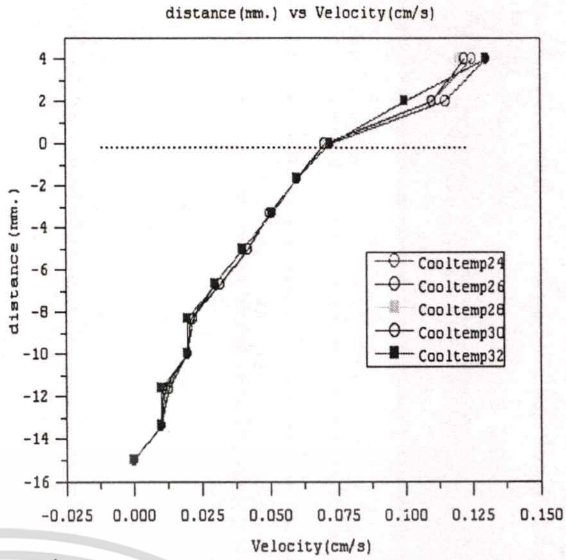
รูปที่ 5.110แสดงลักษณะของความเร็ว ของด้านข้างของชิ้นงาน

ตำแหน่งที่ทำการศึกษาดูลักษณะของอุณหภูมิและความเร็วเพื่อศึกษาลักษณะการเกิด weld line ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5.109 โดยศึกษา ณ ตำแหน่งในแต่ละ node ในบริเวณที่ศึกษา เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความเร็วโดย node ที่ศึกษาคือ node ที่ 1431, 1430, 1371, 1362, 1361, 1360, 1355, 1356, 1358, 1357, 1359, และ 1363 ซึ่งระยะที่วัดวัดจากตำแหน่งขอบชิ้นงานเป็น 0 ด้านบนเป็นบวกและด้านล่างเป็นลบ ในแต่ละ node ที่ศึกษาคือ 4mm., 2 mm, 0mm., -1.66mm., -3.33 mm., -5 mm., -6.66 mm., -8.33 mm., -10 mm.., -11.66mm., 13.33mm.และ -15mm. ตามลำดับ โดยกราฟที่ศึกษาความเร็วและอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่เกิด weld line เป็นดังรูป

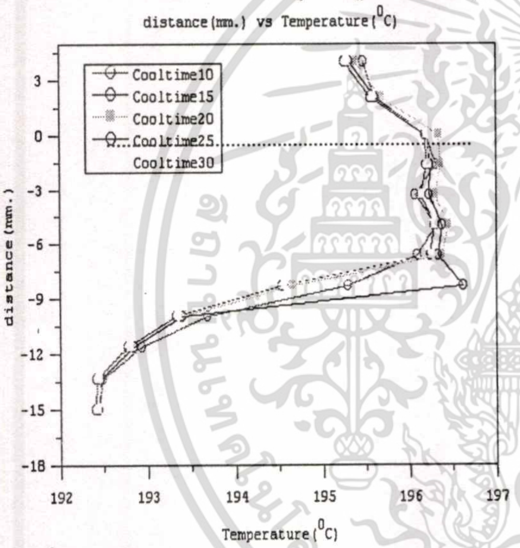
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



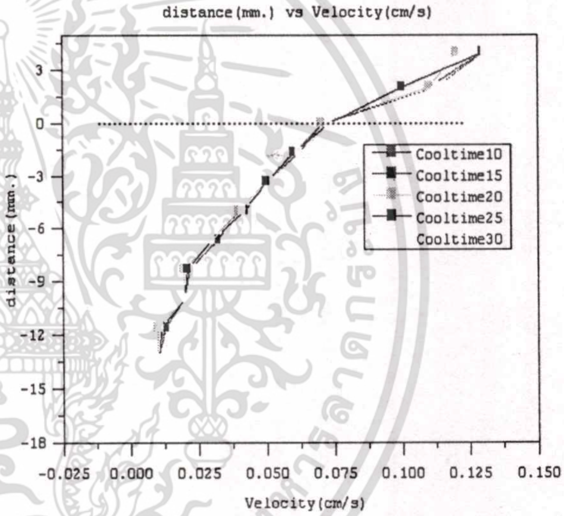
รูปที่ 5.111 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น



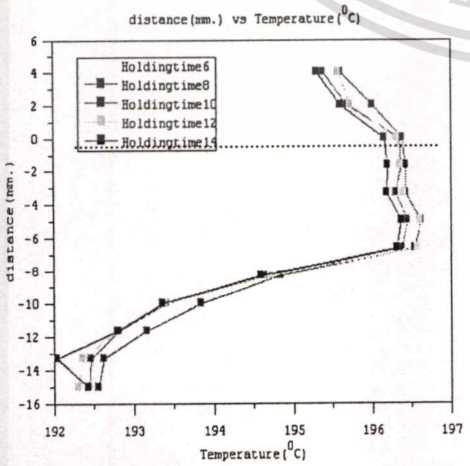
รูปที่ 5..112 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิหล่อเย็น



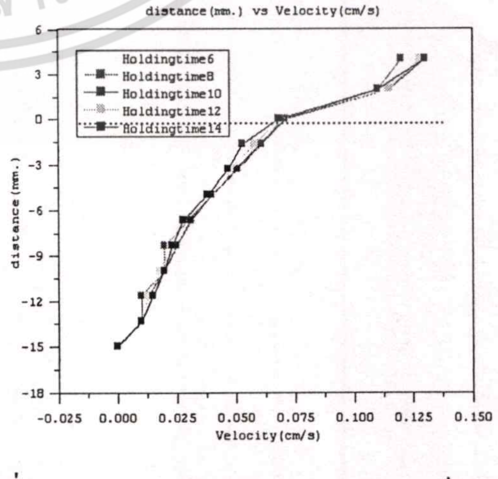
รูปที่ 5.113 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น



รูปที่ 5.114กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาหล่อเย็น

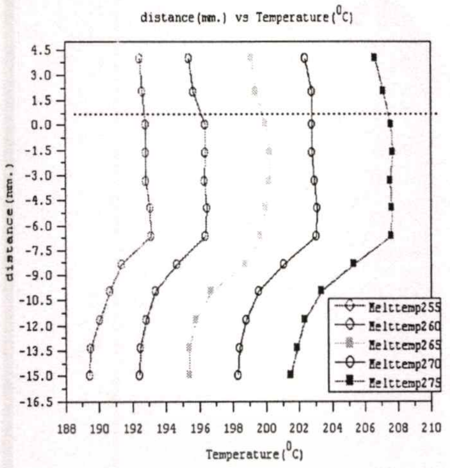


รูปที่ 5.115 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ

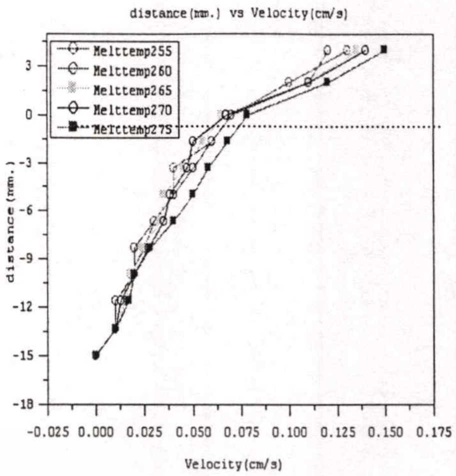


รูปที่ 5.116 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของเวลาฉีดย้ำ

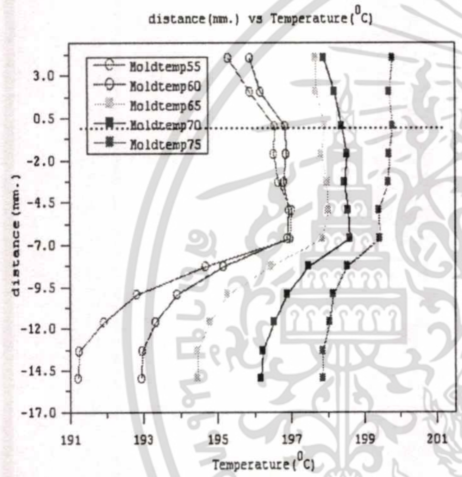
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



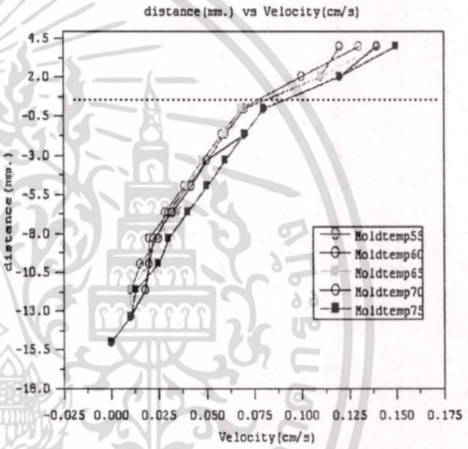
รูปที่ 5.117 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว



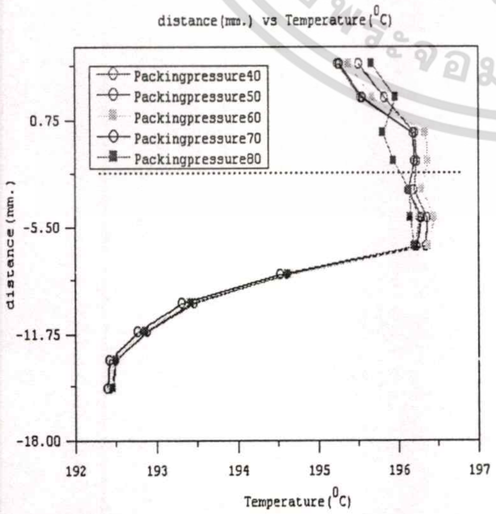
รูปที่ 5.118 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิพลาสติกเหลว



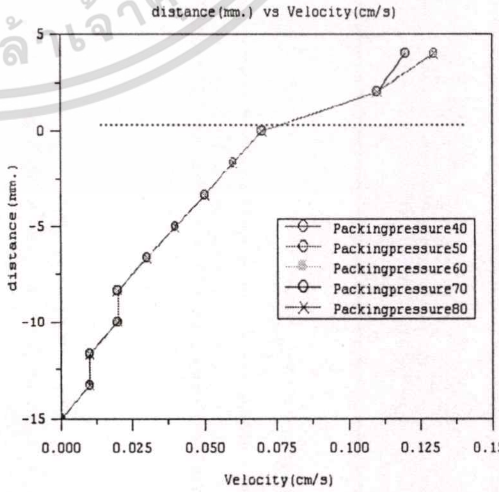
รูปที่ 5.119 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์



รูปที่ 5.120 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของอุณหภูมิแม่พิมพ์

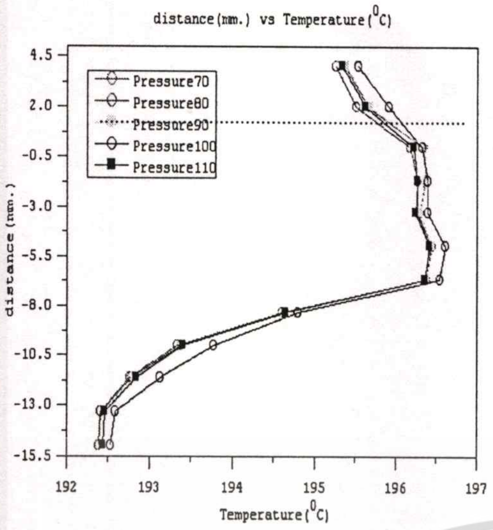


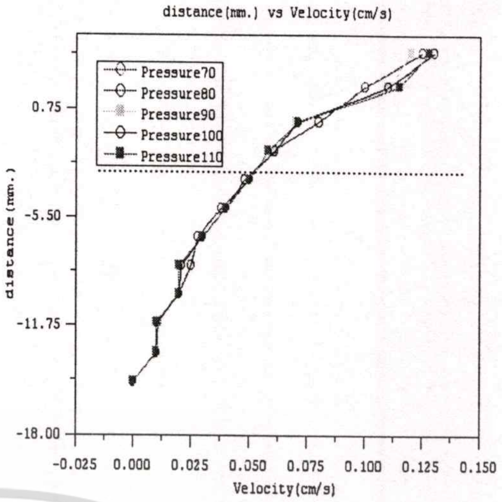
รูปที่ 5.121 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดันย้ำ



รูปที่ 5.122 กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดันย้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 5.123 กราฟแสดงลักษณะของอุณหภูมิกับระยะทางของความดัน **รูปที่ 5.124** กราฟแสดงลักษณะของความเร็วกับระยะทางของความดัน

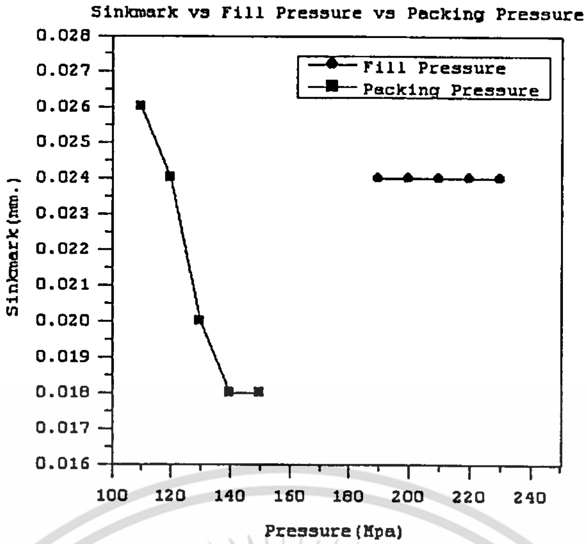
5.6 Sink mark

5.6.1 ผลการทดลองชิ้นงานที่1(Sink mark)

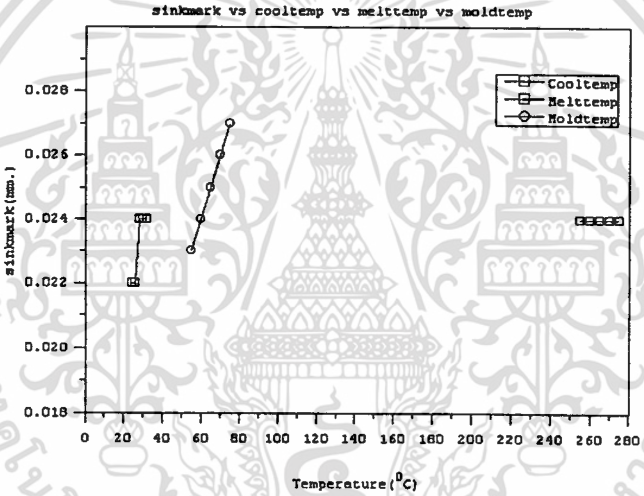
เนื่องจากการเกิด sink mark เป็นการเกิดจากการหดตัวของelement ไม่ได้เกิดแบบ node ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์เป็นแบบ element โดยเราวิเคราะห์ในส่วนของ element ที่เกิด sink mark ตลอดแนวเพื่อดูค่าต่างๆที่เกิดขึ้น โดยแนวทางการศึกษาจะเป็นแบบเดียวกับ Weld line เพียงแต่จะวิเคราะห์เป็น element ไม่ใช่แบบ node เราจะดูค่าการเกิด sink markในแต่ละ Element ในแต่ละตัวแปรที่ศึกษาทั้ง 7 ตัวแปรซึ่งทดลองแบบเดียวกับ weld line โดยการทดลองของชิ้นงานที่ 1 element ที่ทำการศึกษาคือ element ที่ 18449เ พียง element เดียวเท่านั้นเนื่องจาก element อื่นๆในแนวการเกิด sink mark จะมีค่าเท่ากัน โดยผลการทดลองเป็นดังนี้

รูปที่5.125 แสดงตำแหน่งที่เกิด Sink mark

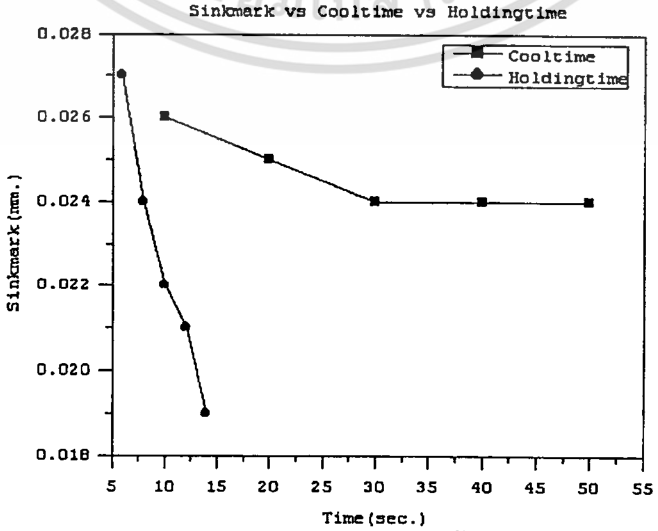
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่5.126 แสดงค่าการเกิด Sink markของความดันเติมเต็มและความดันย้ำ



รูปที่5.127 แสดงค่าการเกิด Sink mark ของอุณหภูมิหล่อเย็น อุณหภูมิพลาสติกเหลวและอุณหภูมิแม่พิมพ์

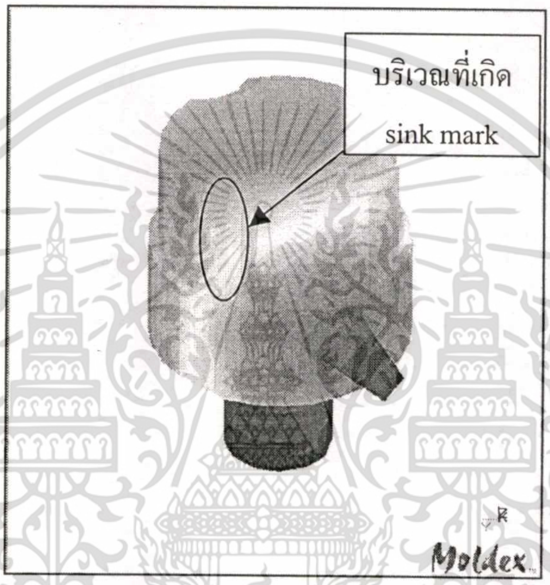


รูปที่5.128 แสดงค่าการเกิด Sink markของเวลาหล่อเย็นและเวลาการฉีดย้ำ

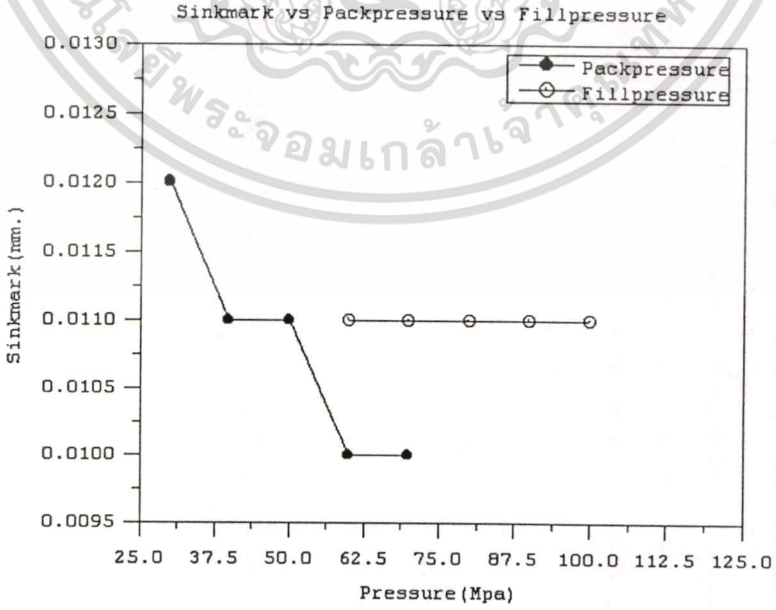
เอกสารนี้เป็นของมหาวิทยาลัยที่ได้รับอนุญาตให้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.2 ผลการทดลองชิ้นงานที่3(Sink mark)

เนื่องจากการเกิด Sink mark เป็นการเกิดจากการหดตัวของelement ไม่ได้เกิดแบบ node ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์เป็นแบบ element โดยเราวิเคราะห์ในส่วนของ element ที่เกิด Sink mark ตลอดแนวเพื่อดูค่าต่างๆที่เกิดขึ้น โดยแนวทางการศึกษาจะเป็นแบบเดียวกับ Weld line เพียงแต่จะวิเคราะห์เป็น element ไม่ใช่แบบ node เราจะดูค่าการเกิด Sink markในแต่ละ Element ในแต่ละตัวแปรที่ศึกษาทั้ง 7 ตัวแปรซึ่งทดลองแบบเดียวกับ Weld line โดยการทดลองของชิ้นงานที่ 3 element ที่ทำการศึกษาคือ element ที่ 642 เพียง element เดียวเท่านั้นเนื่องจาก element อื่นๆในแนวการเกิด Sink mark จะมีค่าเท่ากัน โดยผลการทดลองเป็นดังนี้

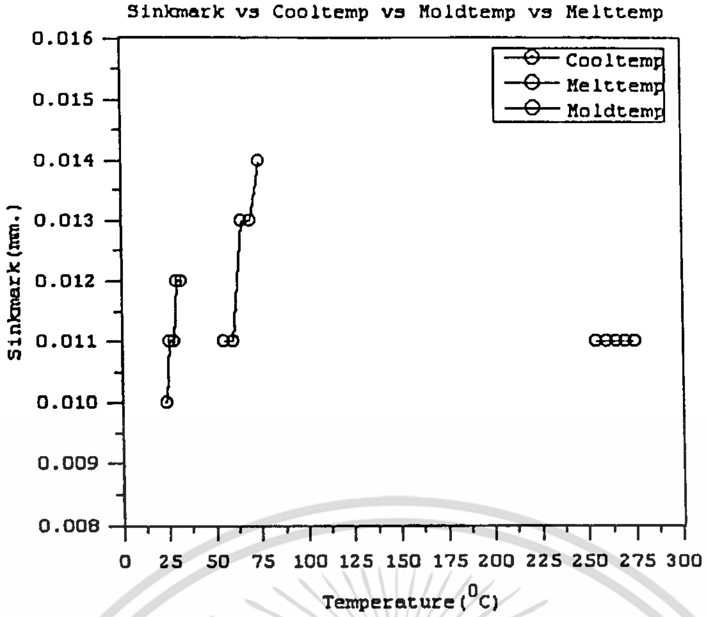


รูปที่5.129 แสดงตำแหน่งที่เกิด Sink mark

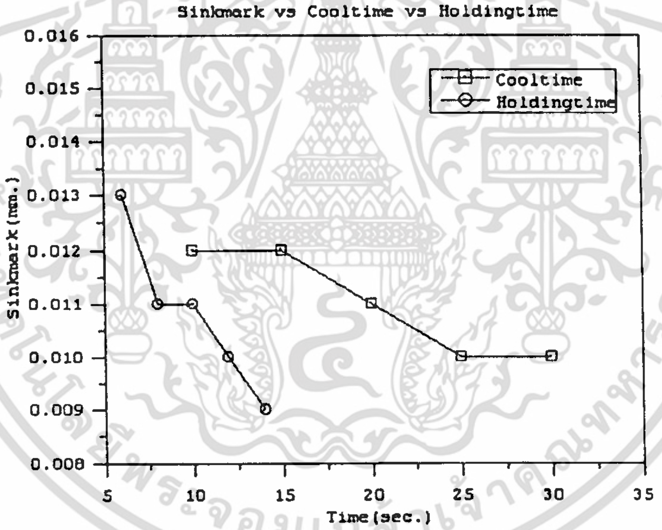


รูปที่5.130 แสดงค่าการเกิด Sink mark ของความดันเติมเต็มและความดันย้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่5.131 แสดงค่าการเกิด Sink mark ของอุณหภูมิหล่อเย็น อุณหภูมิพลาสติกเหลวและอุณหภูมิแม่พิมพ์



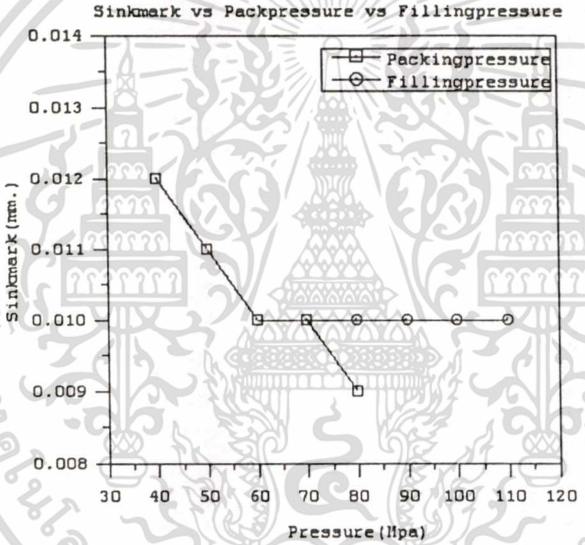
รูปที่5.132 แสดงค่าการเกิด Sink markของเวลาหล่อเย็นและเวลาการฉีดย้ำ

5.6.3 ผลการทดลองชิ้นงานที่4(Sink mark)

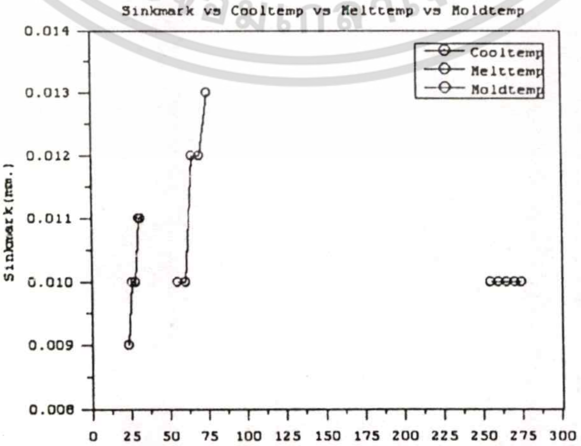
เนื่องจากการเกิด Sink mark เป็นการเกิดจากการหดตัวของelement ไม่ได้เกิดแบบ node ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์เป็นแบบ element โดยเราวิเคราะห์ในส่วนของ element ที่เกิด Sink mark ตลอดแนวเพื่อดูค่าต่างๆที่เกิดขึ้น โดยแนวทางการศึกษาจะเป็นแบบเดียวกับ Weld line เพียงแต่จะวิเคราะห์เป็น element ไม่ใช่แบบ node เราจะดูค่าการเกิด Sink markในแต่ละ Element ในแต่ละตัวแปรที่ศึกษาทั้ง 7 ตัวแปรซึ่งทดลองแบบเดียวกับ Weld line โดยการทดลองของชิ้นงานที่ 4 element ที่ทำการศึกษาคือ element ที่ 1624 เพียง element เดียวเท่านั้นเนื่องจาก element อื่นๆในแนวการเกิด Sink mark จะมีค่าเท่ากัน โดยผลการทดลองเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่5.133 แสดงตำแหน่งที่เกิด Sink mark

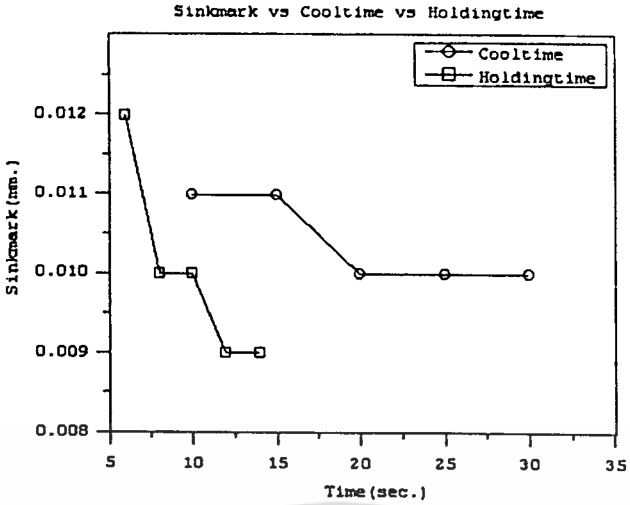


รูปที่5.134 แสดงค่าการเกิด Sink markของความดันเติมเต็มและความดันย้ำ



รูปที่5.135 แสดงค่าการเกิด Sink mark ของอุณหภูมิหล่อเย็น อุณหภูมิพลาสติกเหลวและอุณหภูมิแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่5.136 แสดงค่าการเกิด Sink mark**ของเวลาหล่อเย็นและเวลาการฉีดย้ำ**

5.7การวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.7.1 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ทำให้เกิด Weld lineจากผลการทดลอง

ในการศึกษาปัญหาการเกิด Weld line ของชิ้นงานที่1,2,3และ4โดยparameterที่ทำการศึกษา ได้แก่อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ ความดันฉีด ความดันย้ำ อุณหภูมิของการหล่อเย็น เวลาของการหล่อเย็นและเวลาของการฉีดย้ำ ซึ่ง Weld line จะเกิดจากผลกระทบของอุณหภูมิและความเร็วโดยการเกิด Weld line ในชิ้นงานที่1และ2 สามารถอธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้ความหนืดต่ำและทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้น โดยที่ด้านหน้าของ insert ความเร็วจะค่อยๆลดลง โดยเฉพาะบริเวณใกล้กับ insert ความเร็วจะต่ำเนื่องจากมีการนำความร้อนทำให้อุณหภูมิลดลงทำให้ความหนืดสูง น้ำพลาสติกเหลวบางส่วนเมื่อไหลแล้วเกิดการขวางของ insert ก็จะไหลอ้อมไปทำให้ความเร็วด้านข้างของ insert สูงขึ้นเนื่องจากมีพื้นที่น้อยกว่า เมื่อน้ำพลาสติกเหลวไหลผ่าน insert มาบริเวณด้านหลังใกล้กับ insert จะมีความเร็วและอุณหภูมิต่ำทำให้บริเวณนี้เกิด Weld line แต่จะค่อยๆหายไปเมื่อห่างจาก insert ในส่วนของชิ้นงานที่ 3 และ 4 สามารถอธิบายได้ว่าน้ำพลาสติกเหลวที่ถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์และจะมีการสูญเสียความร้อนให้กับ insert 2 ตัวซึ่งเป็นแกนของชิ้นงานก่อนที่จะไหลผ่านบริเวณที่เกิด Weld line แม้ว่าจะเปลี่ยนแปลงค่าparameter ต่างๆ Weld line ก็ยังเกิดขึ้นบริเวณเดิมและมีอุณหภูมิสูงที่สุดอยู่ที่ประมาณ 208^{0}Cซึ่งอุณหภูมิที่น้ำพลาสติกเริ่มแข็งตัวจะอยู่ที่ 230^{0}C ดังนั้นบริเวณนี้ปัญหา Weld line ไม่สามารถแก้ไขได้ และได้ทำการศึกษา parameter ต่างๆโดยการ plot graph อุณหภูมิกับระยะทาง และ ความเร็วกับระยะทาง จากกราฟที่ได้จากการทดลองในแต่ละparameter สามารถอธิบายได้ดังนี้

5.7.1.1 อุณหภูมิของการหล่อเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 5.48, 5.49, 5.64, 5.65, 5.78, 5.79, 5.95, 5.96, 5.112และ5.113พบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า parameter ต่างๆ กราฟของอุณหภูมิและความเร็วของการศึกษาอุณหภูมิของการหล่อเย็นจะไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งกล่าวได้ว่าอุณหภูมิของการหล่อเย็นไม่มีผลกับอุณหภูมิและความเร็ว ในส่วนของการวิเคราะห์สามารถกล่าวได้ว่าอุณหภูมิของการหล่อเย็นจะใช้ในช่วงการ Cooling หลังสภาวะการ packing ซึ่งไม่มีผลกับช่วงการ Filling ซึ่งเป็นช่วงที่เกิด Weld line ดังนั้นอุณหภูมิของการหล่อเย็นจึงไม่มีผลกับการเกิด Weld line

5.7.1.2 เวลาของการหล่อเย็น

จากกราฟรูปที่ 5.50, 5.51, 5.66, 5.67, 5.80, 5.81, 5.97, 5.98, 5.114และ5.115 พบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า parameter ต่างๆ กราฟของอุณหภูมิและความเร็วของการศึกษาเวลาการหล่อเย็นจะไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งกล่าวได้ว่าเวลาของการหล่อเย็นไม่มีผลกับอุณหภูมิและความเร็ว และจากการวิเคราะห์สามารถกล่าวได้ว่าเวลาของการหล่อเย็นเป็นค่าที่สัมพันธ์ในช่วงการ Cooling ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับช่วง Filling ดังนั้นอุณหภูมิของการหล่อเย็นจึงไม่มีผลกับการเกิด Weld line

5.7.1.3 เวลาในการฉีดย้ำ

จากกราฟรูปที่ 5.52, 5.53, 5.68, 5.69, 5.82, 5.83, 5.99, 5.100, 5.116และ5.117 พบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า parameter ต่างๆ กราฟของอุณหภูมิและความเร็วของการศึกษาเวลาในการฉีดย้ำจะไม่แตกต่างกันมากนักซึ่งกล่าวได้ว่าเวลาในการฉีดย้ำไม่มีผลกับอุณหภูมิและความเร็ว และจากการวิเคราะห์สามารถกล่าวได้ว่าเวลาของการฉีดย้ำจะเกิดในช่วงการ packing เพื่อให้ชิ้นงานมีการหดตัวน้อยและพลาสติกเหลวไหลเต็มแม่พิมพ์ ดังนั้นเวลาในการฉีดย้ำจะไม่มีผลกับการเกิด Weld line

5.7.1.4 อุณหภูมิพลาสติกเหลว

จากกราฟรูปที่ 5.54, 5.55, 5.70, 5.71, 5.84, 5.85, 5.101, 5.102, 5.118และ5.119 พบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า parameter ต่างๆ กราฟของอุณหภูมิและความเร็วของการศึกษาอุณหภูมิพลาสติกเหลวจะแตกต่างกันในแต่ละ parameter ซึ่งกล่าวได้ว่าอุณหภูมิพลาสติกเหลวจะมีผลกับอุณหภูมิและความเร็ว นั่นคืออุณหภูมิพลาสติกเหลวจะค่อยๆลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่ออุณหภูมิลดลงจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและความเร็วจะลดลงตามไปด้วย และสามารถกล่าวได้ว่าอุณหภูมิพลาสติกเหลวจะมีผลกับการเกิด Weld line

5.7.1.5 อุณหภูมิแม่พิมพ์

จากกราฟรูปที่ 5.56, 5.57, 5.72, 5.73, 5.86, 5.87, 5.103, 5.104, 5.120และ5.121 พบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า parameter ต่างๆ กราฟของอุณหภูมิและความเร็วของการศึกษาอุณหภูมิแม่พิมพ์จะแตกต่างกันในแต่ละ parameter ซึ่งกล่าวได้ว่าอุณหภูมิแม่พิมพ์จะมีผลกับอุณหภูมิและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วนั่นคืออุณหภูมิแม่พิมพ์สูงมีผลให้น้ำพลาสติกเหลวมีความหนืดต่ำทำให้มีความเร็วสูง ในขณะที่อุณหภูมิแม่พิมพ์ต่ำมีผลให้น้ำพลาสติกเหลวมีความหนืดสูงทำให้มีความเร็วต่ำ และสามารถกล่าวได้ว่าอุณหภูมิแม่พิมพ์จะมีผลกับการเกิด Weld line

5.7.1.6 ความดันย้ำ

จากกราฟรูปที่ 5.58, 5.59, 5.74, 5.75, 5.88, 5.89, 5.105, 5.106, 5.122และ5.123 พบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า parameter ต่างๆ กราฟของอุณหภูมิและความเร็วของการศึกษาความดันย้ำจะไม่แตกต่างกันมากนักซึ่งกล่าวได้ว่าเวลาในการฉีดย้ำไม่มีผลกับอุณหภูมิและความเร็ว และจากการวิเคราะห์สามารถกล่าวได้ว่าความดันย้ำจะเกิดในช่วงการ packing เพื่อให้ชิ้นงานมีการหดตัวน้อยและพลาสติกเหลวไหลเต็มแม่พิมพ์ ดังนั้นเวลาในการฉีดย้ำจะไม่มีผลกับการเกิด Weld line

5.7.1.7 ความดันฉีด

จากกราฟรูปที่ 5.59, 5.60, 5.76, 5.77, 5.90, 5.91, 5.107, 5.108, 5.124และ5.125 พบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า parameter ต่างๆ กราฟของอุณหภูมิและความเร็วของการศึกษาความดันฉีดจะแตกต่างกันแต่ไม่มากนักซึ่งกล่าวได้ว่าความดันฉีดมีผลกับอุณหภูมิและความเร็วแต่มีผลไม่มากนัก และจากการวิเคราะห์สามารถกล่าวได้ว่าความดันฉีดจะเกิดในช่วงการ Filling ซึ่งเป็นช่วงของการฉีดพลาสติกเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ ซึ่งถ้าความดันฉีดเปลี่ยนไปความเร็วของน้ำพลาสติกเหลวก็จะเปลี่ยนแปลง ดังนั้นความดันฉีดจะมีผลกับการเกิด Weld line แต่มีผลไม่มากนัก

จากการวิเคราะห์ parameter ต่างๆที่ได้ทำการศึกษาสามารถกล่าวได้ว่า อุณหภูมิพลาสติกเหลวและอุณหภูมิแม่พิมพ์เป็นปัจจัยสำคัญทำให้เกิด Weld line โดยลักษณะการเกิดจะเป็นไปดังที่ได้กล่าวไว้

5.7.2 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ทำให้เกิด Sink mark จากผลการทดลอง

การศึกษา Sink mark นั้น parameter ที่ศึกษาจะเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับ Weld line แต่ Sink mark จะศึกษาแบบ element ซึ่งไม่สามารถระบุลักษณะการเกิดได้(เป็นข้อจำกัดของโปรแกรมซึ่งไม่สามารถมองเห็นลักษณะการเกิดในสภาวะ packing และ cooling แต่สามารถมองเห็นการไหลของน้ำพลาสติกเหลวในสภาวะ filling) แต่จากการวิเคราะห์และศึกษาโดยการ plot graph สามารถระบุ parameter ที่มีผลกับ Sink mark ได้ดังนี้

จากการรูปที่5.126 – 5.137 จะเห็นว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าของอุณหภูมิพลาสติกเหลวและความดันฉีด การเกิด Sink mark จะไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเนื่องจากตัวแปรทั้งสองจะมีผลกับสภาวะ filling เท่านั้น แต่การเกิด Sink mark จะเกิดในช่วงการ packing และ cooling ซึ่งparameter ที่มีผลกับสภาวะดังกล่าวคืออุณหภูมิของแม่พิมพ์ เวลาของการหล่อเย็น เวลาการฉีดย้ำ ความดันย้ำและอุณหภูมิของการหล่อเย็น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ โดยอุณหภูมิของแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิของการหล่อเย็นเพิ่มขึ้น Sink mark จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแม่พิมพ์กับพลาสติกเหลวน้อย (อุณหภูมิแม่พิมพ์และอุณหภูมิหล่อเย็นสูง) ทำให้การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของชิ้นงานน้อย ทำให้การเกิด Sink mark มากขึ้น ในทางกลับกันถ้าการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแม่พิมพ์กับพลาสติกเหลวมาก (อุณหภูมิแม่พิมพ์และอุณหภูมิหล่อเย็นต่ำ) ทำให้การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของชิ้นงานมาก ทำให้การเกิด Sink mark ลดลง ในขณะที่ความดันย้ำ เวลาการฉีดย้ำและเวลาหล่อเย็นเพิ่มขึ้น Sink mark จะลดลง โดยความดันย้ำและเวลาฉีดย้ำเพิ่มขึ้นจะเป็นการเพิ่มความหนาแน่นให้กับชิ้นงานพลาสติกในแม่พิมพ์ทำให้การเกิด Sink mark ลดลง ส่วนเวลาในการหล่อเย็นเพิ่มขึ้นจะเป็นการเพิ่มเวลาในการหล่อเย็นชิ้นงานให้นานขึ้น ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนของพลาสติกเหลวกับแม่พิมพ์นานขึ้น ทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มขึ้นการเกิด Sink mark จะลดลง เพราะฉะนั้นสรุปได้ว่า อุณหภูมิของแม่พิมพ์ เวลาของการหล่อเย็น เวลาการฉีดย้ำ ความดันย้ำอุณหภูมิของการหล่อเย็นเป็นปัจจัยสำคัญทำให้เกิด Sink mark

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาและทดลองถึงพารามิเตอร์ต่างๆที่ทำให้เกิด Weld line และ Sink mark ของชิ้นงานทั้ง 4 ชิ้นได้พบถึงพารามิเตอร์ที่ทำให้การเกิดปัญหา Weld line และ Sink mark ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่5 หลังจากนั้นได้ทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของชิ้นงานในแต่ละชิ้นที่แก้ไขปัญหาได้ โดยปัญหา Weld line จะหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเฉพาะในชิ้นงานที่ 1 และ 2 เนื่องจากตำแหน่งของ Weld line ในชิ้นงานที่ 3 และ 4 จะมีอุณหภูมิสูงที่สุดเพียง 208 ^{0}C แม้จะเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์แล้วก็ตาม แต่จุด melting point ของพลาสติกที่ใช้ทดลองอยู่ที่ 230 ^{0}C ดังนั้นการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะต้องได้ค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งการเกิด Weld line มากกว่า 230^{0}C โดยการหาค่าพารามิเตอร์จะหาจากช่วงของพารามิเตอร์ที่ได้ทำการศึกษาและทดลองไปจากบทที่ 5 ส่วนปัญหาการเกิด Sink mark จะหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในชิ้นงานที่เกิด Sink mark คือ ชิ้นงานที่ 1, 3, และ4 ซึ่งการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะหาโดยอ้างอิงผลจากการทดลองที่ได้ในบทที่ 5 ซึ่งผลของการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในชิ้นงานต่างๆเป็นดังนี้

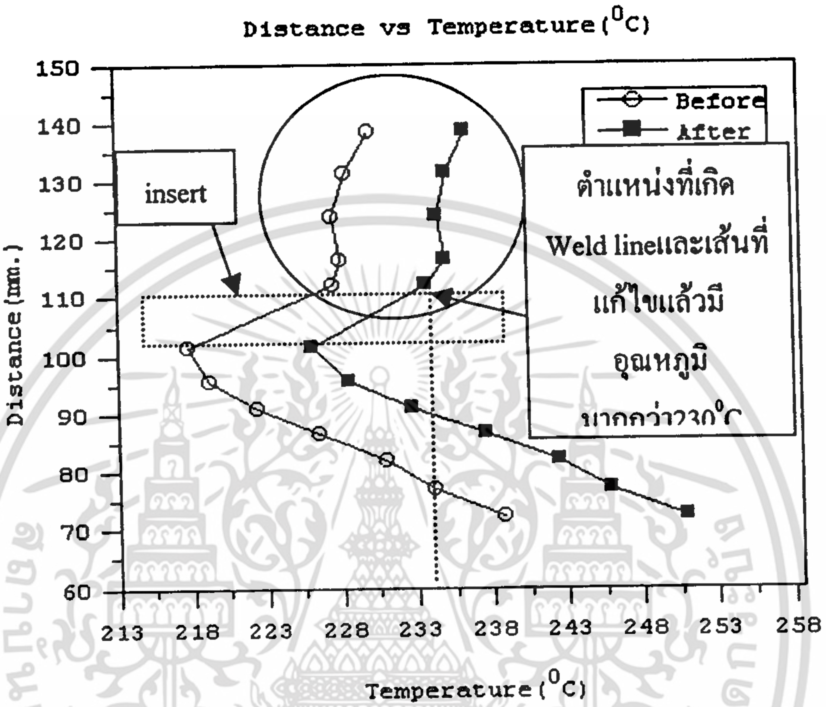
ตารางที่6.1แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดปัญหาและพารามิเตอร์ที่แก้ไขปัญหาแล้วของชิ้นงานที่1

พารามิเตอร์ที่ศึกษา	ค่ากำหนด (ค่าที่ทำให้เกิดปัญหา)	ค่าที่แก้ไข (simulation)	ค่าที่แก้ไข (ฉีดจริง)
อุณหภูมิพลาสติกเหลว T_t	260 ^{o}C	270 ^{o}C	270 ^{o}C
อุณหภูมิแม่พิมพ์ T_m	60 ^{o}C	70 ^{o}C	65 ^{o}C
ความดันในการฉีด(Filling) P_f	200 MPa	200 MPa	210 MPa
ความดันย้ำ(Packing) P_p	120 MPa	140 MPa	140 MPa
อุณหภูมิหล่อเย็น T_c	28 ^{o}C	28 ^{o}C	28 ^{o}C
เวลาในการหล่อเย็น t_c	40 Sec	30 Sec	30 Sec
เวลาในการฉีดย้ำ t_h	8 Sec	14 Sec	14 Sec

ในชิ้นงานที่1เกิดปัญหา Weld line และ Sink mark ดังนั้น พารามิเตอร์ที่แก้ไขจะต้องแก้ไขปัญหาได้ทั้ง 2 อย่างนั่นคือปัญหา Weld lineจะแก้ไขโดยการเปลี่ยนค่าอุณหภูมิพลาสติกเหลวและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิแม่พิมพ์ ซึ่งการแก้ไขปัญหาต้องได้ค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่เกิด Weld line มากกว่า230°C โดยค่าของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ศึกษาจนถึงตำแหน่งที่เกิด weld line เป็นดังรูปที่6.1 ส่วนปัญหาการเกิด Sink mark จะแก้ไขโดยการเปลี่ยนค่าอุณหภูมิแม่พิมพ์ ความดันย้ำ เวลาในการฉีดย้ำเวลาในการหล่อเย็นและอุณหภูมิหล่อเย็น ซึ่งค่าที่ทำให้เกิดปัญหามีค่า Sink mark เท่ากับ 0.022 mm. ส่วนค่าที่แก้ไขแล้วมีค่า Sink mark เท่ากับ 0.002 mm.



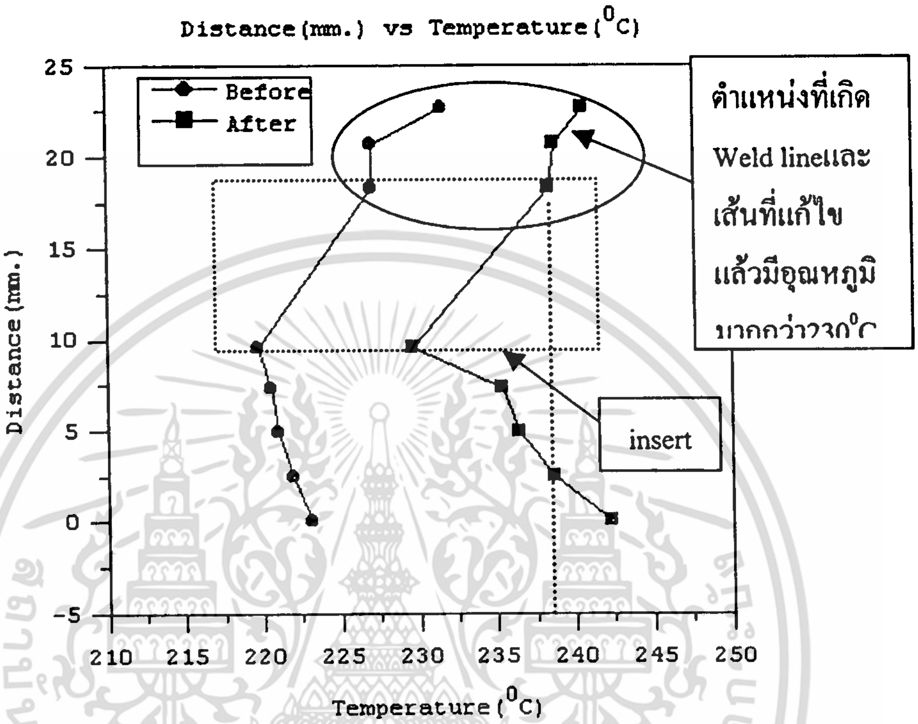
รูปที่6.1แสดงค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของค่าที่ทำให้เกิดปัญหาและค่าที่แก้ไขแล้ว

ตารางที่6.2แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดปัญหาและพารามิเตอร์ที่แก้ไขปัญหาแล้วของชิ้นงานที่2

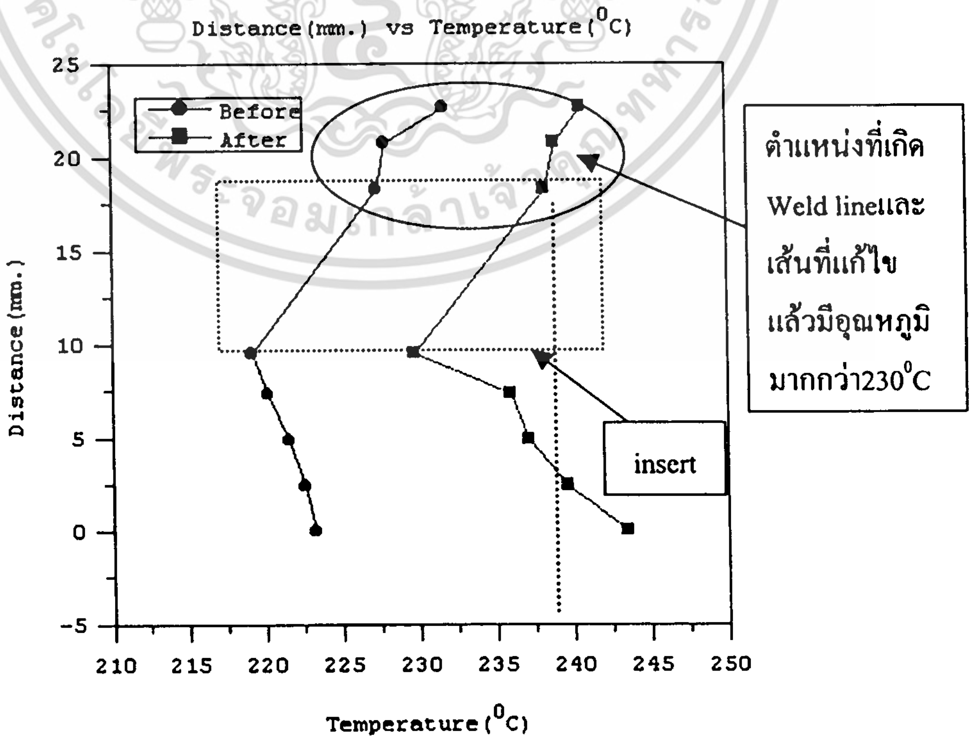
พารามิเตอร์ที่ศึกษา	ค่ากำหนด (ค่าที่ทำให้เกิดปัญหา)	ค่าที่แก้ไข (simulation)	ค่าที่แก้ไข (ฉีดจริง)
อุณหภูมิพลาสติกเหลว T_t	260 °C	270 °C	270 °C
อุณหภูมิแม่พิมพ์ T_m	60 °C	75 °C	70 °C
ความดันในการฉีด(Filling) P_f	120 MPa	120 MPa	130 MPa
ความดันย้ำ(Packing) P_p	90 MPa	80 MPa	90 MPa
อุณหภูมิหล่อเย็น T_c	28 °C	28 °C	28 °C
เวลาในการหล่อเย็น t_c	20 Sec	20 Sec	20 Sec
เวลาในการฉีดย้ำ t_h	8 Sec	8 Sec	8 Sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในชิ้นงานที่2 เกิดปัญหา Weld line ดังนั้น พารามิเตอร์ที่แก้ไขจะต้องแก้ไขปัญหาได้ นั่นคือ ปัญหา Weld lineจะแก้ไขโดยการเปลี่ยนค่าอุณหภูมิพลาสติกเหลวและอุณหภูมิแม่พิมพ์ ซึ่งการแก้ไขปัญหาต้องได้ค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่เกิด Weld line มากกว่า230°C โดยค่าของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ศึกษาจนถึงตำแหน่งที่เกิด Weld line เป็นดังรูปที่6.2 และ 6.3



รูปที่6.2แสดงค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของ ค่าที่ทำให้เกิดปัญหาและค่าที่แก้ไขแล้ว(ด้านซ้าย)



รูปที่6.3แสดงค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของ ค่าที่ทำให้เกิดปัญหาและค่าที่แก้ไขแล้ว(ด้านขวา)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่6.3แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดปัญหาและพารามิเตอร์ที่แก้ไขปัญหาแล้วของชิ้นงานที่3

พารามิเตอร์ที่ศึกษา	ค่ากำหนด (ค่าที่ทำให้เกิดปัญหา)	ค่าที่แก้ไข (simulation)	ค่าที่แก้ไข (ฉีดจริง)
อุณหภูมิพลาสติกเหลว T_t	260 °C	260 °C	260 °C
อุณหภูมิแม่พิมพ์ T_m	60 °C	60 °C	60 °C
ความดันในการฉีด(Filling) P_f	80 MPa	80 MPa	80 MPa
ความดันย้ำ(Packing) P_p	50 MPa	60 MPa	55 MPa
อุณหภูมิหล่อเย็น T_c	28 °C	28 °C	28 °C
เวลาในการหล่อเย็น t_c	20 Sec	25 Sec	20 Sec
เวลาในการฉีดย้ำ t_h	8 Sec	14 Sec	14 Sec

ปัญหาการเกิด Sink mark จะแก้ไขโดยการเปลี่ยนค่า ความดันย้ำ และ เวลาในการฉีดย้ำ ซึ่งค่าที่ทำให้เกิดปัญหามีค่า Sink mark เท่ากับ 0.011 mm. ส่วนค่าที่แก้ไขแล้วมีค่า Sink mark เท่ากับ 0.004 mm.

ตารางที่6.4แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดปัญหาและพารามิเตอร์ที่แก้ไขปัญหาแล้วของชิ้นงานที่4

พารามิเตอร์ที่ศึกษา	ค่ากำหนด (ค่าที่ทำให้เกิดปัญหา)	ค่าที่แก้ไข (simulation)	ค่าที่แก้ไข (ฉีดจริง)
อุณหภูมิพลาสติกเหลว T_t	260 °C	260 °C	260 °C
อุณหภูมิแม่พิมพ์ T_m	60 °C	60 °C	60 °C
ความดันในการฉีด(Filling) P_f	90 MPa	80 MPa	90 MPa
ความดันย้ำ(Packing) P_p	60 MPa	60 MPa	65 MPa
อุณหภูมิหล่อเย็น T_c	28 °C	28 °C	28 °C
เวลาในการหล่อเย็น t_c	20 Sec	30 Sec	20 Sec
เวลาในการฉีดย้ำ t_h	8 Sec	12 Sec	14 Sec

ปัญหาการเกิด Sink mark จะแก้ไขโดยการเปลี่ยนค่า เวลาในการฉีดย้ำและเวลาในการหล่อเย็น ซึ่งค่าที่ทำให้เกิดปัญหามีค่า Sink mark เท่ากับ 0.010 mm. ส่วนค่าที่แก้ไขแล้วมีค่า Sink mark เท่ากับ 0.003 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้ทำการศึกษาและแก้ไข ซึ่งสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นให้ดีขึ้นได้ จึงกล่าวได้ว่าโปรแกรม Moldex สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับแม่พิมพ์พลาสติกแบบฉีดได้จริง ซึ่งเป็นการลดต้นทุนและเวลาในการแก้ไขปัญหาในอุตสาหกรรมได้

ในการแก้ไขปัญหาของการเกิด Weld line และ Sink mark ในงานวิจัยฉบับนี้จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่เกิดปัญหานั้น ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นต้องดูความต้องการว่าเราต้องการจะแก้ไขปัญหาใดเป็นหลัก โดยในชิ้นงานที่ 1 เกิดปัญหาการเกิด Weld line และ Sink mark ขึ้นพร้อมกัน การแก้ไขปัญหา Sink mark เราต้องเพิ่มเวลาการฉีดย้ำและความดันย้ำ แต่อุณหภูมิแม่พิมพ์ อุณหภูมิหล่อเย็นและเวลาในการหล่อเย็นซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิด Sink mark จะไม่ทำการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ ยกเว้นอุณหภูมิแม่พิมพ์ เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์จะเป็นการแก้ไขปัญหาการเกิด Weld line และเป็นการเพิ่มการเกิด Sink mark ซึ่งปัญหาการเกิด Sink mark สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มเวลาการฉีดย้ำและความดันย้ำมาทดแทน ชิ้นงานที่ 2 การปัญหา Weld line เพียงอย่างเดียว สามารถแก้ไขปัญหาโดยการเพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์และอุณหภูมิพลาสติกเหลว ชิ้นงานที่ 3 และ 4 เกิดปัญหาการเกิด Weld line และ Sink mark ขึ้นพร้อมกันแต่Weld line ไม่สามารถแก้ไขได้และปัญหาการเกิด Sink mark จะแก้ไขโดยเพิ่มเวลาการฉีดย้ำและความดันย้ำ แต่อุณหภูมิแม่พิมพ์ อุณหภูมิหล่อเย็นและเวลาในการหล่อเย็นซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิด Sink mark จะไม่เปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ เนื่องจากพารามิเตอร์เหล่านี้เมื่อเพิ่มค่ามากขึ้นจะทำให้ processหนึ่งๆใช้เวลามากขึ้น ซึ่งจะทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นและเวลาในการฉีดต่อ 1 วัฏจักรมากขึ้น

ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า ในชิ้นงานรูปร่างอื่นๆ เมื่อเกิดปัญหา Weld line ขึ้นการแก้ไขปัญหาสามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิแม่พิมพ์และอุณหภูมิพลาสติกเหลว ซึ่งตำแหน่งที่เกิด Weld line จะต้องมีอุณหภูมิของน้ำพลาสติกเหลวสูงกว่าอุณหภูมิ Melting Point ของพลาสติกชนิดที่ใช้ฉีดชิ้นงาน ส่วนปัญหาการเกิด Sink mark จะแก้ไขโดยเพิ่มเวลาการฉีดย้ำและความดันย้ำ

6.2 ข้อเสนอแนะ

1.การเลือกชิ้นงานเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษา ควรเลือกชิ้นงานที่เกิดปัญหาจริงในอุตสาหกรรม

2.การทำ Meshing ของชิ้นงานควรกำหนดให้ขนาดในแต่ละ element มีขนาดใกล้เคียงกัน เพื่อความถูกต้องในการทดลองและจำนวนของการ meshing ควรเลือกค่าที่ละเอียดเพียงพอกับความถูกต้องที่ต้องการ

3.ก่อนทำการทดลองทุกครั้งควรใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่โปรแกรมต้องการให้ครบ โดยอ้างอิงความเป็นไปได้กับชิ้นงานจริง

4.การเลือกวัสดุที่ใช้ในการทำนายผลจากโปรแกรม ในฐานข้อมูลควรเลือกให้ตรงกับที่ใช้ในการทดลองจริงหรือให้มีคุณสมบัติของวัสดุให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.โปรแกรมที่นำมาใช้ในการทดลอง ควรมีการเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ทำการฉีดจริงเพื่อดูว่าโปรแกรมถูกต้องแค่ไหน เมื่อเทียบกับการฉีดจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] เมธี ใบงาม, 2543, "แบบจำลองการฉีดพลาสติกในสภาวะของเหลว", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14, 74 – 81.

[2] อกนิษฐ์ สอนตระกูล, 2544, " การจำลองการไหลและการถ่ายเทความร้อนสำหรับการทำนายการหดตัวและบิดงอของพลาสติกในแม่พิมพ์พลาสติกแบบฉีด", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[3] ภาศิษฏ์ ชูสุวรรณ, 2543, "การพัฒนาโปรแกรมสำหรับตรวจสอบการออกแบบระบบหล่อเย็นในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการบัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[4] วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม, 2540, **งานฉีดพลาสติก**, ซีเอ็ดยูเคชั่น, 47-52.

[5] ดำรง ไชยธีรานุวัฒศิริ, 2538, **การออกแบบแม่พิมพ์พลาสติก**, ซีเอ็ดยูเคชั่น, 77-120.

[6] รศ.แม้น อมรสิทธิ์ และ ดร.สมชัย อัครทิวา, 2541, **วัสดุวิศวกรรม**, แมคกรอ-ฮิล อินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพร์สอิงค์, 223-224.

[7] พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์, 2532, **พลาสติก**, พิมพ์ครั้งที่ 9, กรุงเทพมหานคร, มิตรนราการพิมพ์.

[8] ดร.พสุ โลหารชุน, 2534, **เทคโนโลยีแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและการออกแบบเชิงวิเคราะห์**, สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

[9] ชาลี ตระการกูล, 2537, **การออกแบบแม่พิมพ์พลาสติกฉีด2**, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.

[10] Mr.Jeffrey Diniger, 1994, "Three Critical Measurements on Injection Molding Processes", IEEE Journal, 51 – 56.

[11] K.Himasekhar, J.Lottey and K.K.Wang, 1992, " CAE of Mold Cooling in Injection Molding Using a Three Dimensional Numerical Simulation ", Journal of Engineering for Industry, Vol.114, 213-220.

[12] William S. Janna, 1993, **Introduction to fluid mechanics**, Third Edition, Boston:PWS Publishing.

[13] Frank M.White, 1986, **Fluid Mechanics**, McGraw – Hill, Inc New – York.

[14] John Scheirs, 2000, **Compositional and Failure Analysis**, John wiley & sons LTD.

[15] N.J.Mills, 1993, **Plastics Microstructure Properties and Applications**, ELBS, Second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Edition.

[16] John Couglin, April.1992, "Melt – temperature Detection Problems You May Not Know You Have", Modern Plastics Magazine, 101-105.

[17] J.-F H TU, D.M. GAO, A. GARCIA – REJON, and G.SALLOUM, Feb.1998, "3D Finite Element Method for the Simulation of the Filling Stage in injection molding", Journal of Polymer Engineering and Scince.

[18] Shin – Jung Liu, 2001, "Design of Experiments to Optimize the Weldline Strength in Injection Molded Thermoplastics ", ANTEC Papers.

[19] Linhuo Shi, Mahesh Gupta, Sep.1999, "A Localized Shrinkage Analysis for Predicting Sink Marks in Injection-Molded Plastic Parts", Journal of Injection Molding Technology.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการ
เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย
ครั้งที่ 16

14 – 16 ตุลาคม 2545

ณ โรงแรมกะตะบีชรีสอร์ท จังหวัดภูเก็ต

Mechanical Engineering Network of Thailand the 16th Conference

October 14 – 16, 2002

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

คำนำ vii
สารบัญ ix

ก. สาขา Thermal Systems and Fluid Mechanics

TF101 Determination of Heat Transfer Coefficient in Axisymmetric System by Inverse Method 1
Somchart Chantasiriwan

TF103 A New, Simple Methodology for the Derivation of the Governing Equations in Fluid Dynamics 5
Tawit Chitsomboon

TF105 Auto-ignition Feasibilities of Supersonic Liquid Diesel Fuel Jets 9
Kulachate Pianthong, Brian Milton and Musud Behnia

TF106 การจำลองคุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อขดเป็นวง 15
ไพศาล นาผล และ สมชาย วงศ์วิเศษ

TF107 Segregated Algorithm for Viscous Incompressible Thermal Flow Analysis Using Adaptive Equal-Order Triangular Finite Elements 21
Niphon Wansophark and Pramote Dechaumphai

TF108 Evaluation of Adaptive Delaunay Triangulation for Unsteady Inviscid High-Speed Compressible Flow Problems 27
Pramote Dechaumphai and Sutthisak Phongthanapanich

TF109 การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีกริดหลายระดับในการช่วยเร่งอัตราการลู่เข้าโดยการเฝ้าติดตามการเปลี่ยนแปลงความเร็ว u ในระหว่างรอบการคำนวณซ้ำ 33
สอาด สุลักษณ์ ชัยศิลป์ ชินพรเจริญพงศ์ และ จำลอง ลิ้มตระกูล

TF110 การศึกษาผลของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อขีดจำกัดสมรรถนะของท่อความร้อนแบบไหลกลับไปกลับมาชนิดปลายปิด 39
ถนัด เกษประดิษฐ์ ธีระพงษ์ ว่องรัตนะไพศาล ประดิษฐ์ เทอดทูล ภัทราพร กมลเพ็ชร และ อภิวันท์ พลชัย

TF111 Study of Non-Newtonian Mixing Characteristics by means of Residence Time Distribution Analysis 44
Vipa Jayranaiwachira

TF113 การศึกษาการแก้ไขปัญหาของการเกิด Weld line และ Sink mark ในการขึ้นรูปพลาสติกแบบฉีดโดยใช้โปรแกรม Moldex 49
สมัชชา โชคชัยวิวัฒน์ จารุวัตร เจริญสุข และ ยุทธนา ธนูศร

TF114 Evaluation of Multilevel Fast Adaptive Composite Grid Method for Transient Heat Transfer Problem 55
Varangrat Juntasaro and Vorapong Pongboonchu

TF117 การศึกษาผลจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของหัวฉีดที่มีต่อสมรรถนะของปั๊มน้ำแบบหัวฉีด 60
ปรีชา ขันธะ และ จำลอง ปราบแก้ว

TF118 การทำไบโอดีเซลจากไขมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด 66
กนกอร รจนากิจ พงษ์ศักดิ์ คำมูล และ จินดา เจริญพรพาณิชย์

TF119 Effects of Delta Tab on Temperature Distribution in Non-Zero Circulation Swirling Jet in Crossflow 72
Sidtipong Sathapornnanon and Asi Bunyajitradulya

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16
14 – 16 ตุลาคม 2545 จังหวัดภูเก็ต

การศึกษาการแก้ไขปัญหาของการเกิด Weld line และ Sink mark ในการขึ้นรูปพลาสติกแบบฉีดโดยใช้โปรแกรม Moldex

A study on the solution of weld line and sink mark problem in injection molding of plastic using Moldex

สมัชชา โชคชัยวิวัฒน์ และ จารุวัตร เจริญสุข
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถ.ฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์ 0-2326-4197 ต่อ 104 , โทรสาร 0-2326-9053 , E-mail : kcjarruw@kmitl.ac.th ,S_chokchaiwiwat@hotmail.com

ยุทธนา ธนูศร
บริษัท พรีเมียร์ ซีอี จำกัด 1/10 หมู่ 4 นิคมอุตสาหกรรมบางชัน ถ.เสรีไทย
แขวงคันนายาว เขตคันนายาว กรุงเทพฯ 10230
โทรศัพท์ 0-2517-1276-8 ต่อ 1815 ,โทรสาร 0-2518-1372 E-mail :Yutthana@pce.premier.co.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอ การประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Moldex) ในการจำลองการไหล และการกระจายตัวของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์พลาสติกแบบฉีด โดยศึกษาถึง parameter และปัญหาที่ทำให้เกิด Weld line (รอยประสาน) และ Sink mark (รอยยุบ) ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการไหลของพลาสติกเหลวที่เงื่อนไขต่างๆกันได้แก่ อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ ความดันฉีด ความดันย้ำ อุณหภูมิของการหล่อเย็นและเวลาของการหล่อเย็น ซึ่ง parameter เหล่านี้ที่ค่ากำหนดเป็นค่าที่ได้ทำการฉีดจริงแล้วเกิดปัญหา weld line และ sink mark โดยจากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิพลาสติกเหลวและอุณหภูมิแม่พิมพ์มีผลกับความเร็ว นั่นคือเมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้ความหนืดต่ำและทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นโดยที่ด้านหลังของ insert ความเร็วจะค่อยๆสูงขึ้น แต่บริเวณใกล้กับ insert ความเร็วจะลดลงเนื่องจากมีการนำความร้อนทำให้อุณหภูมิลดลงทำให้เกิด weld line โดยเฉพาะบริเวณใกล้กับ insert แต่จะค่อยๆหายไปเมื่อห่างจาก insert ความดันฉีดมีผลกับความเร็วของน้ำพลาสติกเหลวแต่จะไม่มีผลกับการหดตัว ความดันย้ำ อุณหภูมิของการหล่อเย็นและเวลาของการหล่อเย็นมีผลกับการหดตัวของชิ้นงานซึ่งส่งผลกับการเกิด sink mark แต่ยังไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าเกิดขึ้นในลักษณะใด ซึ่งจะทำการศึกษาต่อไป เมื่อศึกษาผลที่ได้จากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิของการหล่อเย็นและเวลาของการหล่อเย็นเป็นปัจจัยสำคัญทำให้เกิด Sink mark ส่วนอุณหภูมิพลาสติกเหลวและอุณหภูมิแม่พิมพ์เป็นปัจจัยสำคัญทำให้เกิด Weld line ในแม่พิมพ์

Abstract

This paper presents the use of Moldex to simulate flow of plastic in liquid stage on injection molding process. The parameters affecting weld line and sink mark were studied .The results obtained in this work show the characteristic of flow at different condition such as melt temperature, mold temperature , filling pressure , packing pressure , cooling temperature , and cooling time. These parameters set have actually result in weld line and sink mark problems in actual injection stage. From the results, it can be concluded that higher melting temperature give in to lower fluid viscosity and higher flow velocity behind an insert. However , a drop in velocity near the insert is observed where higher flow velocity is monitored further away from it. Lower velocity leads to a longer time delay of the melting front leading to larger less in heat content in liquid plastic near an insert. Injection pressure also plays the role in liquid velocity but does not affect to shrinkage. Packing pressure ,cooling temperature and cooling time relate to shrinkage of the product. These mechanisms are yet unidentified and subjected to further study and can be concluded that cooling temperature and cooling time are important factors in sink mark problem. Melting temperature and mold temperature are the factors that control the appearance of weld line in mold.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์พลาสติกมีบทบาทมากขึ้นในชีวิตประจำวัน โดยในอุตสาหกรรมได้ผลิตสินค้าที่เป็นพลาสติกออกมามากมายซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ต้องมีความเสียหายน้อยที่สุด ปัญหาส่วนหนึ่งที่เกิดกับผลิตภัณฑ์พลาสติกแบบฉีดคือ Weld line และ Sink mark โดยในงานวิจัยที่ได้นำเสนอนี้มุ่งเน้นเพื่อศึกษาและแก้ปัญหาการเกิด Weld line และ Sink mark ในชิ้นงานเครื่องทำน้ำอุ่น และพลาสติกที่ใช้คือ ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene) โดยจะมี parameter ควบคุมในการทดลองคืออุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ ความดันฉีด ความดันย้ำ อุณหภูมิของการหล่อเย็นและเวลาของการหล่อเย็น

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในส่วนของการ Simulation เพื่อศึกษาถึง parameter และปัญหาเบื้องต้นของ Weld line และ Sink mark โดยอ้างอิงข้อมูลจากการฉีดจริงเท่านั้น

วัตถุประสงค์

1.ศึกษา parameter และปัญหา โดย parameter ที่ศึกษาเกี่ยวข้องกับปัญหาการเกิด Weld line และ Sink mark ได้แก่ อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ ความดันฉีด ความดันย้ำ อุณหภูมิของการหล่อเย็นและเวลาของการหล่อเย็น

2. ขั้นตอนการวิจัยและศึกษา

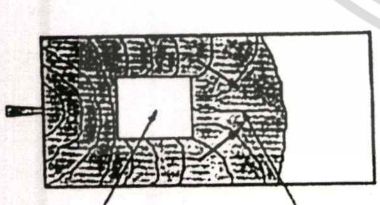
2.1ศึกษาถึงลักษณะและตัวแปรของปัญหาที่เกิดจากทฤษฎีและผลการทดลองที่สืบค้นได้ในวรรณกรรมปริทัศน์

2.2นำ Conditionต่างๆ ที่ได้จากการฉีดจริงมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Moldex

2.3นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาสรุปถึงลักษณะและตัวแปรของการเกิดปัญหาเพื่อหา Condition ที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

2.4นำค่า Condition ที่ได้ไปทำการฉีดจริงเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลอง

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 1 แสดงการเคลื่อนตัวของพลาสติกเหลวทำให้เกิด weld line

การเกิด Weld lineเนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลที่เรียงตัวขนานกับการไหล วิ่งมาบรรจบกันกับอีกด้านของการไหล (ดูรูปที่1) เมื่อพื้นผิวของพลาสติกเหลวทั้งสองด้านชนกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าอุณหภูมิที่มาบรรจบกันต่างกัน (เช่นเวลาที่ใช้และอุณหภูมิที่ชนต่างกัน) จะทำให้โครงสร้างของโมเลกุลของพลาสติกไม่แข็งแรง ที่ตำแหน่งพื้นผิวของพลาสติกเหลวมาบรรจบกัน ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวสามารถมองเห็นได้ด้วยตา โดยจะมีลักษณะเป็นเส้นเล็กๆซึ่งเราจะเรียกกันว่ารอยประสาน(Weld line)

"ในการแก้ไขปัญหา weld line อุณหภูมิของน้ำพลาสติกเหลวที่ด้านหลัง insert ต้องไม่ต่ำเกินไป โดยจะมีความสัมพันธ์ถึงความดันและความเร็วของน้ำพลาสติกด้วย"[1]

อุณหภูมิของแม่พิมพ์มีผลอย่างมากต่อคุณภาพของชิ้นงาน โดยอุณหภูมิของแม่พิมพ์สามารถควบคุมได้จากการหล่อเย็น ซึ่งระบบหล่อเย็นที่ดีจะต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์นั้น ผิวโพรงแม่พิมพ์จะได้รับความร้อนจากเนื้อพลาสติกเหลวอย่างเป็นวัฏจักร ถ้าผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำหล่อเย็นและผิวโพรงเพิ่มขึ้น การถ่ายเทความร้อนก็จะเพิ่มขึ้นด้วยความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิในวัฏจักรการฉีด[3]

ช่องว่างในแนวความหนาในแม่พิมพ์แบบฉีดมักเกิดจากผลกระทบจากการหดตัว การเติมที่ไม่เพียงพอใน cavity ของแม่พิมพ์ หรือ การหลอมเหลวที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันในกรณีเมื่อพลาสติกไม่เพียงพอ[12]

สาเหตุสำคัญของช่องว่างในแม่พิมพ์มักเกิดจากการออกแบบที่ไม่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งความหนาของขอบ ในส่วนของแม่พิมพ์แบบฉีดความหนาของขอบหรือความหนาของผนังเป็นส่วนที่แข็งตัวหลังสุดระหว่างการหล่อเย็นของแม่พิมพ์ ผลของการหล่อเย็นที่ไม่สม่ำเสมอช่องว่างสามารถเกิดขึ้นในส่วนของความหนา ถ้าช่องว่างนี้เกิดขึ้นใกล้กับผิวของแม่พิมพ์จะเป็นผลให้เกิด "sink mark"[12]

"อุณหภูมิน้ำพลาสติกเหลวเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลกับคุณสมบัติของวัสดุแบบ thermoplastic มันมีผลกับคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานที่ขึ้นรูปเสร็จเรียบร้อย"[14]

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีอยู่ในปัจจุบันได้แก่ งานวิจัยของ เมธี ใบงาม[1] ได้ศึกษาถึงปัญหา Weld line ในบางส่วนโดยทดลองเฉพาะปัญหาของการเกิด weld line ซึ่งสรุปผลออกมาได้ว่าการแก้ไขปัญหา weld line อุณหภูมิพลาสติกเหลวด้านหลัง insert ต้องไม่ต่ำเกินไปและได้แก้ไขปัญหาโดยเทียบการฉีดจริงกับการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ งานวิจัยของ Jeffrey Dininger [8] ได้ศึกษาถึงตัวแปรที่วิกฤตในขบวนการแม่พิมพ์แบบฉีดได้แก่ อุณหภูมิพลาสติกเหลว อัตราของการหล่อเย็นพลาสติกและส่วนของความชื้น งานวิจัยของ K.Himasekhar , J.Lottey และ K.K.Wang [9] ได้ศึกษาการวิเคราะห์การหล่อเย็นในแม่พิมพ์แบบฉีดโดยใช้การจำลองแบบ 3-D Numerical โดยได้แสดงถึงการออกแบบท่อหล่อเย็นโดยใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบและแสดงสมการที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาของการเกิด weld line และ sink mark สามารถสรุปสาเหตุและการแก้ไข โดยอ้างอิงจากตำราที่เกี่ยวข้อง[6] ซึ่งผู้เขียนได้ใช้ประสบการณ์จากการทำงานสรุปออกมาคือ ในส่วนของ weld line มักจะเกิดจากสาเหตุของความดันในการฉีด อุณหภูมิในการฉีดและอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ไม่เหมาะสม โดยวิธีการแก้ไขคือ ปรับค่าความดันในการฉีดอุณหภูมิในการฉีดและอุณหภูมิแม่พิมพ์ให้เหมาะสม ในส่วนของ sink mark มักจะเกิดจากสาเหตุของ อุณหภูมิของการหล่อเย็นและเวลาของการหล่อเย็นไม่เหมาะสม โดยวิธีการแก้ไขคือ ปรับค่าอุณหภูมิของการหล่อเย็นและเวลาของการหล่อเย็นให้เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา

เนื่องจากเราต้องการจะศึกษาว่าพารามิเตอร์ใดมีผลกับปัญหาใดอย่างไร จึงได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์เหล่านี้ โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ต่าง ๆเป็นค่าที่กำหนดและเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษาในแต่ละส่วน โดยมีทั้งหมด 5 ค่าที่แตกต่างกันในแต่ละพารามิเตอร์ที่ศึกษา ค่าที่ยังไม่ได้ศึกษาจะเป็นค่าที่กำหนด โดยตารางที่ทำการศึกษาเป็นดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำการฉีดจริงแล้วเกิดปัญหา

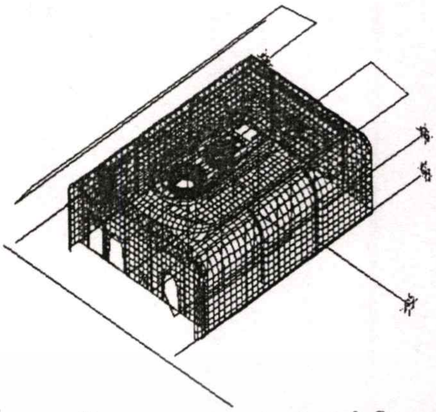
พารามิเตอร์ที่ศึกษา	ค่ากำหนด
อุณหภูมิพลาสติกเหลว T_t	260 °C
อุณหภูมิแม่พิมพ์ T_m	60 °C
ความดันในการฉีด(Filling) P_f	200 MPa
ความดันย้ำ(Packing) P_p	120 MPa
อุณหภูมิหล่อเย็น T_c	28 °C
เวลาในการหล่อเย็น t_c	40 Sec

ตารางที่ 2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่แปรผันเพื่อทำการศึกษา

ค่าที่ศึกษา	T_t	T_m	P_f	P_p	T_c	t_c
T_t	255 - 275	260	260	260	260	260
T_m	60	55-75	60	60	60	60
P_f	200	200	190 - 230	200	200	200
P_p	120	120	120	110 - 150	120	120
T_c	28	28	28	28	24-32	28
t_c	40	40	40	40	40	10-50

ซึ่งจากตารางที่ 2 เมื่อทำการทดลอง parameter ต่าง ๆออกมาทั้งหมดโดยแต่ละ parameter จะเปลี่ยนค่าที่ศึกษา 5 ค่า ซึ่ง parameter ที่ศึกษามี 6 parameter เพราะฉะนั้นจะได้กรณีที่ทำการศึกษาทั้งหมด 30 กรณี

5.ขั้นตอนในการขึ้นรูป Model เพื่อนำไปวิเคราะห์ใน Moldex



รูปที่ 2 แสดงลักษณะการวางของท่อหล่อเย็นในโปรแกรม Autocad

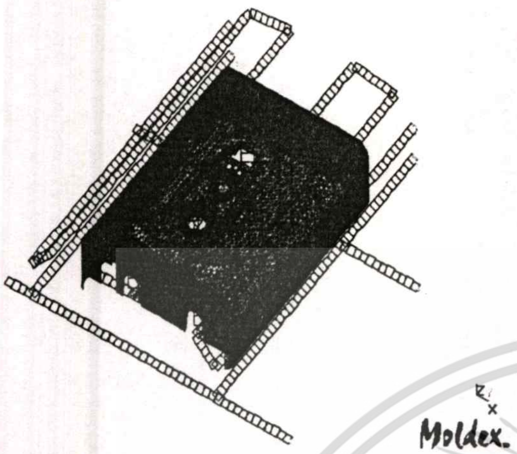
จากรูปที่ 2 ได้แสดงถึง model 3-D surface ที่ขึ้นรูปโดยโปรแกรม Autocad ซึ่งในการขึ้นรูปเราจะใช้คำสั่งของการขึ้นรูป surfaceใน Autocad เท่านั้น คือ Edgesurf และ 3D Face ซึ่งการขึ้นรูป surface เราจะต้องสร้างโครงลวดขึ้นมาเสียก่อน (wireframe) โดยเราจะเขียนโครงของชิ้นงานและใช้คำสั่งของ surface ช่วย หลังจากขึ้นรูป surface เสร็จแล้วจึงสร้างท่อหล่อเย็น ทางเข้าของน้ำหล่อเย็น gate cavity โดยกำหนดเป็น layerดังนี้

ตารางที่ 3 แสดง Layer Control ใน Autocad

Type	Element Type	Definition for layer name	color
POINT	Entrance Melt	EM$	Green
	Entrance Gas	EG$	Green
	Entrance coolant	EC$	Green
LINE	Runner Cold	RC$1000X RC$1000X	Red
	Runner Hot	RH$1000X RH$1000X	Red
	Channel Melt	CM$1000X CM$1000X	Red
	Channel Gas	CG$1000X CG$1000X	Red
	Channel Coolant	CC$1000X	Red
3D FACE	Face Cavity	FC$3000X FC$3000X	Not Define
	Face Base	FB$	Not Define

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

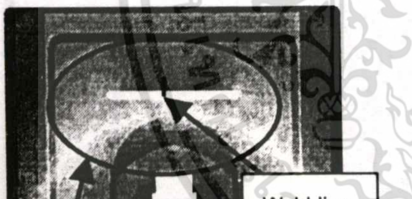
เมื่อกำหนดขนาดท่อต่างๆใน Autocad เรียบร้อยแล้วให้ save เป็นนามสกุล .dxf เพื่อจะทำการ import file ไปยังโปรแกรม moldex และทำการวิเคราะห์ต่อไป -



รูปที่ 3 แสดงmodel ที่ import เข้ามาใน Moldex

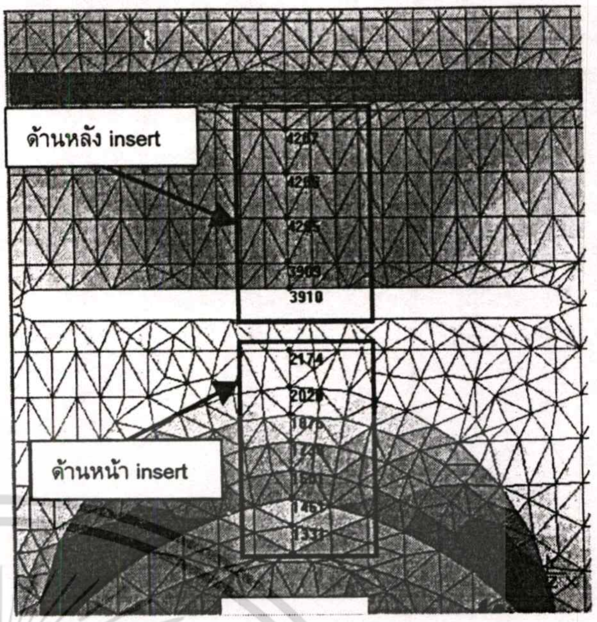
6.ผลจากการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ

ในส่วนที่ทำการศึกษาถึงปัญหาของ Weld line และ Sink markได้ศึกษาตัวแปรต่างๆดังนี้ อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ ความดันฉีด ความดันย้ำ อุณหภูมิของการหล่อเย็นและเวลาของการหล่อเย็น โดยช่วงที่ทำการศึกษาดูจากตารางที่ 2

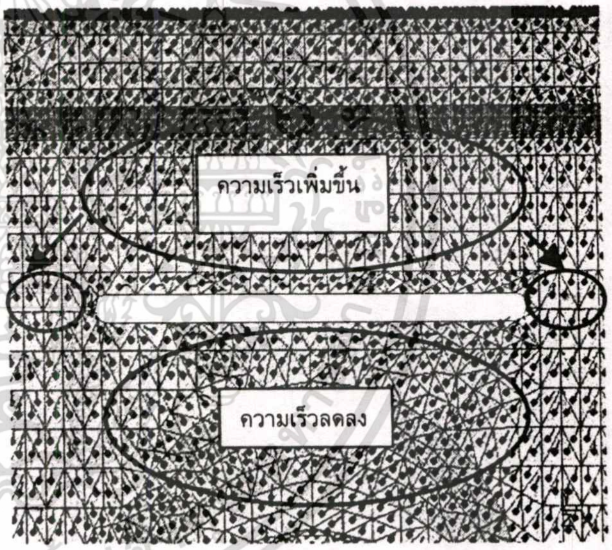


รูปที่ 4 แสดงภาพด้านบนของชิ้นงานและตำแหน่งการเกิด Weld line

ตำแหน่งที่ทำการศึกษาดูลักษณะของอุณหภูมิและความเร็วเพื่อศึกษาลักษณะการเกิด weld line ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5 โดยศึกษา ณ ตำแหน่งในแต่ละ node ตั้งแต่ตำแหน่งห่างจากจุดที่ทำการฉีดพลาสติกเท่ากับ 72.3875 mm. จนถึงด้านหลัง insert ซึ่งห่างจากจุดที่ทำการฉีดพลาสติกเท่ากับ 138.4999 mm. เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความเร็ว



รูปที่ 5 แสดงตำแหน่งของ node ต่างๆที่ศึกษา

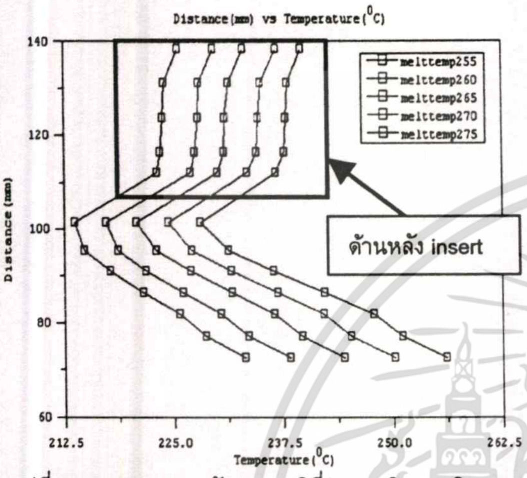


รูปที่ 6 แสดงลักษณะการศึกษาความเร็ว

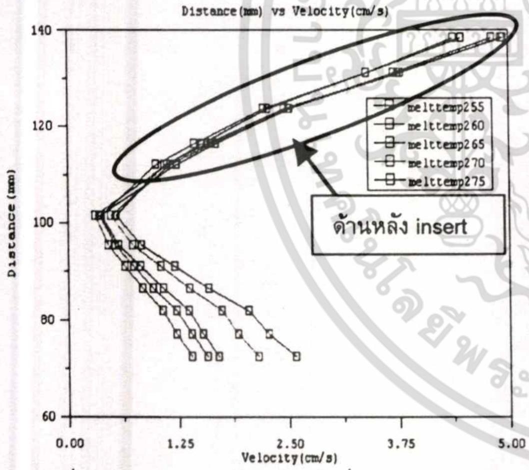
ซึ่งจากการศึกษาตัวแปรต่างๆโดยดูลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเร็วและอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ สามารถบอกได้ว่า อุณหภูมิของพลาสติกเหลวมีผลกับ Weld line มากที่สุดจากตัวแปรที่ศึกษาทั้งหมด โดยจากการศึกษาค่าของอุณหภูมิและความเร็วที่ตำแหน่งก่อน insert จะค่อยๆลดลงในแต่ละ node ในขณะที่ด้านหลัง insert จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเล็กน้อย(ดูรูปที่ 4,5 และ 6 ประกอบ) ซึ่งจากการวิเคราะห์ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความเร็วก่อนที่จะถึง insert จะมีตัว insert กั้นอยู่ทำให้ความเร็วลดลงพร้อมๆกับอุณหภูมิ แต่ด้านข้างของน้ำพลาสติกเหลวไม่ได้ผ่าน insert ด้านหน้าแต่จะไหลออกด้านข้างที่มีช่องแคบลงทำให้ความเร็วสูงขึ้นและอุณหภูมิก็ลดลงไม่มากหลังจากน้ำพลาสติกเหลวไหลผ่าน insert มาด้านหลัง โดยน้ำพลาสติกเหลวบริเวณที่อยู่ใกล้กับ insert จะถ่ายเทความร้อนไปให้กับ insert ทำให้อุณหภูมิลดลงและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อยๆเย็นตัวลงเกิดเป็น Weld line แต่จะไม่เกิดตลอดแนวเนื่องจากน้ำพลาสติกเหลวที่ไหลมาด้านข้างซึ่งมีความเร็วและอุณหภูมิที่สูงอยู่มารวมกับน้ำพลาสติกเหลวที่อยู่ด้านหลัง insert ทำให้อุณหภูมิและความเร็วค่อยๆสูงขึ้นเล็กน้อยทำให้ไม่เกิด weld lineตลอดแนว ซึ่งถ้าเราเพิ่มค่าของอุณหภูมิน้ำพลาสติกเหลว pressure อุณหภูมิแม่พิมพ์และความเร็วในการฉีด ก็จะสามารถลดการเกิด weld line ได้แต่ค่าที่ดีที่สุด ยังไม่สามารถหาได้ ซึ่งกราฟที่ทำการศึกษา สามารถดูได้จากรูปที่ 7 และ 8



รูปที่ 7 แสดงระยะทางกับอุณหภูมิที่อุณหภูมิพลาสติกเหลวต่างๆ



รูปที่ 8 แสดงระยะทางกับความเร็วที่อุณหภูมิพลาสติกเหลวต่างๆ

จากรูปที่ 7 จะเป็นการศึกษาอุณหภูมิกับระยะทางโดยให้แกน x แสดงอุณหภูมิและแกน y แสดงระยะทางเพื่อการเปรียบเทียบกับรูปที่ 5 และ 6 อย่างชัดเจน ซึ่งรูปที่7ได้แสดงให้เห็นถึงค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิก่อนและหลัง insert โดยก่อน insert อุณหภูมิจะค่อยๆลดลงและหลัง insert อุณหภูมิจะค่อยๆเพิ่มขึ้น โดยตัวแปรที่ศึกษาคืออุณหภูมิพลาสติกเหลวซึ่งเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรอื่นๆจึงได้นำมาเสนอในงานวิจัยฉบับนี้ ส่วนกราฟของตัวแปรอื่นๆไม่ได้นำเสนอเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

จากรูปที่ 8 จะเป็นการศึกษาความเร็วกับระยะทางโดยให้แกน x แสดงความเร็วและแกน y แสดงระยะทางเพื่อการเปรียบเทียบกับรูปที่ 5 และ 6 อย่างชัดเจน ซึ่งรูปที่ 8 ได้แสดงให้เห็นถึงค่าการเปลี่ยนแปลงของความเร็วก่อนและหลัง insert โดยก่อน insert ความเร็วจะค่อยๆลดลงและหลัง insert ความเร็วจะค่อยๆเพิ่มขึ้น โดยตัวแปรที่ศึกษาคืออุณหภูมิพลาสติกเหลวซึ่งเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรอื่นๆจึงได้นำมาเสนอในงานวิจัยฉบับนี้ ส่วนกราฟของตัวแปรอื่นๆไม่ได้นำเสนอเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

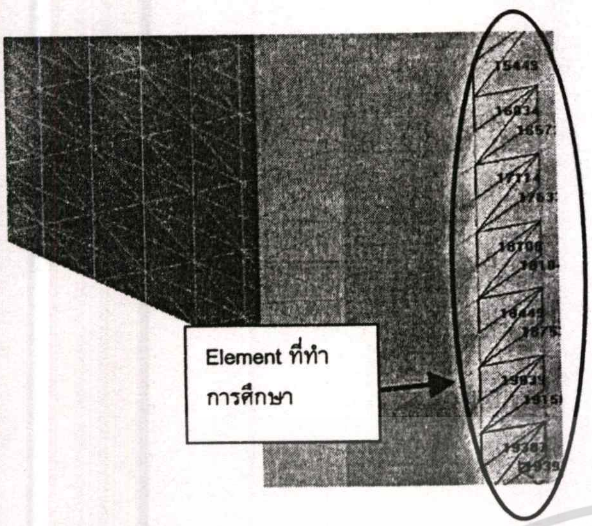
รูปที่ 9 แสดงตำแหน่งการเกิด sink mark

เนื่องจากการเกิด sink mark เป็นการเกิดจากการหดตัวของ element ไม่ได้เกิดแบบ node ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์เป็นแบบ element โดยเราวิเคราะห์ในส่วนของ element ที่เกิด sink mark ตลอดแนวเพื่อดูค่าต่างๆที่เกิดขึ้น โดยแนวทางการศึกษาจะเป็นแบบเดียวกับ Weld line เพียงแต่จะวิเคราะห์เป็น element ไม่ใช่แบบ node เราจะดูค่าการเกิด sink markในแต่ละ Element ในแต่ละตัวแปรที่ศึกษาทั้ง 6 ตัวแปร ซึ่งทดลองตามตารางที่ 2 จากตารางดังรูปที่ 10 ซึ่งจะดูค่าของ sink mark เท่านั้น โดยตารางนี้จะเป็นตัวอย่างหนึ่งของตารางที่ได้จากการทดลอง เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ปัญหา sink mark ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ออกมาสามารถระบุได้ว่า Sink mark ที่เกิดนั้น ตัวแปรที่มีผลมากคือ Cooling Time และ Cooling Temp แต่ยังไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าเกิดขึ้นในลักษณะใด ซึ่งจะทำการศึกษาต่อไป

Node data	Node [9304]	Node [9071]	Node [9078]	Node average	Unit
X	402.903	402.903	402.903	402.903	mm
Y	192.345	198.959	192.345	194.549	mm
Z	33.000	33.000	37.125	34.375	mm
Thickness	3.000	3.000	3.000	3.000	mm
XDisplacment	-1.413	-1.338	-1.411	-1.387	mm
YDisplacment	1.424	1.365	1.435	1.408	mm
ZDisplacment	0.610	0.596	0.570	0.592	mm
XTDisplacment	-0.008	-0.001	-0.008	-0.006	mm
YTDisplacment	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	mm
ZTDisplacment	0.009	0.009	0.009	0.009	mm
VolmShrinkage	2.990	2.735	2.780	2.835	%
SinkMark	0.024	0.022	0.027	0.024	mm

รูปที่ 10แสดงตารางค่าการเกิด sink mark

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 แสดง element ที่ศึกษา

7.สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องและปัญหาที่เกิดขึ้น ทำให้สามารถอธิบายการเกิด Weld line และ Sink mark ได้ ตลอดจนสามารถระบุได้ว่า อุณหภูมิพลาสติกเหลวและอุณหภูมิแม่พิมพ์เป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิด Weld line นั่นคือเมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้ความหนืดต่ำและทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นโดยที่ด้านหลังของ insert ความเร็วจะค่อยๆสูงขึ้น แต่บริเวณใกล้กับ insert ความเร็วจะลดลงเนื่องจากมีการนำความร้อนทำให้อุณหภูมิลดลงทำให้เกิด weld line โดยเฉพาะบริเวณใกล้กับ insert แต่จะค่อยๆหายไปเมื่อห่างจาก insert ส่วนอุณหภูมิของสารหล่อเย็นและเวลาในการหล่อเย็นเป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิด Sink mark แต่ยังไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าเกิดขึ้นในลักษณะใด ซึ่งจะทำการศึกษาต่อไป ซึ่งผลจากการศึกษาในส่วนนี้จะได้ทำการวิจัยหาค่าที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหา Weld line และ Sink mark โดยจะเปรียบเทียบค่าจากการ Moldex กับการฉีดจริงต่อไป

8.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ เมธี ใบงาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กับ คำแนะนำและโปรแกรม Moldex บิดามารดา และเพื่อนคู่ใจที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] เมธี ใบงาม, "แบบจำลองการฉีดพลาสติกในสภาวะของเหลว" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14, ปี2543,หน้า74 - 81

[2] วิโรจน์ เตชะวิญญธรรม, "งานฉีดพลาสติก",ซีเอ็ดยูเคชั่น,2540 หน้า47-52

[3] ดำรง ไชยธีรานุวัฒศิริ, "การออกแบบแม่พิมพ์พลาสติก", ซีเอ็ดยูเคชั่น,2538 ,หน้า 77-120

[4] รศ.แม้น อมรสิทธิ์ และ ดร.สมชัย อัครทิวา ,"วัสดุวิศวกรรม",แมคกรอ-ฮิล อินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพร์ส,อิงค์,2541,หน้า 223-224

[5] พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์, "พลาสติก",พิมพ์ครั้งที่ 9 ,กรุงเทพมหานคร: มิตรนราการพิมพ์,2532

[6] ดร.พสุ โลหารชุน ,"เทคโนโลยีแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและการออกแบบเชิงวิเคราะห์", สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม,2534

[7] ชาลี ตระการกูล ,"การออกแบบแม่พิมพ์พลาสติกฉีด2",สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น,2537

[8] Mr.Jeffrey Diniger ,"Three Critical Measurements on Injection Molding Processes" IEEE Journal , 1994 , pp.51 – 56

[9] K.Himasekhar , J.Lottey and K.K.Wang, " CAE of Mold Cooling in Injection Molding Using a Three Dimensional Numerical Simulation " , Journa lof Engineeringfor Industry, Vol.114 , 1992,pp.213-220

[10] William S. Janna ,"Introduction to fluid mechanics",Third Edition,Boston:PWS Publishing,1993

[11] Frank M.White, "Fluid Mechanics",McGraw – Hill,Inc New – York ,1986

[12] John Scheirs,"Compositional and Failure Analysis",John wiley & sons LTD.,2000

[13] N.J.Mills ,"Plastics Microstructure Properties and Applications",ELBS,Second Edition,1993

[14] John Couglin,"Melt – temperature Detection Problems You May Not Know You Have",Modern Plastics Magazine,pp101-105,April,1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISSN 0125-1724

วิศวสาร

ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 20 ฉบับที่ 3 กันยายน 2546

1. วงจรกำเนิดความถี่แบบเลื่อนเฟสโดยใช้เทคโนโลยีซีมอส 1

มนตรี คำเงิน กอบชัย เดชหาญ สมพงษ์ อารีย์ สุรพล บุญจันทร์

2. วงจรความต้านทานแบบบวกที่ควบคุมด้วยแรงดันโดยใช้มอสทรานซิสเตอร์ 6

สมนึก ห้าวหาญ กอบชัย เดชหาญ อิทธิพงศ์ ชัยสายัณห์

3. แอพพลิเคชั่นโปรแกรมโทรศัพท์และอินเตอร์เน็ตแบบโครงสร้างช่องสัญญาณ BAI บนโครงข่าย ISDN 12

ทวีพร เล็กชะอุ่ม กอบชัย เดชหาญ

4. การวิเคราะห์ระบบเครือข่ายท้องถิ่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ 18

สุพัตรา ทองเกษม กฤษณะพงศ์ พันธ์ศรี กอบชัย เดชหาญ นภัทร สระเอี่ยม

5. การศึกษาค่าลดทอนสัญญาณจากมุมอาคารในเส้นทางนอกระดับแนวสายตาของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (PCT) 24

อำนาจ ยิ้มสวัสดิ์ ไกรสิน ส่งวัฒนา พิเชฐ ม่วงนวล

6. การจัดกลุ่มเอกสารโดยใช้ Self-Organizing Map แบบความเร็วสูง 30

พรเทพ โรจนวสุ เอื้อน ปิ่นเงิน

7. การศึกษาเชิงทดลองเครื่องผลิตไฟฟ้าจากตะเกียงเทอร์โมอิเล็กตริก 36

เจริญพร เลิศสถิตธนกร ณัฐวุฒิ สุวรรณทา

8. การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม PSS/E เพื่อใช้วางแผนระยะสั้นในเขตนครหลวง 42

เชาวฤทธิ์ ธรรมเพียร มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

9. การตรวจจับและระบุตำแหน่งฟอลต์โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตและโครงข่ายประสาทเทียมชนิดจัดกลุ่มด้วยตนเอง 48

อรรถพล เง่าพิทักษ์กุล ศุลี บรรจงจิตร ฐิติพงษ์ นิยมสัตย์

10. การวิเคราะห์โหลดเกินในระบบไฟฟ้ากำลังโดยวิธีไลเนียเซนซิติวิตี้แฟกเตอร์แบบปรับปรุง 54

สิทธิเดช วชิราศรีศิริกุล ศิลป์ชัย พงษ์ประเสริฐ มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

11. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ให้ความร้อน 1-เฟส ด้วยวิธีการปรับจำนวนไซเคิลเต็มแบบดิจิตอล 60

รักศักดิ์ ยี่ร่อสา วิริยะ พิเชฐจำเริญ

12. การวิเคราะห์การใช้พลังงานของรถไฟฟ้า 66

สิปปภาส จารุวรรณชัย ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล

13. การประเมินความสามารถของผู้รับเหมา : มุมมองจากอุตสาหกรรมก่อสร้างในรัฐควีนแลนด์ 72

จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง

14. การศึกษาพฤติกรรมทางกลของเทปรัดกล่องสินค้าซึ่งทำจากเศษโพลิโพรพีลีน 78

วีรศักดิ์ หมู่เจริญ มิ่ง โลกิจแสงทอง ชวลิต แสงสวัสดิ์

15. ผลกระทบของ residence time ของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตต่อกระบวนการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 84

นิตินัย ปัญญ์บุศยกุล จารุวัตร เจริญสุข

16. อิทธิพลของเงื่อนไขการทำงานต่อการเกิดรอยประสานและรอยยุบในการขึ้นรูปพลาสติกแบบฉีด 90

วิษรสรรค์ โชคชัยวิวัฒน์ จารุวัตร เจริญสุข

17. คุณลักษณะของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาวอร์เทคแบบสองชั้น 96

ยิ่งยง แก้วก่อเกียรติ นิยม ศรีศิริสิทธิกุล พงษ์เจต พรหมวงศ์

18. สหสัมพันธ์ของหอเขย่า 102

เทอดไทย วัฒนธรรม ชื่นกมล ช้องเกี่ยวพันธ์

19. การศึกษาการไหลผ่านลิ้นหัวใจเทียมโดยเทคนิคการสังเกตการไหลจากเส้นควัน 108

สมิทธ์ เอี่ยมสอาด วิชาญ คงเกียรติไพบูลย์ นิยม ศรีศิริสิทธิกุล พงษ์เจต พรหมวงศ์

20. Periodic Performance of a Membrane Reactor for Methane Steam Reforming 114

Duangkamol Na-Ranong Takao Ohmori Takuji Yamamoto Akira Endo Takaji Akiya and Masaru Nakaiwa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลของเงื่อนไขการทำงานต่อการเกิดรอยประสานและรอยยุบในการขึ้นรูปพลาสติกแบบฉีด

EFFECT OF OPERATING CONDITIONS ON WELD LINE AND SINK MARK IN PLACTIC INJECTION MOLDING

วิบรสรรค์ โชคชัยวิวัฒน์ และ จารุวัตร เจริญสุข

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถ.ฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ 0-2326-4197 ต่อ 104 , โทรสาร 0-2326-9053 , E-mail : kcjarruw@kmitl.ac.th ,S_chokchaiwiwat@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอ การประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Moldex) ในการจำลองการไหล และการกระจายตัวของพลาสติกเหลว ในแม่พิมพ์พลาสติกแบบฉีด โดยศึกษาถึงพารามิเตอร์และปัญหาที่ทำให้เกิดรอยประสาน(Weld line) และรอยยุบ (Sink mark) ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการไหลของพลาสติกเหลวที่เงื่อนไขต่างๆกัน ได้แก่ อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ ความดันฉีด ความดันย้ำ อุณหภูมิของการหล่อเย็น เวลาของการหล่อเย็นและเวลาของการฉีดย้ำ ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้ที่ค่ากำหนดเป็นค่าที่ได้ทำการฉีดจริงแล้วเกิดปัญหารอยประสานและรอยยุบโดยจากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิพลาสติกเหลวและอุณหภูมิแม่พิมพ์มีผลกับความเร็ว นั่นคือเมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้ความหนืดต่ำและทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นโดยที่ด้านหลังของ insert ความเร็วจะค่อยๆสูงขึ้น แต่บริเวณใกล้กับ insert ความเร็วจะลดลงเนื่องจากมีการนำความร้อนทำให้อุณหภูมิลดลงทำให้เกิดรอยประสานโดยเฉพาะบริเวณใกล้กับ insert แต่จะค่อยๆหายไปเมื่อห่างจาก insert เวลาเชื่อมประสานล่าช้าทำให้เกิดการแข็งตัวก่อนการเชื่อมประสานจะชนกัน ความดันฉีดมีผลกับความเร็วของน้ำพลาสติกเหลวแต่จะไม่มีผลกับการหดตัว ความดันย้ำ อุณหภูมิของการหล่อเย็น เวลาของการหล่อเย็นและเวลาการฉีดย้ำมีผลกับการหดตัวของชิ้นงาน ซึ่งส่งผลกับการเกิดรอยยุบ เมื่อศึกษาผลที่ได้จากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิของการหล่อเย็น อุณหภูมิของแม่พิมพ์ เวลาของการหล่อเย็น เวลาการฉีดย้ำและความดันย้ำเป็นปัจจัยสำคัญทำให้เกิดรอยยุบ ส่วนอุณหภูมิพลาสติกเหลวและอุณหภูมิแม่พิมพ์เป็นปัจจัยสำคัญทำให้เกิดรอยประสานในชิ้นงาน

ABSTRACT

This paper presents the use of Moldex to simulate flow of plastic in liquid stage on injection molding process. The parameters affecting weld line and sink mark were studied. The results obtained in this work show the characteristic of flow at different condition such as melt temperature, mold temperature, filling pressure, packing pressure, cooling temperature, cooling time and holdingtime. These parameters set have actually result in weld line and sink mark problems in actual injection stage. From the results, it can be concluded that higher melting temperature result in lower fluid viscosity thus higher flow velocity behind

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

an insert. However, a drop in velocity near the insert is observed where higher flow velocity occurs further away from it. Lower velocity leads to a longer time delay of the melting fronts to fill up the cavity and this explain larger heat loss in liquid plastic near an insert. Injection pressure also plays the role in liquid velocity but does not affect to shrinkage. Packing pressure, cooling temperature, cooling time and holding time relate to shrinkage of the product. These mechanisms subjected to further study and can be concluded that cooling temperature, mold temperature, cooling time, holding time and packing pressure are important factors in sink mark problem. Melting temperature and mold temperature are the factors that control the appearance of weld line in part.

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ ผลิตภัณฑ์พลาสติกมีบทบาทมากขึ้นใน**ชีวิตประจำวัน** โดยในอุตสาหกรรมได้ผลิตสินค้าที่เป็นพลาสติกออกมามากมายซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ต้องมีความเสียหายน้อยที่สุด ปัญหาส่วนหนึ่งที่เกิดกับผลิตภัณฑ์พลาสติกแบบฉีดคือ รอยประสานและรอยยุบ โดยในงานวิจัยที่ได้นำเสนอนี้มุ่งเน้นเพื่อศึกษาและแก้ปัญหาการเกิด รอยประสานและรอยยุบ ในชิ้นงานเครื่องทำน้ำอุ่น และพลาสติกที่ใช้คือ ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) โดยจะมี พารามิเตอร์ ควบคุมในการทดลองคืออุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ ความดันฉีด ความดันย้ำ อุณหภูมิของการหล่อเย็น เวลาของการหล่อเย็น และเวลาของการฉีดย้ำ

ในงานวิจัยนี้ ได้นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในส่วนของการ Simulation เพื่อศึกษาถึง พารามิเตอร์ และปัญหาเบื้องต้นของ รอยประสานและรอยยุบ โดยข้อมูลจากการฉีดจริงและเนื้อหาจะต่อเนื่องโดยอ้างอิง[3]

1.1วัตถุประสงค์

1.1.1.ศึกษา พารามิเตอร์ และปัญหา โดย พารามิเตอร์ ที่ศึกษาเกี่ยวข้องกับปัญหาการเกิด รอยประสานและรอยยุบ ได้แก่ อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ ความดันฉีด ความดันย้ำ อุณหภูมิของการหล่อเย็น เวลาของการหล่อเย็น และเวลาของการฉีดย้ำ

1.1.2. หาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ทำการศึกษา ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาได้ในการฉีดชิ้นงาน

1.2ขอบเขตของโครงงาน

1.2.1 จำลองการไหลโดยการเปลี่ยนแปลงค่า พารามิเตอร์ต่างๆที่ศึกษาโดยใช้โปรแกรม Moldex

1.2.2 พลาสติกที่ใช้เป็นชนิด ABS (Acrylonitile Butadiene Styrene)

1.2.3 พิจารณาการไหลของของไหลเป็นแบบอัดตัวไม่ได้

1.2.4 ศึกษาและแก้ไขถึงปัญหาการเกิด รอยประสาน โดยศึกษาถึงลักษณะการเกิด (ช่วง filling) และพารามิเตอร์ต่างๆที่ศึกษาคือ อุณหภูมิพลาสติกเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ ความดันฉีด ความดันย้ำ อุณหภูมิของการหล่อเย็น เวลาของการหล่อเย็นและเวลาการฉีดย้ำ

1.2.5ศึกษาและแก้ไขถึงปัญหาการเกิด รอยยุบ โดยศึกษาในช่วงpacking และ cooling โดยพารามิเตอร์ต่างๆที่ศึกษาจะเป็นเหมือนรอยประสาน

2. วรรณกรรมปริทัศน์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีอยู่ในปัจจุบันได้แก่

2.1. งานวิจัยของ เมธี ใบงาม ศึกษาถึงปัญหารอยประสาน โดยทดลองเฉพาะปัญหาการเกิดรอยประสาน ซึ่งสรุปผลออกมาได้ว่าการแก้ไขปัญหารอยประสานอุณหภูมิพลาสติกเหลวด้านหลัง insert ต้องไม่ต่ำกว่าค่าMelting Point [1]

2.2.งานวิจัยของ อกนิษฐ์ สอนตระกูล ได้ศึกษาถึงพฤติกรรมของพลาสติก โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวและบิดงอในแม่พิมพ์พลาสติกแบบฉีด โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนท์ (Finite Element Method) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Mold Flow ซึ่งพบว่าความดันที่ใช้ในช่วงสภาวะการฉีดย้ำ (Packing Stage) จะมีผลกระทบมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับการหดตัว ขณะที่เวลาที่ใช้ในการฉีดย้ำจะส่งผลกระทบน้อย[2]

2.3.งานวิจัยของ K.Himasekhar , J.Lottey และ K.K.Wang ได้ศึกษาการวิเคราะห์การหล่อเย็นในแม่พิมพ์แบบฉีด โดยใช้การจำลองแบบ 3-D Numerical โดยได้แสดงถึงการออกแบบท่อหล่อเย็นโดยใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบ[7]

2.4.งานวิจัยของ J.-F H TU, D.M. GAO, A. GARCIA – REJON, and G.SALLOUM ได้ศึกษาถึง 3D Finite Element Model ซึ่งได้ทำนายถึง ความดัน ความเร็ว อุณหภูมิและตำแหน่งของการไหลของพอลิเมอร์ ได้ทำการทดสอบโดยการวิเคราะห์จากการไหลในชิ้นงานตัวอย่าง[11]

2.5.งานวิจัยของ Shin – Jung Liu ได้ศึกษาถึง ความแข็งแรงของรอยประสาน ในแม่พิมพ์ฉีดของ Thermoplastic ซึ่งการทดลองนี้ถูกออกแบบบนพื้นฐานของ Taguchi method ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง ซึ่งการทดลองพบว่าอุณหภูมิพลาสติกเหลวกับอุณหภูมิแม่พิมพ์เป็นปัจจัยสำคัญของการเกิดรอยประสาน [12]

2.6.งานวิจัยของ Linhuo Shi, Mahesh Gupta ได้ศึกษาถึงการทำนาย รอยยุบ ด้วย Localized Finite Element Shrinkage Analysis โดยการใช้โปรแกรม C-mold และ Abaqus ซึ่งพบว่า Packing Pressure และความหนาของชิ้นงานมีผลกับการเกิด รอยยุบ และได้นำข้อมูลทางการทดลองไปเปรียบเทียบกับทางทฤษฎี พบว่ายอมรับได้[13]

ลักษณะการเกิด รอยประสานและรอยยุบ สามารถอ้างอิง [3] และสมการและข้อมูลต่างๆของพลาสติกจะใช้ชนิด ABS LUSTRAN 348 ในโปรแกรม Moldex

3. พารามิเตอร์ที่ศึกษาและวิธีการทดลอง

เนื่องจากเราต้องการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำให้เกิดปัญหา รอยประสานและรอยยุบ จึงได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์เหล่านี้ โดยการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษาในแต่ละค่า โดยมีทั้งหมด 5 ค่าที่แตกต่างกันในแต่ละพารามิเตอร์ที่ศึกษา ค่าที่ยังไม่ได้ศึกษาจะเป็นค่าที่ทำให้เกิดปัญหา ทำแบบเดียวกันทั้ง 4 ชิ้นงาน โดยตารางที่ทำการศึกษาเป็นดังนี้

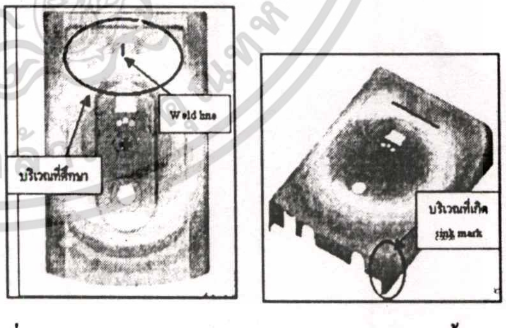
ตารางที่ 1 แสดงพารามิเตอร์ที่ทำการฉีดจริงแล้วเกิดปัญหา

Parameter ที่ศึกษา / ชิ้น งานที่	1	2	3	4
อุณหภูมิพลาสติกเหลว T_l	260	260	260	260
อุณหภูมิแม่พิมพ์ T_m	60	60	60	60
ความดันในการฉีด(Filling) P_f	200	120	80	90
ความดันย้ำ(Packing) P_p	120	90	50	60
อุณหภูมิหล่อเย็น T_c	28	28	28	28
เวลาในการหล่อเย็น t_c	40	20	20	20
เวลาในการฉีดย้ำ t_h	8	8	8	8

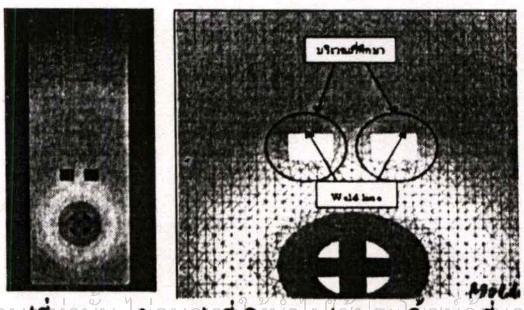
ตารางที่ 2 แสดงช่วงของพารามิเตอร์ที่ทำการเปลี่ยนค่า

Parameter ที่เปลี่ยนค่า / ชิ้น งานที่	1	2	3	4
T_l	255-275	255-275	255-275	255-275
T_m	55-75	55-75	55-75	55-75
P_f	190-230	100-140	60-100	70-110
P_p	110-150	70-110	30-70	40-80
T_c	24-32	24-32	24-32	24-32
t_c	10-50	10-30	10-30	10-30
t_h	6-14	6-14	6-14	6-14

**อุณหภูมิหน่วยเป็น ^{0}C ,ความดันหน่วยเป็น MPa ,เวลาหน่วยเป็นวินาที

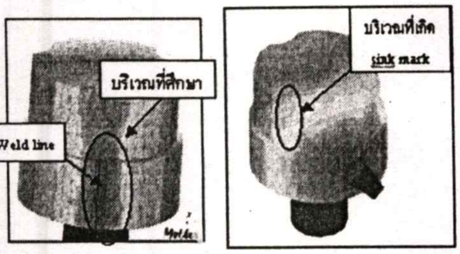


รูปที่ 1 แสดงตำแหน่ง รอยประสานและรอยยุบ ชิ้นงานที่1

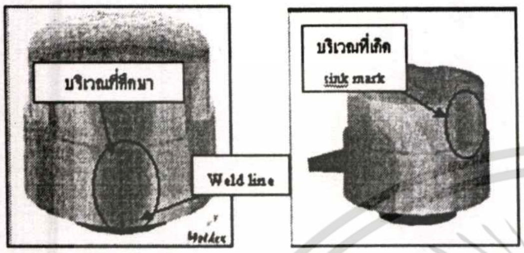


รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งที่เกิด รอยประสานชิ้นงานที่2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 แสดงตำแหน่ง รอยประสานและรอยยุบ ชิ้นงานที่3

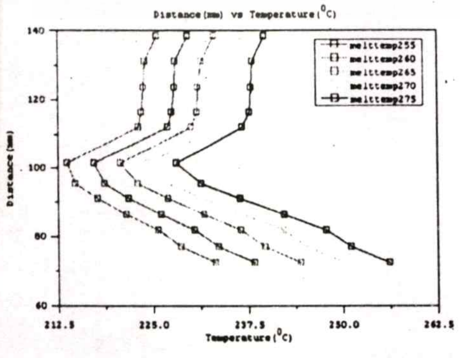


รูปที่ 4 แสดงตำแหน่ง รอยประสานและรอยยุบ ชิ้นงานที่4

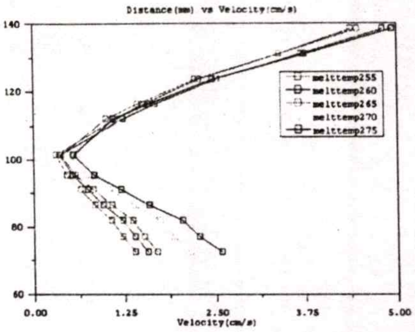
ซึ่งจากตารางที่ 2 เมื่อทำการทดลองออกมาทั้งหมดโดยแต่ละ พารามิเตอร์ จะเปลี่ยนค่าที่ศึกษา 5 ค่า ซึ่ง พารามิเตอร์ที่ศึกษามี 7 พารามิเตอร์ เพราะฉะนั้นจะได้กรณีที่ทำการศึกษาทั้งหมด 35 กรณีต่อ1ชิ้นงาน แล้วนำผลการทดลองที่ได้ของชิ้นงานต่างๆมาศึกษาและวิเคราะห์ โดยปัญหารอยประสาน จะพิจารณาศึกษาอุณหภูมิและความเร็ว ณ บริเวณก่อนและหลังการเกิดรอยประสาน และศึกษาการไหลของน้ำพลาสติกเหลว ส่วนรอยยุบ จะศึกษาดูว่าเมื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์ไปในแต่ละค่าพารามิเตอร์ใดมีผลกับการเกิด รอยยุบ

จากรูปที่ 1, 2, 3และ4 ได้แสดงถึง model ที่พร้อมจะทดลองและตำแหน่งที่เกิดปัญหา โดยการขึ้นรูปอ้างอิง [3]

4. ผลการทดลอง



รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างผลการทดลองอุณหภูมิกับระยะทาง ณ บริเวณที่เกิด รอยประสาน



รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของความเร็วกับระยะทาง ณ บริเวณที่เกิดรอยประสาน

รูปที่ 5 และ 6 เป็นตัวอย่างผลการทดลองของการศึกษาการเกิดรอยประสาน ในแต่ละพารามิเตอร์ ในแต่ละชิ้นงานจะศึกษาแบบเดียวกันนี้ทั้งหมด และนำผลที่ได้นี้มาศึกษาดูว่าพารามิเตอร์ใด ที่เปลี่ยนแปลงแล้วมีผลมากที่สุด ซึ่งได้ข้อสรุปว่าอุณหภูมิพลาสติกเหลวและอุณหภูมิแม่พิมพ์มีผลกับการเกิดรอยประสานมากที่สุด โดยการเกิดเป็นดังนี้

รอยประสานจะเกิดจาก ผลกระทบของอุณหภูมิและความเร็วโดยการเกิดรอยประสาน ในชิ้นงานที่ 1 และ2 สามารถอธิบายโดยอ้างอิง [3] ในส่วนของชิ้นงานที่ 3 และ 4 สามารถอธิบายได้ว่าน้ำพลาสติกเหลวที่ถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์จะมีการสูญเสียความร้อนให้กับ insert 2 ตัวซึ่งเป็นแกนของชิ้นงาน ก่อนที่จะไหลผ่านบริเวณที่เกิดรอยประสาน แม้ว่าจะเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รอยประสาน ก็ยังเกิดขึ้นบริเวณเดิมและมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 208^{0}C ซึ่งอุณหภูมิที่น้ำพลาสติกเริ่มแข็งตัวอยู่ที่ 230^{0}C ดังนั้นบริเวณนี้ปัญหารอยประสานไม่สามารถแก้ไข

Node data	Node [9690]	Node [9688]	Node [9831]	Node average	Unit
X	402.903	402.903	402.903	402.903	mm
Y	198.959	198.959	192.345	196.754	mm
Z	12.375	16.500	12.375	13.750	mm
Thickness	3.000	3.000	3.000	3.000	mm
XDisplacment	-1.350	-1.347	-1.427	-1.375	mm
YDisplacment	1.320	1.330	1.383	1.344	mm
ZDisplacment	0.791	0.752	0.809	0.784	mm
XTDisplacment	-0.007	-0.005	-0.012	-0.008	mm
YTDisplacment	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	mm
ZTDisplacment	0.008	0.008	0.008	0.008	mm
VolmShrinkage	2.763	2.739	2.814	2.772	%
SinkMark	0.018	0.023	0.027	0.023	mm

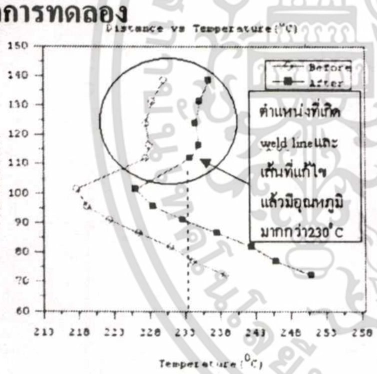
รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างการศึกษารอยยุบในแต่ละ element

รอยยุบจะศึกษาในช่วง packing และ cooling เท่านั้น จากรูปที่ 7 เป็นตัวอย่างผลการศึกษารอยยุบซึ่งจะทำแบบเดียวกันนี้ในแต่ละพารามิเตอร์ ในแต่ละชิ้นงาน ซึ่งสามารถสรุปจากผลการศึกษาได้ดังนี้

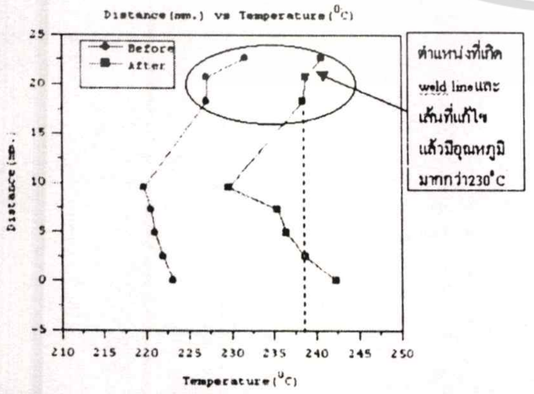
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าของ อุณหภูมิพลาสติกเหลว และความดันฉีด การเกิดรอยยุบ จะไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากตัวแปรทั้งสองจะมีผลกับสภาวะ filling แต่การเกิด รอยยุบ จะเกิดในช่วงการ packing และ cooling ซึ่งพารามิเตอร์ที่มีผลกับสภาวะดังกล่าวคืออุณหภูมิของแม่พิมพ์ เวลาของการหล่อเย็น เวลาการฉีดย้ำ ความดันย้ำ และอุณหภูมิของการหล่อเย็นโดยอุณหภูมิของแม่พิมพ์ อุณหภูมิของการหล่อเย็น และเวลาของการหล่อเย็น จะเกี่ยวข้องกับสภาวะ cooling ในขณะที่เวลาการฉีดย้ำและความดันย้ำจะเกี่ยวข้องกับสภาวะ packing จากผลการทดลองได้ว่า พารามิเตอร์ ที่มีผลกับการเกิด รอยยุบ มากที่สุดคือเวลาการฉีดย้ำและความดันย้ำซึ่งแสดงให้เห็นว่า ณ สภาวะนี้ จะเป็นสภาวะที่มีผลกับการเกิด รอยยุบ มากที่สุด และอุณหภูมิของแม่พิมพ์ อุณหภูมิของการหล่อเย็น และเวลาของการหล่อเย็นจะมีผลกับการเกิดรอยยุบ น้อยกว่า

5. สรุปผลการทดลอง



รูปที่ 8 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของค่าที่ทำให้เกิดปัญหาและค่าที่แก้ไขแล้วของชิ้นงานที่1



รูปที่ 9 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของค่าที่ทำให้เกิดปัญหาและค่าที่แก้ไขแล้วของชิ้นงานที่2

ตารางที่ 3 แสดงพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดปัญหาและพารามิเตอร์ที่แก้ไขปัญหาแล้วของชิ้นงานที่1

พารามิเตอร์ที่ศึกษา	ค่ากำหนด (ค่าที่ทำให้เกิดปัญหา)	ค่าที่แก้ไข (simulation)	ค่าที่แก้ไข (ฉีดจริง)
อุณหภูมิพลาสติกเหลว T_l	260°C	270°C	270°C
อุณหภูมิแม่พิมพ์ T_m	60°C	70°C	65°C
ความดันในการฉีด(Filling) P_f	200 MPa	200 MPa	210 MPa
ความดันย้ำ(Packing) P_p	120 MPa	140 MPa	140 MPa
อุณหภูมิหล่อเย็น T_c	28°C	28°C	28°C
เวลาในการหล่อเย็น t_c	40 Sec	30 Sec	30 Sec
เวลาในการฉีดย้ำ t_p	8 Sec	14 Sec	14 Sec

ในชิ้นงานที่1เกิดปัญหา รอยประสานและรอยยุบ โดยพารามิเตอร์ที่ทำการแก้ไขแสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งการแก้ไขปัญหาต้องได้ค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่เกิด รอยประสาน มากกว่า 230°C ดังรูปที่ 8 ส่วนปัญหาการเกิด รอยยุบ ค่าที่ทำให้เกิดปัญหามีค่ารอยยุบเท่ากับ 0.022 mm. ส่วนค่าที่แก้ไขแล้วมีค่ารอยยุบเท่ากับ 0.002 mm.

ตารางที่ 4 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดปัญหาและพารามิเตอร์ที่แก้ไขปัญหาแล้วของชิ้นงานที่ 2

พารามิเตอร์ที่ศึกษา	ค่ากำหนด (ค่าที่ทำให้เกิดปัญหา)	ค่าที่แก้ไข (simulation)	ค่าที่แก้ไข (ฉีดจริง)
อุณหภูมิพลาสติกเหลว T_l	260°C	270°C	270°C
อุณหภูมิแม่พิมพ์ T_m	60°C	75°C	70°C
ความดันในการฉีด(Filling) P_f	120 MPa	120 MPa	130 MPa
ความดันย้ำ(Packing) P_p	90 MPa	80 MPa	90 MPa
อุณหภูมิหล่อเย็น T_c	28°C	28°C	28°C
เวลาในการหล่อเย็น t_c	20 Sec	20 Sec	20 Sec
เวลาในการฉีดย้ำ t_p	8 Sec	8 Sec	8 Sec

ในชิ้นงานที่ 2 เกิดปัญหารอยประสาน ดังนั้น การแก้ไขปัญหาต้องได้ค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่เกิดรอยประสาน มากกว่า 230°C โดยค่าที่แก้ปัญหาแสดงดังตารางที่ 4 และค่าของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ศึกษาจนถึงตำแหน่งที่เกิดรอยประสาน เป็นดังรูปที่ 9

ตารางที่ 5 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดปัญหาและพารามิเตอร์ที่แก้ไขปัญหาแล้วของชิ้นงานที่ 3

พารามิเตอร์ที่ศึกษา	ค่ากำหนด (ค่าที่ทำให้เกิดปัญหา)	ค่าที่แก้ไข (simulation)	ค่าที่แก้ไข (ฉีดจริง)
อุณหภูมิพลาสติกเหลว T_l	260°C	260°C	260°C
อุณหภูมิแม่พิมพ์ T_m	60°C	60°C	60°C
ความดันในการฉีด(Filling) P_f	80 MPa	80 MPa	80 MPa
ความดันย้ำ(Packing) P_p	50 MPa	60 MPa	55 MPa
อุณหภูมิหล่อเย็น T_c	28°C	28°C	28°C
เวลาในการหล่อเย็น t_c	20 Sec	25 Sec	20 Sec
เวลาในการฉีดย้ำ t_p	8 Sec	14 Sec	14 Sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาการเกิดรอยยุบ ค่าที่ทำให้เกิดปัญหามีค่า รอยยุบเท่ากับ 0.011 mm. ส่วนค่าที่แก้ไขแล้ว (ตารางที่5) มีค่ารอยยุบเท่ากับ 0.004 mm.

ตารางที่ 6 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดปัญหาและพารามิเตอร์ที่แก้ไขปัญหาแล้วของชิ้นงานที่ 4

พารามิเตอร์ที่ศึกษา	ค่ากำหนด (ค่าที่ทำให้เกิดปัญหา)	ค่าที่แก้ไข (simulation)	ค่าที่แก้ไข (ฉีดจริง)
อุณหภูมิพลาสติกเหลว T_s	260 °C	260 °C	260 °C
อุณหภูมิแม่พิมพ์ T_m	60 °C	60 °C	60 °C
ความดันในการฉีด(Filling) P_f	90 MPa	80 MPa	90 MPa
ความดันย้ำ(Packing) P_p	60 MPa	60 MPa	65 MPa
อุณหภูมิหล่อเย็น T_c	28 °C	28 °C	28 °C
เวลาในการหล่อเย็น t_c	20 Sec	30 Sec	20 Sec
เวลาในการฉีดย้ำ t_p	8 Sec	12 Sec	14 Sec

ปัญหาการเกิดรอยยุบ จะแก้ไขโดยการเปลี่ยนค่า เวลาในการฉีดย้ำและเวลาในการหล่อเย็น ซึ่งค่าที่ทำให้เกิดปัญหามีค่ารอยยุบเท่ากับ 0.010 mm. ส่วนค่าที่แก้ไขแล้ว (ตารางที่6) มีค่ารอยยุบเท่ากับ 0.003 mm.

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ เมธี ใบงาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กับคำแนะนำและโปรแกรม Moldex คุณยุทธนา ธนูศร บริษัทพรีเมียร์ ซีอี จำกัดและบริษัท บีวีที เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนเซ้าแท้น จำกัด กับข้อมูลต่างๆในการทดลอง บิดามารดา และเพื่อนคู่ใจที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือเป็นอย่างดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] เมธี ใบงาม, "แบบจำลองการฉีดพลาสติกในสภาวะของเหลว", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14, ปี2543, หน้า 74 – 81

[2] อกนิษฐ์ สอนตระกูล, "การจำลองการไหลและการถ่ายเท ความร้อนสำหรับการทำนายการหดตัวและบิดงอของพลาสติกในแม่พิมพ์พลาสติกแบบฉีด", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544

[3] สมัชชา โชคชัยวิวัฒน์ จารุวัตร เจริญสุขและยุทธนา ธนูศร, "การศึกษาการแก้ไขปัญหาของการเกิด weld line และ sink mark ในการขึ้นรูปพลาสติกแบบฉีดโดยใช้โปรแกรม Moldex", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16, ปี2545, หน้า 49 – 54

[4] วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม, "งานฉีดพลาสติก", ซีเอ็ดยูเคชั่น ,2540, หน้า 47-52

[5] พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์, "พลาสติก",พิมพ์ครั้งที่9, กรุงเทพมหานคร: มิตรนราการพิมพ์, 2532

[6] ดร.พสุ โลหารชุน, "เทคโนโลยีแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและการออกแบบเชิงวิเคราะห์", สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2534

[7] K.Himasekhar, J.Lottey and K.K.Wang, " CAE of Mold Cooling in Injection Molding Using a Three Dimensional Numerical Simulation ", Journal of Engineering for Industry, Vol.114, 1992, pp. 213-220

[8] W.S. Janna, "Introduction to fluid mechanics", Third Edition, Boston:PWS Publishing, 1993

[9] F.M.White, "Fluid Mechanics", McGraw – Hill, Inc New York , 1986

[10] N.J.Mills, "Plastics Microstructure Properties and Applications", ELBS,Second Edition, 1993

[11] J.-F H TU, D.M. GAO, A. GARCIA – REJON, and G.SALLOUM, "3D Finite Element Method for the Simulation of the Filling Stage in injection molding" , Journal of Polymer Engineering and Scince, Feb. 1998

[12] Shin – Jung Liu, "Design of Experiments to Optimize the Weldline Strength in Injection Molded Thermoplastics ", ANTEC Papers, 2001

[13] L.Shi, M.Gupta, "A Localized Shrinkage Analysis for Predicting Sink Marks in Injection-Molded Plastic Parts", Journal of Injection Molding Technology, Sep, 1999.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายวิษรสรรค์ โชคชัยวิวัฒน์ เดิมมีชื่อว่า “นายสมัชชา” เกิดเมื่อวันที่ 19 เมษายน 2522 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้