

การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยควบคุมการผลิตแบบไดแคสติงต่อข้อบกพร่องของชิ้นงาน

นายเจริญ สว่างวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

A STUDY OF EFFECT OF DIE CASTING CONTROL FACTORS ON WORKPIECE DEFECTS

Mr. Charoen Sawangwong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยควบคุมการผลิตแบบไดแคสติงต่อ ข้อบกพร่องของชิ้นงาน
โดย	นายเจริญ สว่างวงศ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโงวรณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.อิสราวิทย์ เชาวน์พานิช)

เจริญ สว่างวงศ์ : การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยควบคุมการผลิตแบบไดแคสติงต่อข้อบกพร่องของ
ชิ้นงาน. (A STUDY OF EFFECT OF DIE CASTING CONTROL FACTORS ON WORKPIECE
DEFECTS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร, 79 หน้า.

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยควบคุมกระบวนการฉีดไดแคสติงแรงดันสูง
ที่มีผลต่อข้อบกพร่องของชิ้นงาน โดยทำการทดลองเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆกับ
ข้อบกพร่องของชิ้นงาน กำหนดตัวแปรควบคุมที่คงที่ ได้แก่ ชิ้นงานเส้นสุบรตจักรยานยนต์ ที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมอัล
ลอยด์ เกรด ADC12 วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์เป็นเหล็กกล้างานร้อน SKD61 อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นคงที่ 24 องศา
เซลเซียส และอุณหภูมิของอะลูมิเนียมหลอมเหลวที่ใช้ในการฉีดคงที่ 680 องศาเซลเซียส ตัวแปรอิสระในสาม
ระดับที่ทำการศึกษามีดังนี้ (1) แรงดันฉีด ที่ระดับ 750, 900, และ 1000 บาร์ (2) ความเร็วที่ทางเข้าโหล
งชิ้นงาน ที่ระดับ 30, 36 และ 42 เมตรต่อวินาที และ (3) ระยะเวลาการหล่อเย็นที่ 127, 130, และ 133 วินาที
ดำเนินการตรวจสอบจำนวนข้อบกพร่องต่อหน่วยของชิ้นงาน ได้แก่ โพรงอากาศ โพรงหดตัว ฉีดไม่เต็มแบบ ผิ
วพอง ผิวร้อน รอยแตก และขนาดโพรงหดตัว โดยขนาดโหลงหดตัวตรวจสอบด้วยวิธีการฉายรังสีเอกซ์เรย์
จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบ
ของแต่ละปัจจัยที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องของชิ้นงานแต่ละประเภท

ผลการทดลอง พบว่า (1) แรงดันฉีด และความเร็วที่ทางเข้าโหลงชิ้นงาน มีผลต่อประเภทและจำนวน
ข้อบกพร่องต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ และขนาดโหลงหดตัวอย่างนัยสำคัญที่ระดับ α 0.05 (2) แรงดันฉีดยังให้
น้ำหนักของผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศ โพรงหดตัว ฉีดไม่เต็มแบบ จำนวนข้อบกพร่อง
โดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ และขนาดโหลงหดตัวสูงที่สุดเท่ากับ 97.6, 92.6, 73.8, 96.1, และ 99.7% ตามลำดับ
โดยแรงดันฉีดที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้จำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศ โพรงหดตัว ฉีดไม่เต็มแบบ จำนวน
ข้อบกพร่องโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ และขนาดโหลงหดตัวมีแนวโน้มลดลง (3) ความเร็วที่ทางเข้าโหลงชิ้นงานมี
น้ำหนักของผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทผิวพอง ผิวร้อน และรอยแตกมากที่สุด ด้วยค่าเท่ากับ 74.3, 68.8,
และ 67.1% ตามลำดับ โดยความเร็วที่ทางเข้าโหลงชิ้นงานลดลงจะให้ผลข้อบกพร่องประเภทผิวพอง และรอย
แตกลดลง แต่ผิวร้อนกลับสูงขึ้น (4) จากการประยุกต์ใช้แรงดันฉีด 900 บาร์ ความเร็วที่ทางเข้าโหลงชิ้นงาน 30
เมตรต่อวินาที และระยะเวลาการหล่อเย็น 133 วินาที เทียบกับก่อนการปรับปรุงใช้แรงดันฉีด 750 บาร์
ความเร็วที่ทางเข้าโหลงชิ้นงาน 30 เมตรต่อวินาที และระยะเวลาการหล่อเย็น 130 วินาที พบว่าค่าจำนวน
ข้อบกพร่องต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ลดลงจากเดิม 3.48 เป็น 2.45 ลดลงคิดเป็น 29.6% และอัตราส่วนของเสีย
ลดลงจาก 3.61% เป็น 2.32% ลดลงคิดเป็น 35.7%

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์.....
ปีการศึกษา.....2555.....

5171488821 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : DIE CASTING / SPECIFIC PRESSURE / INJECTION CONDITION

CHAROEN SAWANGWONG : A STUDY OF EFFECT OF DIE CASTING

CONTROL FACTORS ON WORKPIECE DEFECTS. ADVISOR:

ASST.PROF.SOMCHAI PUAJINDANETR, Ph.D., 79 pp.

The objective of the research was to study the effect of control factors of a high pressure die casting on defects of work piece. The experiment method was to analyze the defects related with injection conditions. The fixed constant factors were work pieces of the engine crankcase of motorcycle made of aluminum alloy ADC12, the material die of hot work steel SKD61, cooling water temperature constant at 24 degrees Celsius, and injecting temperature of molten aluminum into mold constant at 680 degrees Celsius. The independent variables such as injection pressure, velocity at the gate entrance and duration of mold cooling were varied as 3 levels. The injection pressure was run at 750, 900, and 1000 bars. The velocity at the gate entrance was varied at 30, 36, and 42 meters per second. The duration of mold cooling was applied at 127, 130, and 133 seconds. The defects of work piece were evaluated such as air-porosity, shrinkage porosity, incomplete injection, blister, peel off defect, and crack and shrinkage flaw size. The flaw sizes were characterized using irradiation with X-rays. The effect of control factors on each response were analyzed using the Minitab statistical software.

The results showed that (1) the injection pressure and velocity at the gate entrance were effect on defect types and total defects per unit (DPU) and shrinkage flaw size with the statistical α of 0.05, (2) the injection pressure gave the highest percentage of contribution on air-porosity, shrinkage porosity, incomplete injection, DPU, and the flaw size with 97.6%, 92.6%, 73.8%, 96.1%, and 99.7% respectively; the air-porosity, shrinkage porosity, incomplete injection, DPU, and the flaw size decreased with increasing of the injection pressure, (3) the velocity at the gate entrance provided the highest percentage of contribution on the defects of blister, peel off, and crack with 74.3%, 68.8%, and 67.1% respectively; the velocity at the gate entrance decreased would decrease the defects of blister and crack whereas peel off defect increased, and (4) applying the injection pressure at 900 bars, the velocity at the gate entrance at 30 meters/sec, and the duration of mold cooling at 133 seconds compared with the conditions before study as the injection pressure at 750 bars, the velocity at the gate entrance at 30 meters/sec, and the duration of mold cooling at 130 seconds was found that DPU was decreased from 3.48 to 2.45 or 29.6% decreased, and also defect rate was decreased from 3.61% to 2.32% or 35.7% decreased.

Department : Industrial Engineering Student's Signature

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2012

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากแผนก High pressure die casting บริษัทไทรอัมมอเตอร์ไซเคิล (ไทยแลนด์) และสามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ Mr.Jim Gough ผู้คอยให้คำปรึกษาและประสาทความรู้และสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.อิศราวิทย์ เซาว์พานิช กรรมการจากภายนอกที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบและทั้งยังให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงเนื้อหาวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคณะกรรมการสอบทุกท่านที่ให้คำแนะนำและเสนอแนะแนวทางในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้คอยเป็นแรงบันดาลใจให้มีกำลังใจต่อสู้กับอุปสรรคทั้งปวง

- ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
- คณะวิศวกรรมศาสตร์
- บัณฑิตวิทยาลัย
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎี.....	4
2.1.1 กระบวนการผลิตแบบไดแคสติง.....	4
2.1.2 กระบวนการ Cold Chamber	6
2.1.3 กระบวนการ Hot Chamber	6
2.1.4 กลไกการฉีดแบบไดแคสติง.....	7
2.1.5 การคำนวณแรงฉีด และความดันหล่อ	8
2.1.6 การคำนวณแรงเปิดแม่พิมพ์.....	9
2.1.7 การคำนวณความเร็วการฉีดและความเร็วที่ทางเข้า.....	10
2.1.8 ประเภทของเสียจากกระบวนการผลิตแบบไดแคสติง.....	11
2.1.9 วิธีการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน.....	17
2.1.10 การออกแบบการทดลอง.....	18
2.1.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	22
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28

บทที่ 3 สภาพปัญหา.....	29
3.1 กระบวนการผลิต.....	29
3.2 ปริมาณการผลิตและของเสีย.....	32
บทที่ 4 วิธีการศึกษา.....	34
4.1 การคัดเลือกปัจจัย.....	34
4.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	34
4.2 วิธีการทดลอง.....	37
บทที่ 5 ผลการศึกษาและการอภิปราย.....	41
5.1 ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศ.....	42
5.2 ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว.....	45
5.3 ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบ.....	48
5.4 ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทผิวพอง.....	51
5.5 ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทผิวร่อน.....	54
5.6 ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทรอยแตก.....	57
5.7 ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องต่อหน่วย (DPU).....	60
5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนข้อบกพร่องต่อหน่วยกับปัจจัยควบคุมต่างๆ.....	63
5.9 ผลของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อขนาดของโพรงหดตัว).....	64
5.10 ความสัมพันธ์ของปัจจัยแรงดันฉีดกับขนาดของโพรงหดตัว.....	66
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	69
รายการอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก1 ผลการทดลอง.....	74
ภาคผนวก ก2 ข้อมูลของเสียก่อนการศึกษา.....	77
ภาคผนวก ก3 ข้อมูลของเสียหลังการปรับปรุง.....	78
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	79

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของ ADC12.....	31
ตารางที่ 3.2 แสดงวงจรการผลิตแบบไดแคสติง	32
ตารางที่ 3.3 แสดงจำนวนของเสียแต่ละประเภท.....	32
ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องประเภท โพรงอากาศ.....	44
ตารางที่ 5.2 ร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อโพรงอากาศ	44
ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องประเภท โพรงหดตัว.....	47
ตารางที่ 5.4 ร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภท โพรงหดตัว.....	47
ตารางที่ 5.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องประเภทไม่ เต็มแบบ.....	50
ตารางที่ 5.6 ร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทไม่ เต็มแบบ.....	50
ตารางที่ 5.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องประเภทผิว พอง.....	53
ตารางที่ 5.8 ร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทผิว พอง.....	53
ตารางที่ 5.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องประเภทผิว ร้อน.....	56
ตารางที่ 5.10 ร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภท ผิวร้อน.....	56
ตารางที่ 5.11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องประเภท รอยแตก.....	59
ตารางที่ 5.12 ร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภท รอยแตก.....	59
ตารางที่ 5.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องต่อหน่วย..	62

	หน้า
ตารางที่ 5.14 ร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องต่อหน่วย.	62
ตารางที่ 5.15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยต่างๆกับขนาดของโพรง หดตัว.....	65
ตารางที่ 5.16 ร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อขนาดของโพรง หดตัว.....	65
ตารางที่ 5.17 ผลการวัดขนาดโพรงหดตัวที่แรงดันฉีด (PS) ต่างๆ.....	66
ตารางที่ 5.18 แสดงของจำนวนของเสียแต่ละประเภทหลังการปรับปรุง.....	68

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงเครื่องไดแคสติง.....	4
รูปที่ 2.2 แสดงวงจรการผลิตแบบไดแคสติง.....	5
รูปที่ 2.3 แสดงกระบวนการผลิตแบบ Cold chamber.....	6
รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการผลิตแบบ Hot chamber.....	6
รูปที่ 2.5 กลไกการฉีดแบบไดแคสติง.....	7
รูปที่ 2.6 ภาพฉายแม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่.....	9
รูปที่ 2.7 แสดงผลการตรวจด้วยเครื่อง X-RAY	17
รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างการออกแบบการทดลอง.....	21
รูปที่ 3.1 รูปแสดงกระบวนการผลิต.....	29
รูปที่ 3.2 กราฟแท่งเปรียบเทียบจำนวนข้อบกพร่องรวมแต่ละประเภท.....	33
รูปที่ 4.1 แม่พิมพ์.....	35
รูปที่ 4.2 เครื่องไดแคสติงขนาด 2500 ตัน.....	35
รูปที่ 4.3 เครื่องฉายรังสี X-RAY	36
รูปที่ 4.4 เตาหลอม.....	36
รูปที่ 4.5 เครื่องไล่อากาศออกจากอะลูมิเนียมเหลวด้วยไนโตรเจน.....	37
รูปที่ 4.6 แสดงบริเวณที่เป็นโพรงอากาศที่ได้จากการตรวจด้วยเครื่อง X-RAY.....	38
รูปที่ 4.7 แสดงข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบ.....	39
รูปที่ 4.8 แสดงข้อบกพร่องประเภทผิวพอง.....	39
รูปที่ 4.9 แสดงข้อบกพร่องประเภทผิวร่อน.....	39
รูปที่ 4.10 แสดงข้อบกพร่องประเภทรอยแตก.....	40
รูปที่ 5.1 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) และผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศ	43
รูปที่ 5.2 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศ.....	43
รูปที่ 5.3 กราฟแท่งเปรียบเทียบน้ำหนักของตัวแปรต่างๆที่มีต่อโพรงอากาศ	44
รูปที่ 5.4 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) และผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว	46
รูปที่ 5.5 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว.....	46

รูปที่ 5.6 กราฟแท่งเปรียบเทียบน้ำหนักของตัวแปรต่างๆที่มีต่อโพรงหดตัว	47
รูปที่ 5.7 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) และผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบ	49
รูปที่ 5.8 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบ	49
รูปที่ 5.9 กราฟแท่งเปรียบเทียบน้ำหนักของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบ	50
รูปที่ 5.10 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) และผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวพอง.....	52
รูปที่ 5.11 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวพอง	52
รูปที่ 5.12 กราฟแท่งเปรียบเทียบน้ำหนักของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องผิวพอง.....	53
รูปที่ 5.13 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) และผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวร้อน	55
รูปที่ 5.14 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวร้อน	55
รูปที่ 5.15 กราฟแท่งเปรียบเทียบน้ำหนักของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทผิวร้อน	56
รูปที่ 5.16 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) และผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยแตก.....	58
รูปที่ 5.17 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยแตก	58
รูปที่ 5.18 กราฟแท่งเปรียบเทียบน้ำหนักของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่อง แตก.....	59
รูปที่ 5.19 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) และผลกระทบต่อข้อบกพร่องต่อหน่วยของชิ้นงาน (DPU).....	61
รูปที่ 5.20 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อข้อบกพร่องต่อหน่วยของชิ้นงาน	61
รูปที่ 5.21 กราฟแท่งเปรียบเทียบน้ำหนักของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องต่อหน่วย.....	62
รูปที่ 5.22 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อขนาดของโพรงหดตัว	64
รูปที่ 5.23 กราฟแท่งเปรียบเทียบน้ำหนักของตัวแปรต่างๆที่มีต่อขนาดโพรงหดตัว	65
รูปที่ 5.24 รูปขนาดโพรงหดตัวที่แรงดันฉีด 750 บาร์	67
รูปที่ 5.25 รูปขนาดโพรงหดตัวที่แรงดันฉีด 900 บาร์	67
รูปที่ 5.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันฉีด (PS) กับขนาดของโพรงหดตัว.....	67
รูปที่ 5.26 กราฟแท่งแสดงจำนวนข้อบกพร่องแต่ละประเภทหลังการปรับปรุง.....	68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนที่เป็นอะลูมิเนียมด้วยวิธีการผลิตแบบไดแคสติงแรงดันสูง(High Pressure Die Casting: HPDC) มีความสำคัญและเป็นที่ต้องการสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์เป็นอย่างมาก เพราะชิ้นส่วนประกอบหลักที่สำคัญ เช่น ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ โครงสร้างรถจักรยานยนต์บางชิ้นส่วนโครงล้อ เป็นต้น ต่างก็ผลิตด้วยกรรมวิธีแบบไดแคสติงแรงดันสูงทั้งนั้น แต่ในกระบวนการผลิตแบบไดแคสติงนั้นมักมีปัญหาข้อบกพร่องของชิ้นงานเกิดขึ้นและสร้างปัญหาและสูญเสียต้นทุนในการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะเป็นการศึกษาผลกระทบของเงื่อนไขการผลิตของเครื่องไดแคสติงต่อประเภทของข้อบกพร่องของชิ้นงานเพื่อที่จะได้ทำการลดของเสีย

อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติเด่นหลายประการ คือ มีความแข็งแรงต่อหน่วยน้ำหนักสูง นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี น้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม สามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ ได้ง่าย และนำมาหมุนเวียนใช้ได้ใหม่โดยที่คุณภาพไม่เปลี่ยนแปลงจึงถูกนำไปใช้เป็นวัสดุดิบสำหรับอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ และมีแนวโน้มที่ดีในอุตสาหกรรมยานยนต์เนื่องจากคุณสมบัติที่ดีของโลหะชนิดนี้คือ มีน้ำหนักเบา หรือคิดเป็นสัดส่วน 1 ใน 3 ของน้ำหนักเหล็ก ทำให้สามารถประหยัดพลังงานและมลพิษที่เกิดขึ้นได้ อีกทั้งมีความปลอดภัยสูงจากคุณสมบัติในการรับพลังงานกลได้ดี ทำให้แนวโน้มของการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในปัจจุบันเปลี่ยนมาผลิตชิ้นส่วนจากอะลูมิเนียมมากขึ้นเรื่อยๆ เพื่อลดน้ำหนักและลดต้นทุนการผลิต แต่จากศักยภาพของผู้ประกอบการไทยในการผลิตชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อนและมีมูลค่าสูง ยังมีข้อจำกัดอยู่มาก ทั้งทางด้านความรู้ ทักษะ และความชำนาญของบุคลากร ความสามารถในการทำงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ในขณะที่เทคโนโลยีทางด้านงานอะลูมิเนียมอัลลอยในต่างประเทศมีการพัฒนาไปอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว ประกอบกับแนวโน้มการใช้อะลูมิเนียมอัลลอยทั่วโลก มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น อาทิ ยุโรป อเมริกา และ ญี่ปุ่น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผู้ประกอบการของไทยด้วย หากเราไม่เร่งปรับตัว เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดปัจจุบันก็จะทำให้เสียเปรียบในด้านการแข่งขัน โดยเฉพาะแนวโน้มการใช้อะลูมิเนียมอัลลอยในอุตสาหกรรมยานยนต์ทั่วโลกเพิ่มสูงขึ้น

เรื่อยๆ ทั้งในยุโรป อเมริกา และญี่ปุ่น ต่างหันมาใช้วัสดุที่ทำจากอะลูมิเนียมอัลลอยเพิ่มมากขึ้น โดยจะเห็นได้จากปริมาณการใช้เมื่อประมาณ 50 ปีที่ผ่านมา พบว่า มีสัดส่วนการใช้อะลูมิเนียมอัลลอยในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์เพิ่มขึ้นจากน้ำหนัก 50 กิโลกรัม ต่อรถ 1 คัน เป็น 200 กิโลกรัมต่อรถ 1 คัน เป็นการนำเอาอะลูมิเนียมอัลลอยเข้ามาใช้ทดแทนชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็ก โดยประเทศในกลุ่มยุโรปและอเมริกาหันมาใช้อะลูมิเนียมอัลลอยแทนเหล็กเพิ่มขึ้น คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 50 ขณะที่ญี่ปุ่นใช้เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 60 โดยเฉพาะการนำอะลูมิเนียมอัลลอยมาผลิตเป็นตัวถังรถมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ปัญหาของผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมการฉีดหล่อ อะลูมิเนียมอัลลอยของไทยที่ส่วนใหญ่ประสบอยู่ อาทิ การเกิดรูพรุน และความไม่เรียบบนผิวหน้า ฯลฯ

ที่ผ่านมาบริษัทได้ประสบปัญหาเกี่ยวกับการสูญเสียต้นทุนการผลิตที่ต้องเสียไปกับของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตแบบไดแคสติงเป็นจำนวนมาก

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยควบคุมการผลิตแบบไดแคสติงต่อข้อบกพร่องของชิ้นงานและเพื่อลดของเสียโดยการปรับปรุงเงื่อนไขการการผลิตของเครื่องไดแคสติง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ได้มีการจำกัดขอบเขตของการศึกษาไว้ดังนี้

ทำการทดลองเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆกับข้อบกพร่องของชิ้นงาน โดยกำหนดตัวแปรควบคุมคงที่ ได้แก่ ชิ้นงานเสื้อสูบลูกจักรยานยนต์ ที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมอัลลอยด์เกรด ADC12 วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์เป็นเหล็กกล้างานร้อน SKD61 อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นคงที่ 24 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิของอะลูมิเนียมหลอมเหลวที่ใช้ในการฉีดคงที่ 680 องศาเซลเซียส โดยตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษาคือ 1.แรงดันฉีด (Specific Pressure : PS) 2.ความเร็วที่ทางเข้า (Gate speed : VA) 3.ระยะเวลาการหล่อเย็น (Cooling down time : TZ)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดของเสีย
2. เป็นแนวทางในปรับตั้งเงื่อนไขการฉีดด้วยเครื่องไดแคสติงของผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่และปรับปรุงเงื่อนไขการผลิตรุ่นอื่นๆที่มีอยู่ในปัจจุบัน

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

การศึกษางานวิจัยนี้ได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

- 1 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 2 ทำการทดลอง โดยกำหนดตัวแปรควบคุมคงที่ ได้แก่ ชี้นงานเสื้อสูบรถจักรยานยนต์ ที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมอัลลอยด์ เกรด ADC12 วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์เป็นเหล็กกล้างานร้อน SKD61 อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นคงที่ 24 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิของอะลูมิเนียมหล่อที่ใช้ในการฉีดคงที่ 680 องศาเซลเซียส โดยตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษาคือ 1.แรงดันฉีด (Specific Pressure : PS) ซึ่งมีสามระดับ คือ 750 900 และ 1000 บาร์ 2.ความเร็วที่ทางเข้า (Gate speed : VA) ซึ่งมีสามระดับคือ 30 36 และ 42 เมตรต่อวินาที 3. ระยะเวลาการหล่อเย็น (Cooling down time : TZ) ซึ่งมีสามระดับเช่นเดียวกันคือ 127 130 และ 133 วินาที โดยทำการทดลองทั้งหมด 27 เงื่อนไข เงื่อนไขละ 2 ชิ้น สำหรับการตรวจสอบขนาดโพรงหดตัวนั้นกระทำโดยวิธีการฉายรังสีด้วยเครื่องเอกซเรย์
- 3 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมทางสถิติคือ Minitab เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของแต่ละปัจจัยต่อข้อบกพร่องแต่ละประเภท
- 4 สรุปผลการทดลอง
- 5 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

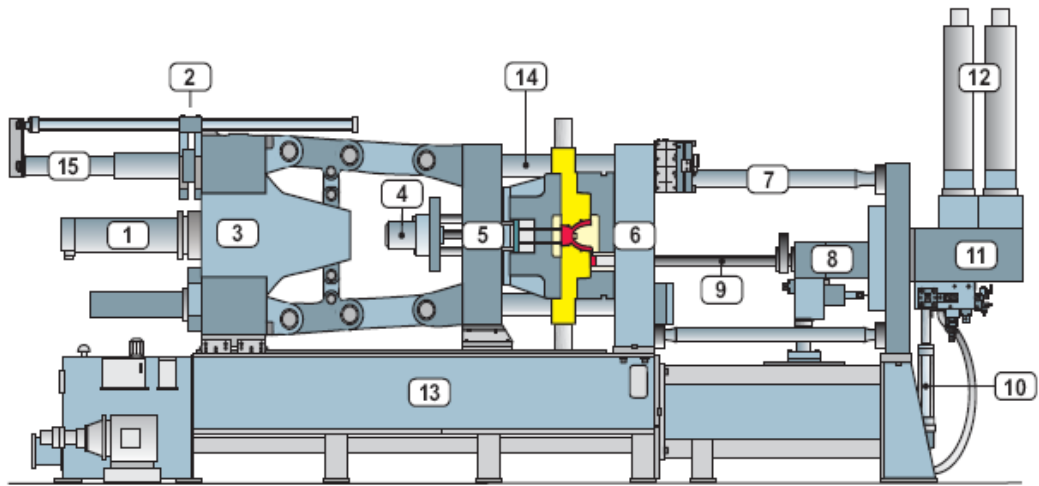
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 กระบวนการผลิตแบบไดแคสติง

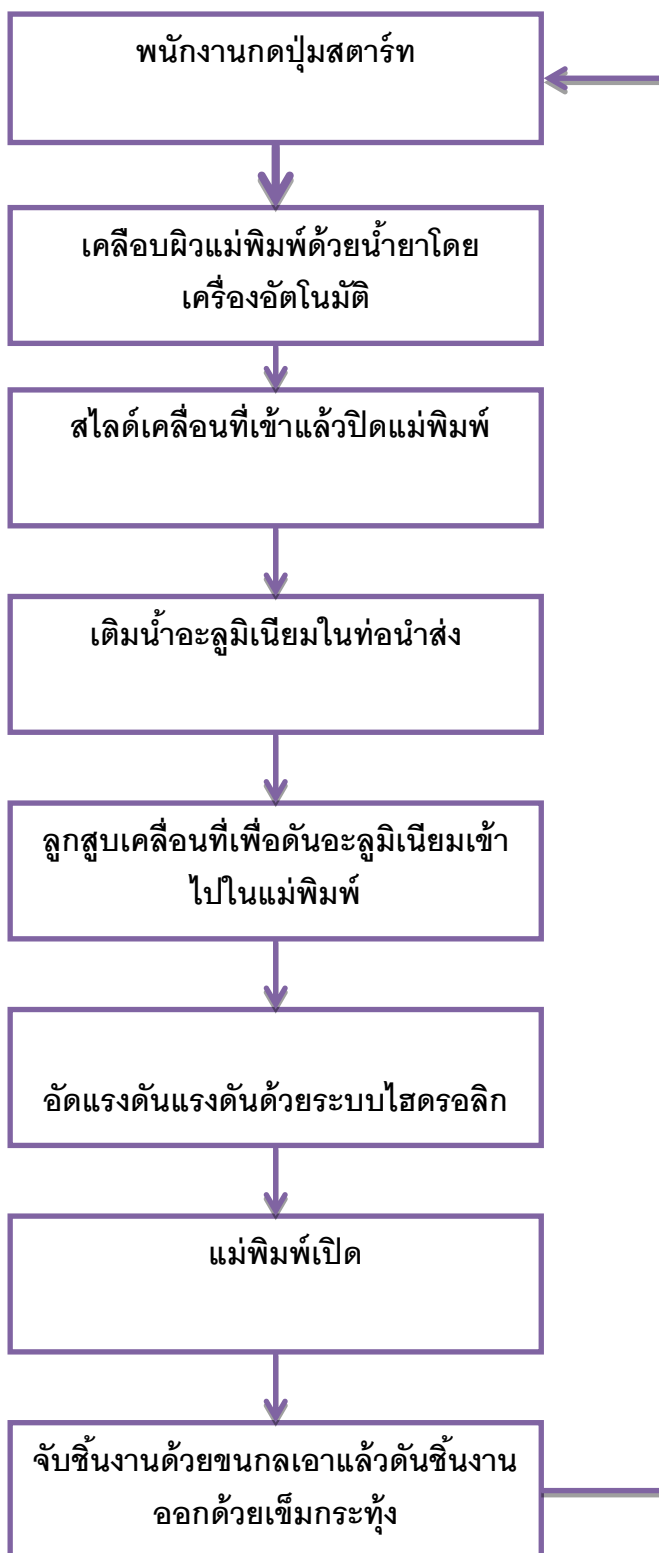
เป็นกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการฉีดอัดโลหะเหลวเข้าไปในแม่พิมพ์ด้วยแรงดันสูงเพื่อให้ได้ผลิตตามรูปแบบที่ต้องการ ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ

1. กระบวนการ Hot chamber
2. กระบวนการ Cold chamber



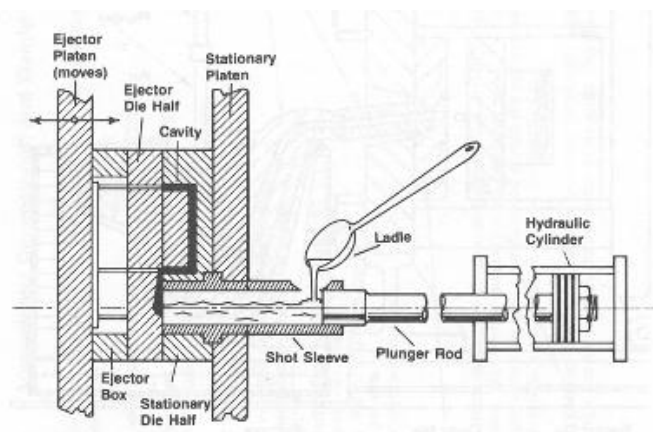
- | | | | | | |
|---|---------------------------------|----|----------------------------------|----|----------------------------------|
| 1 | Clamp cylinder | 6 | Fixed plate | 11 | Pressure multiplier |
| 2 | Die height adjustment | 7 | Columns (Injection unit) | 12 | Pressure accumulator |
| 3 | Cross member with knuckle joint | 8 | Injection Cylinder | 13 | Machine frame with oil container |
| 4 | Ejector | 9 | Piston rod with injection piston | 14 | Columns |
| 5 | Movable plate | 10 | Injection position adjustment | 15 | Column retraction device |

รูปที่ 2.1 แสดงเครื่องไดแคสติง



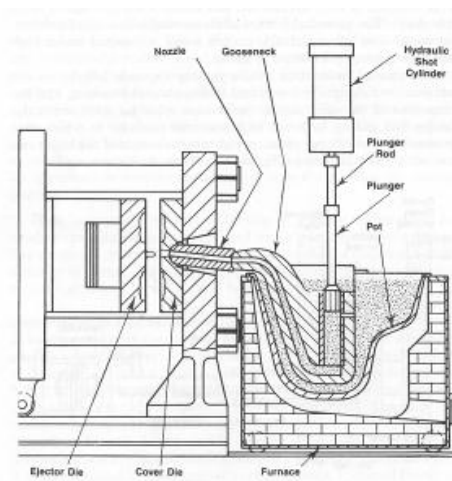
รูปที่ 2.2 แสดงวงจรการผลิตแบบไดแคสติง

2.1.2 กระบวนการ Cold Chamber จะมีลักษณะการทำงานคือมีกระบวยตักโลหะ ที่หลอมเหลว ไส้เข้าไปในส่วนที่เรียกว่า Cold Chamber โดยโลหะที่นิยมใช้ในกระบวนการนี้คือ Aluminum, Copper, Aluminium Alloy, Copper Alloy



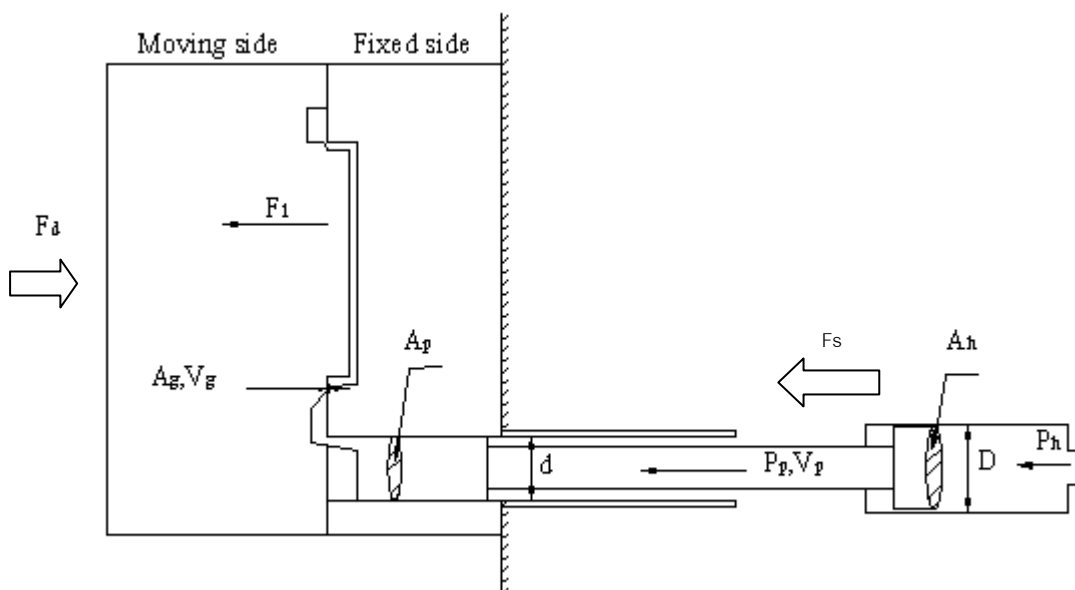
รูปที่ 2.3 แสดงกระบวนการผลิตแบบ Cold chamber

2.1.3 กระบวนการ Hot Chamber จะมีลักษณะคือ จะมี Pressure Chamber ต่อกับ Die cavity ซึ่งจุ่มอยู่ในโลหะที่หลอมเหลว โดยการทำงานจะทำได้เร็วกว่า Cold Chamber Process แต่โลหะที่สามารถใช้ได้กับกระบวนการนี้ต้องมีคุณสมบัติ คือ จุดหลอมเหลวต่ำ และค่าการไหลสูง (High fluidity) โดยโลหะที่นิยมคือ ดีบุก สังกะสี และตะกั่ว



รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการผลิตแบบ Hot chamber

2.1.4 กลไกการฉีดแบบไดแคสติง



รูปที่ 2.5 กลไกการฉีดแบบไดแคสติง

โดยมีคำอธิบายสัญลักษณ์ต่างๆดังนี้

D = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของลูกสูบไฮดรอลิก (mm)

d = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของลูกสูบยิง (Plunger tip) (mm)

A_h = พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบไฮดรอลิก (mm^2)

A_g = พื้นที่หน้าตัดของทางเข้า (mm^2)

A_p = พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบยิง (mm^2)

A = พื้นที่การหล่อ (Projected area) (mm^2)

F_1 = แรงเปิดแม่พิมพ์ (Opening force) (KN)

F_d = แรงปิดแม่พิมพ์ (Locking force) (KN)

F_s = แรงฉีด (Injection force) (KN)

P_h = ความดันไฮดรอลิก (MPa)

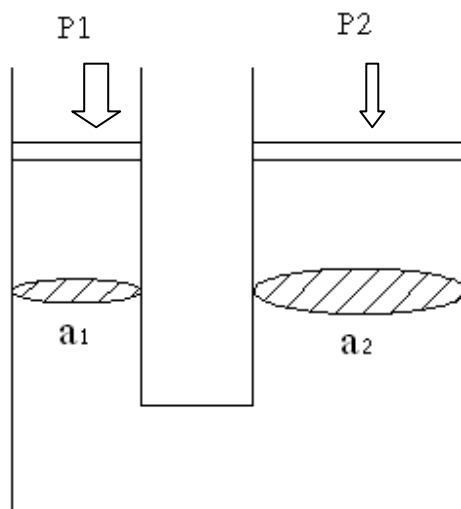
P_p = ความดันหล่อ (Casting pressure/ Metal pressure) (MPa)

V_g = ความเร็วที่ทางเข้า (Gate speed) (m/s)

V_p = ความเร็วฉีด (Injection Velocity) (m/s)

2.1.5 การคำนวณแรงฉีด(Injection Force) และความดันหล่อ (Casting Pressure)

โดยใช้ทฤษฎีของปาสคาล แรง = ความดัน X พื้นที่



$$F = P1 \times a_1 = P2 \times a_2 \dots\dots\dots(1.1)$$

จากสมการ (1.1) จะสามารถคำนวณแรงฉีดของเครื่องใดแคสติงดังนี้

แรงฉีด = ความดันไฮดรอลิก X พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบไฮดรอลิก

นั่นคือ

$$F_s = P_h \times A_h \quad (\text{KN}) \dots\dots\dots (1.2)$$

จากสมการ (1.1) จะได้

ความดันหล่อ X พื้นที่การหล่อ = ความดันไฮดรอลิก X พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบไฮดรอลิก

นั่นคือ

$$P_p \times A = P_h \times A_h$$

$$P_p = P_h \times A_h / A$$

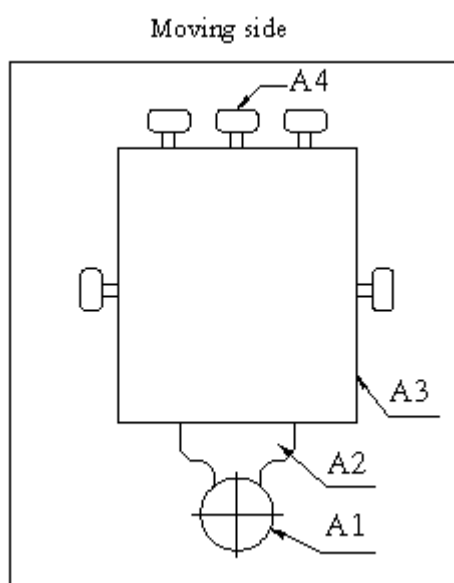
$$P_p = F_s / A \quad (\text{MPa}) \dots\dots\dots (1.3)$$

2.1.6 การคำนวณแรงเปิดแม่พิมพ์ (Opening Force)

แรงเปิดแม่พิมพ์เป็นแรงที่เกิดจากความดันที่กระทำต่อชิ้นงานในขณะฉีดน้ำโลหะเข้าไปในโพรงแบบซึ่งเป็นแรงที่พยายามผลักแม่พิมพ์ให้แยกจากกัน สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{แรงเปิดแม่พิมพ์} = \text{ความดันหล่อ} \times \text{พื้นที่การหล่อ}$$

พิจารณารูปที่ 4 แม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่ (Moving side)



โดยที่

A1 = พื้นที่ Biscuit

A2 = พื้นที่ Runner

A3 = พื้นที่ชิ้นงาน

A4 = พื้นที่ Overflow

หาพื้นที่การหล่อ $A = A1 + A2 + A3 + A4$

ดังนั้น

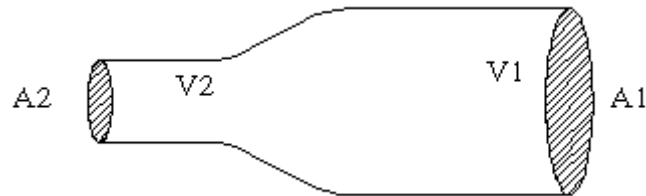
$$F_1 = P_p \times A \dots\dots\dots (1.4)$$

แรงปิดแม่พิมพ์ (Closing force หรือ Locking force : F_d) ของเครื่องไดแคสติงจำเป็นต้องมากกว่าแรงเปิดแม่พิมพ์ไม่เช่นนั้นแล้วจะทำให้เกิดครีปที่ชิ้นงานและเป็นสาเหตุของขนาดที่ใหญ่กว่าค่าจริงโดยทั่วไปจะตั้งค่าให้มากกว่าแรงเปิดแม่พิมพ์อย่างน้อย 10 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือ

$$F_d > (1.1) F_1 \dots\dots\dots (1.5)$$

2.1.7 การคำนวณความเร็วการฉีดและความเร็วที่ทางเข้า

จากทฤษฎีของเบอร์นูลลีสามารถนำมาอธิบาย ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วฉีดและความเร็วที่ทางเข้าได้ดังนี้



อัตราการไหลในท่อ = พื้นที่หน้าตัด X ความเร็ว = ค่าคงที่
นั่นคือ $Q = AV$ มีค่าคงที่เสมอ

จะได้

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \dots \dots \dots (1.6)$$

เมื่อ

A_1 = พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบยิง (A_p)

A_2 = พื้นที่หน้าตัดของทางเข้า (A_g)

V_1 = ความเร็วฉีด (V_p)

V_2 = ความเร็วที่ทางเข้า (V_g)

แทนค่าใน (1.6) จะได้

$$V_p = A_g V_g / V_p \dots \dots \dots (1.7)$$

ในการออกแบบแม่พิมพ์โดยทั่วไปจะกำหนดความเร็วฉีดที่ประมาณ 3.0-4.0 m/s ที่ทำให้ได้ความเร็วที่ทางเข้า 30-40 m/s ซึ่งจะสามารถกำหนดพื้นที่หน้าตัดทางเข้าได้จากนั้นจึงทำการออกแบบทางวิ่ง

2.1.8 ประเภทของเสียจากกระบวนการผลิตแบบไดแคสติง

ประเภทของตำหนิ	สาเหตุ	วิธีแก้ไข
<p>1. โฟรงอากาศ (Air porosity)</p> <p>รูพรุนขนาดค่อนข้างใหญ่ลักษณะผิวรูมักจะเป็นผิวเรียบและมีรูปร่างกลม</p> 	<p>1. เกิดจากการที่อากาศที่อยู่ในท่อหน้าและโพรงแบบไม่ สามารถหนีออกไปได้ทัน ทำให้ตกค้างอยู่ในเนื้องานในขั้นตอนการฉีด</p> <p>2. การออกแบบระบบทางวิ่งและทางเข้าของน้ำอลูมิเนียมที่ไม่ดี</p> <p>3. แม่พิมพ์เย็นเกินไป</p>	<p>1. พิจารณาติดส่วน ล้นและรูระบาย อากาศให้เหมาะสม</p>
<p>2. โฟรงหดตัว (Shrinkage)</p> <p>รูพรุนขนาดใหญ่ลักษณะผิวรูมักจะไม่ เรียบและมีรูปร่างแหลม</p> 	<p>เกิดจากสภาพที่ส่วนในเนื้อ ของชิ้นงาน ซึ่งแข็งตัวเป็นส่วน สุดท้ายมีการหดตัวอัน เนื่องจากการเปลี่ยนสถานะ จากของเหลวเป็นของแข็ง แต่ ไม่มีน้ำโลหะจากรอบข้างที่จะ ไหลมาชดเชยปริมาตรที่ หายไปจากการหดตัวนั้น ทำให้เกิดเป็นโพรงขึ้นมา เกิดกับ บริเวณที่เนื้องานมีความหนา กว่าบริเวณอื่น</p>	<p>1. พยายามปรับแก้ แบบตั้งแต่ขั้นตอนการ ออกแบบชิ้นงาน ใน เนื้องานมีความหนาที่ สม่ำเสมอ ไม่มีความ หนาที่แตกต่างกันมาก นัก 2. แต่ถ้าหลีกเลี่ยง ไม่ได้ ให้ใช้การหล่อ เย็นเฉพาะจุด เพื่อเร่ง ให้ส่วนนั้นแข็งตัวเร็ว ขึ้น</p>

<p>3. ตามด (Pin Hole)</p> <p>รูพรุนขนาดเล็กละเอียด รูปร่างของรูพรุนมีทั้งเป็นรูกลม และเป็นรูแหลม มักจะพบเมื่อนำชิ้นงานไปกลึงขึ้นรูป แล้วจะเห็นเป็นรูพรุนขนาดเล็กโดยตรง ส่วนหน้าของชิ้นงาน ที่ถูกนำไปกลึงเนื้อออก</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนที่ละลายในน้ำโลหะ หรืออาจมีผลของการที่อากาศตกค้างในเนื้องานผสมอยู่ 2. อุณหภูมิน้ำโลหะสูงเกินไป จะทำให้ปริมาณก๊าซที่ละลายเข้าไปในน้ำโลหะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ทำการไล่ก๊าซไฮโดรเจนออกจากน้ำอุณหภูมิเย็นด้วยการบวนการ Degassing 2. ให้ระมัดระวัง อย่งให้น้ำโลหะมีอุณหภูมิเกิน 750 องศาเซลเซียสเด็ดขาด
<p>4. ชีดไม่เต็มแบบ (short fill, incomplete short)</p> <p>น้ำโลหะเข้าไม่เต็มแบบทำให้ชิ้นงานไม่สมบูรณ์</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. เกิดจากการออกแบบผิดพลาด <ol style="list-style-type: none"> 1.1 พื้นที่หน้าตัดของเกตเล็กไป 1.2 โครงสร้างของแม่พิมพ์ ทำให้ อากาศหนีได้ยาก 2. สาเหตุจากน้ำโลหะ <ol style="list-style-type: none"> 2.1 อุณหภูมิน้ำโลหะต่ำเกินไป 2.2 อัตราการไหล (ชีด) ต่ำเกินไป 3 สาเหตุจากแม่พิมพ์ <ol style="list-style-type: none"> 3.1 อุณหภูมิแม่พิมพ์ต่ำเกินไป 	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพิ่มพื้นที่หน้าตัดของเกต 2. เพิ่มโอเวอร์โฟลและแอเวนท์ตรงตำแหน่งที่เกิดปัญหา 3. เลือกใช้อุณหภูมิที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากอุณหภูมิหลอมเหลวของโลหะผสมที่ใช้ ดังนี้ 4. เพิ่มความเร็วชีด 5. รักษาวงรอบการทำงาน (ไซเคิล) ให้สม่ำเสมอ

<p>5. ผิวเย็น (Cold line) มีลักษณะเป็นรอยย่นบาง ๆ ที่ผิวชิ้นงาน</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1.ขนาดของเกทเล็กทำให้น้ำโลหะไหลเข้าสู่โพรงแบบได้ช้าแล้วเกิดการเย็นตัว 2. แอร์เวนที่อุดตัน 3. แม่พิมพ์บริเวณนั้นเย็นเกินไปทำให้น้ำโลหะเย็นตัวอย่างรวดเร็ว 	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพิ่มขนาดของเกทหรือปรับเปลี่ยนรันเนอร์ให้น้ำโลหะไหลเข้าแบบโดยที่ยังมีอุณหภูมิสูงอยู่ 2. ตรวจสอบแอร์เวนที่ว่าอุดตันหรือไม่ 3. ใช้ระบบให้ความร้อนเฉพาะจุด
<p>6. Cold Shut หรือ cold fold</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1.โลหะที่ถูกฉีดเข้าแบบมีความร้อนไม่เพียงพอทำให้แข็งตัวก่อนบางส่วน 2. เกิดจากทิศทางการไหลของน้ำโลหะที่ไหลเข้าแบบไม่เป็นทิศเดียว 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ทำให้น้ำโลหะสามารถคงความร้อนภายในโพรงแบบได้โดยใช้การให้ความร้อนแบบ Cooling oil system 2. แก้ไขแบบของรันเนอร์ และการเพิ่มแอร์เวนที่เป็นวิธีที่ได้ผลดี

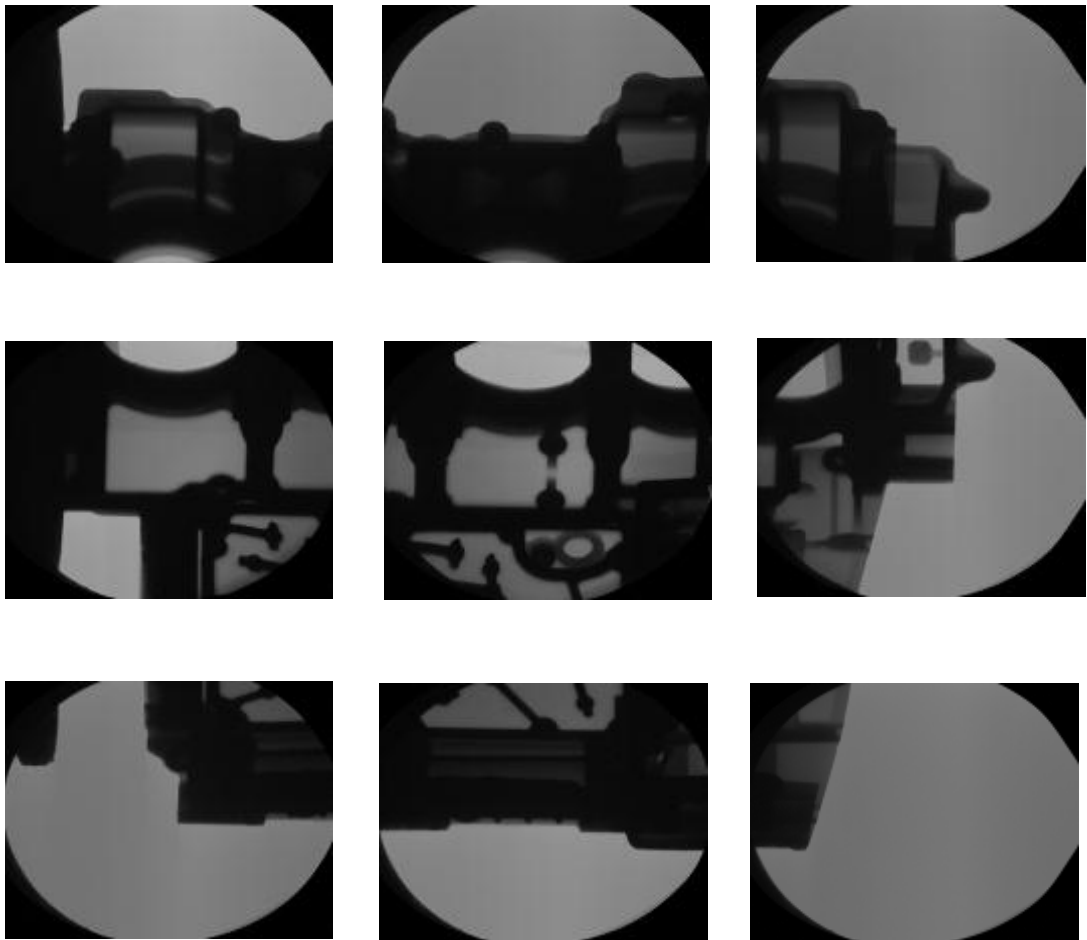
<p>7. ผิวยุบมนูน (Blister)</p> 	<p>เกิดจากการที่ก๊าซในโพรงแบบไม่สามารถหนีออกได้ทัน ทำให้ตกค้างอยู่ในเนื้องาน และเกิดชั้นบาง ๆ คลุมที่ผิวยุบมนูนโดยที่ได้ชั้นบางนั้นเป็นก๊าซที่ตกค้างดังกล่าวซึ่งจะขยายตัวเนื่องจากความร้อน และทำให้เห็นผิวยุบมนูนขึ้นเป็นรอยบวม</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพิ่มแอร์เวนท์ เพื่อให้อากาศหนีได้ง่าย 2. ลดอุณหภูมิแม่พิมพ์เฉพาะจุดที่เกิดตำหนิแบบนี้โดยใช้การหล่อเย็นเฉพาะจุด 3. ลดความเร็วฉีดที่สอง
<p>8. รอยครีป (Flash)</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. เกิดตรงบริเวณเส้นแนวแบ่งของแม่พิมพ์ เนื่องจากแรงปิดแม่พิมพ์น้อยกว่าแรงฉีด 2. มีเศษติผิวแม่พิมพ์ทำให้แม่พิมพ์ปิดไม่สนิท 	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพิ่มแรงปิดแม่พิมพ์ 2. ทำความสะอาดโดยการเป่าด้วยลมที่ตามเส้นแนวแบ่งระหว่างการผลิตอย่างสม่ำเสมอ
<p>9. รอยแตก (Cracking)</p> 	<p>ในแง่ของมิติชิ้นงาน เนื้องานส่วนที่หนากว่าบริเวณรอบข้าง ซึ่งจะทำให้มีอุณหภูมิสูงกว่าด้วยนั้น มักจะมีโอกาสแตกขณะร้อน</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ถ้าอุณหภูมิแม่พิมพ์ต่ำ จะมีโอกาสแตกขณะร้อนสูงขึ้น 2. พยายามออกแบบให้ชิ้นงานมีความหนาสม่ำเสมอ

<p>10. การยุบตัว (Sink) ลักษณะเป็นรอยยุบลงไปในงาน</p> 	<p>เป็นผลจากการหดตัวของโลหะมักเกิดตรงส่วนหนาของชิ้นงาน</p>	<p>ใช้การหล่อเย็นเฉพาะจุด (Spot Cooling) เพื่อแก้ไข</p>
<p>11. รอยไหม้, หลอมติด (Soldering)</p> 	<p>รอยตำหนิที่เกิดจากการที่มีโลหะบางส่วนหลอมติดกับผนังแม่พิมพ์ แล้วชวนตั้งกับผิวชิ้นงานจนเกิดเป็นรอยขึ้นเกิดได้ง่ายในบริเวณที่ร้อนกว่าจุดอื่นโดยเฉพาะบริเวณใกล้เกต</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ลดอุณหภูมิแม่พิมพ์ 2. พิจารณาเปลี่ยนทิศทางของเกต 3. ใช้การหล่อเย็นเฉพาะจุดด้วยน้ำยาสเปรย์เข้าช่วย
<p>12. ผิวร่อน(Scaling) ผิวชิ้นงานบางส่วนมีลักษณะร่อนและลอกเป็นแผ่นบาง ๆ</p> 	<p>เกิดจากทั้ง Solidified Chill Zone และก๊าซที่ตกค้างในเนื้องานทำให้เกิดลักษณะเป็นชั้นโลหะที่ผิว</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพิ่มความเร็วในการฉีด 2. พิจารณาเพิ่มแอร์เวนท์ ทำความสะอาดแอร์เวนท์เป็นประจำ (โดยกำหนดตารางเวลา) 3. ปรับแก้แบบของทางเข้า

<p>13. ชีงงานบีดเบ็ยว</p> <p>ขณะถึถอดแบบหรือนำชีงงานออกจากแม่มพิมพ์ (ทั้งฝังฟิกส์, ฝังเคล็อนที่ และตัวไล้แบบ) เกิดแรงกระทำต่อชีงงานมากจนกระทั่งชีงงานเสียรูป</p>	<p>เกิดจากการชูดช้วนจากการใช้ค่าอันเดอรัคัดและจำนวนของเข็มกระทำถึใช้ดันชีงงานออกอย่างไม้เหมาะสม รวมทั้งตำแหน่งดังกล่าวไม้เหมาะสม</p>	<p>กำหนดมุดมอดของไล้แบบและตำแหน่งรวมทั้งจำนวนเข็มกระทำถึที่เหมาะสม</p>
<p>14. ของเสียเนื่องจกชีงงานรั้ว (Pressure test fail)</p> <p>เมื่อนำชีงงานไปทดสอบอัดน้ำมันหรืออากาศ (ตามลักษณะการใ้ใช้งานจริง) แล้วปรากฏว่าตัวกลางเหล่านั้รั้วซึมผ่านเนือชีงงานออกมาได้</p>	<p>1. รั้วผ่านโพรงหดตัว</p> <p>2. ชีงงานแตกรั้วเนื่องจกความร้อนที่จุดนั้นสูงเกินไป (Over heat)</p>	<p>1. พิจารณาใ้การหล่อเย็นเฉพาะจุด</p> <p>2. ปรับการพ่นน้ำยาสเปรย์ให้ตรงจุด</p>

2.1.9 วิธีการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน

1. การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานภายนอก ด้วยสายตา (Visual aid) ใช้สำหรับตรวจหาของเสียที่ผิวได้แก่ของเสียประเภท ชีดไม่เต็มแบบ ผิวย่น ผิวร่อน รอยแตก รอยไหม้ ผิวบวมบูน
2. การตรวจสอบคุณภาพภายในด้วยเครื่อง X-RAY เพื่อตรวจสอบของเสียประเภทโพรงอากาศ



รูปที่ 2.8 แสดงผลการตรวจด้วยเครื่อง X-RAY

2.1.10 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE)

การออกแบบการทดลอง มีจุดประสงค์ที่จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงตัวแปรอิสระเรียกว่าปัจจัย (factors) ของกระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนอง (Response) ของกระบวนการนั้น

ในกระบวนการหนึ่งๆ อาจจะมีปัจจัย บางตัวไม่อาจจะควบคุมได้และถึงแม้จะเป็นเหตุให้เกิดผล กระกระทบต่อกระบวนการก็ตาม เราก็จำเป็นต้องละเลยหรือปล่อยให้ตัวแปรเหล่านี้เป็นไปตามธรรมชาติของมัน ในการออกแบบการทดลองเราจะเรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Noise แต่ตัวแปรบางตัว เราไม่สามารถปล่อยให้มันเปลี่ยนแปลงไปตามธรรมชาติของมันได้ เพราะมันมีผลต่อกระบวนการ มากกว่าตัวแปร Noise เราจะต้องควบคุมตัวแปรเหล่านี้ให้เปลี่ยนแปลงอยู่ในตำแหน่งและช่วงใด ช่วงหนึ่งที่มีผลเสียต่อกระบวนการน้อยที่สุด เราเรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Key Process Input Variable หรือ KPIV ในขณะที่เดียวกันเราจะรู้ประสิทธิภาพหรือความเป็นไปของกระบวนการได้ก็ โดยการวัดด้วยตัวชี้วัด เช่นเดียวกันกระบวนการหนึ่งๆ อาจจะวัดด้วยตัวชี้วัดเพียงตัวเดียว หรือ มากกว่า 1 ตัวก็ได้ วิธีวัดก็ได้ทั้งวัดด้วยเครื่องมือวัดซึ่งจะได้ค่าเป็นค่าต่อเนื่อง (Continuous data) หรือเรียกว่าตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantitative variable) ถ้าวัดได้ด้วยการนับ การสังเกต ซึ่งจะได้ค่าเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง (Discrete data) หรือเรียกว่าตัวแปรเชิงคุณภาพ (Qualitative variable) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นเราจะไม่สามารถวัดตัวแปร Output ของกระบวนการได้ทุกตัว จำเป็น จะต้องวัดเฉพาะตัวแปรที่เราเห็นว่าบอกหรือสื่อถึงประสิทธิภาพหรือผลที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้ดีที่สุดหรือมากที่สุดเท่านั้น เราเรียกตัวแปรที่เราคัดเลือกมานี้ว่า Key Process Output Variable หรือ KPOV

จากรูปที่ 1 ตัวแปรเข้า Input factors ที่เห็นนั่นคือตัวแปรที่พิสูจน์แล้วว่าเป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการมาก และ Output factors ที่ปรากฏก็เป็นตัวชี้วัดที่จะบ่งบอกถึงกระบวนการได้ดีที่สุด ซึ่งมีทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดได้คือความหนา การหดตัวของชิ้นงาน และที่นับหรือสังเกตด้วยคนเท่านั้น คือจำนวนชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์หรือมีตำหนินั่นเอง เมื่อต้องใช้ DOE นั้นจะไม่นิยมใช้ Response หลายตัวในการทำครั้งหนึ่ง

ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

1. กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem statement) จะต้องชัดเจน เข้าใจได้ง่ายและเป็นรูปธรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง อะไรที่กำลังเป็นปัญหา (What) ลักษณะของปัญหาเป็นอย่างไร (How) และพบปัญหานั้นที่เ็นช่วงเวลาใด (Where) เป็นต้น
2. การเลือกปัจจัย (Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment) จำเป็นที่จะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง ซึ่งสามารถเลือกจากกรรมวิธีคัดกรองโดยเครื่องมือทางสถิติ เช่น T-Test เป็นต้น ผู้ที่มีความรู้หรือเชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นๆ ก็เป็นผู้ที่สามารถให้คำแนะนำที่ดีในการเลือกปัจจัย และการกำหนดระดับของปัจจัยด้วย
3. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) จะต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ ทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดและวัดด้วยกระบวนการวัดอื่นๆ เช่น การนับ และจะต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่ต้องการศึกษานั้นได้ดี
4. เลือกแบบทดลอง (Experiment design) เช่น การกำหนดจำนวนตัวอย่าง วิธีการเลือกตัวอย่าง วางแผนการทำการทดลอง วิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น
5. ดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ให้เป็นไปตามแผนการ ทั้งวิธีการดำเนินการ ความถูกต้องในการวัด การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และเก็บผลการทดลอง
6. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) เช่นการ Run computer program เพื่อให้ได้ผลออกมา รวมถึงการตรวจสอบ ลักษณะและคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การพิสูจน์ทราบความถูกต้องของ Model ที่ได้ (Model adequacy checking) หาค่าระดับนัยสำคัญของอิทธิพลของแต่ละปัจจัย โดยปกติ DOE จะใช้ ANOVA ในการวิเคราะห์ข้อมูล
7. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ ผู้ดำเนินการทดลองจะเป็นผู้เข้าใจที่ไปที่มาของข้อมูลดี และมองออกว่าผลที่ได้เป็นเช่นนั้นเพราะอะไร การดำเนินการมีข้อบกพร่องตรงไหน มีสาระสำคัญอะไรที่ผู้อ่านรายงานควรจะรับรู้ เพื่อดำเนินการศึกษาต่อยอด ซึ่งสามารถนำไปเป็นบรรทัดฐานได้ ผู้บริหารหน่วยงานอาจจะสนใจข้อวิเคราะห์ ความคิดเห็น ของผู้ดำเนินการมากกว่าผลที่ปรากฏก็เป็นได้

การออกแบบการทดลอง

1. กำหนดเป้าหมาย ที่จะต้องทำให้มีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลให้น้อยที่สุด ให้ได้สาระสำคัญของตัวปัจจัยที่เรากำลังพิจารณาให้มากที่สุด ให้ใช้ต้นทุนและเวลาดำเนินการน้อยที่สุด
2. กลยุทธ์และวิธีการดำเนินการที่ดี ควรจะเริ่มจากเข้าใจสภาพปัญหาอย่างถ่องแท้ และรู้ว่าตัวผู้ดำเนินการหรือผู้บริหารต้องการสิ่งใด

3. สิ่งที่ต้องยึดถือและต้องทำให้ได้ 3 ประการ

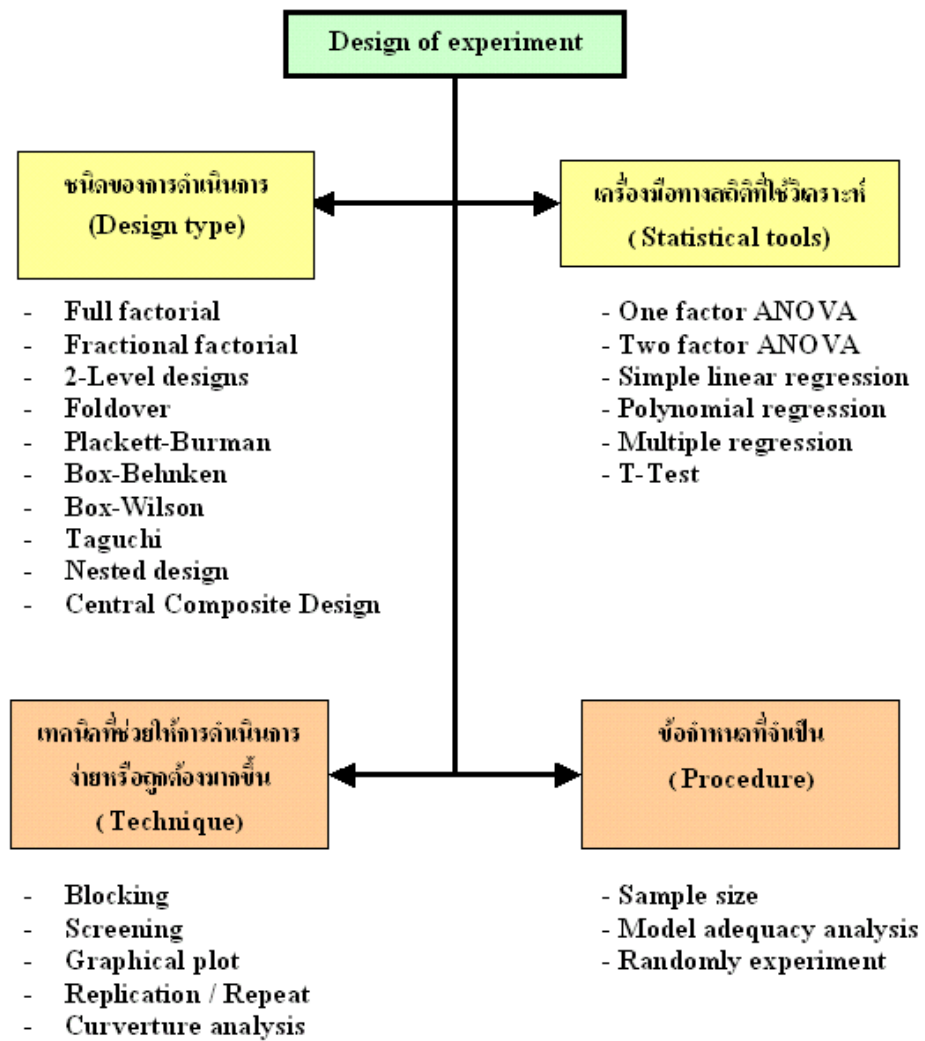
3.1 การสุ่ม (Randomization) การดำเนินการใดๆกับปัจจัยจะต้องอิสระ เพื่อให้ข้อมูลแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน นอกจากนั้นจะต้องคำนึงถึง หลักการกระจายอย่างทั่วถึงสมดุล (Balance out) สำหรับปัจจัยอื่นที่เราไม่อาจควบคุมได้

3.2 การทำซ้ำ (Replication) หมายถึงการดำเนินการทดลองซ้ำอีกครั้ง เพื่อจุดประสงค์ 2 อย่างที่สำคัญคือ

- เพื่อให้สามารถมองเห็นและประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้ การดำเนินการวิเคราะห์จะนำเอาค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวไปประเมินว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อกระบวนการบ้าง

- เพื่อกำจัดทิ้งความคลาดเคลื่อน (Average out) อิทธิพลที่ไม่สามารถควบคุมได้ ที่มีต่อปัจจัยเปรียบดั่งเช่นการหาค่าเฉลี่ยนั่นเอง เป็นวิธีการในการประเมินค่าอิทธิพลของปัจจัยอีกอย่างหนึ่ง

3.3 การบล็อก (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มความแม่นยำ (Precision) ของการทดลอง หรือคือเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลอง



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างการออกแบบการทดลอง

2.1.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis Of Variance : ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่าง ค่าเฉลี่ย (mean) ของกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป อันเกิดจากการจัดกระทำที่ต่างกัน

จุดเด่นของการวิเคราะห์ความแปรปรวน

1. ใช้ในการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยจากกลุ่มตัวอย่างมากกว่า 2 กลุ่มขึ้นไป
2. ใช้วิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิจัยที่ออกแบบซับซ้อนหรือมีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวได้
3. สามารถทดสอบได้ว่าตัวแปรอิสระสองตัวหรือมากกว่ามีปฏิสัมพันธ์ (interaction) กันหรือไม่

ข้อตกลงเบื้องต้น

เนื่องจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนใช้ F เป็นสถิติทดสอบ โดยที่ F เป็นอัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Mean Square Between) กับความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Mean Square Within) การวิเคราะห์ความแปรปรวนจึงมีข้อตกลงเบื้องต้นเกี่ยวกับลักษณะข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยสุ่มจากประชากร (Random Sampling) และหากกลุ่มตัวอย่างเลือกมาโดยการสุ่มจากประชากรที่มีการกระจายเป็นโค้งปกติ ในการคำนวณค่า F ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Mean Square Between) และความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Mean Square Within) จะเป็นอิสระจากกัน

2. ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จะต้องได้มาจากประชากรที่มีความแปรปรวนเท่ากันทุกกลุ่ม (Variance Homogeneity) $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 = \sigma^2$

3. ความเป็นปกติ (Normality) ตัวอย่างแต่ละกลุ่มสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติ หากจำเป็นต้องแปลงข้อมูล (Transformation) ให้มีการแจกแจงแบบโค้งปกติก่อน หรือเพิ่มตัวอย่างให้มีขนาดมากขึ้น และใช้กลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดเท่าๆ กันในแต่ละกลุ่มจะหลีกเลี่ยงการละเมิดข้อตกลงข้อนี้ได้

4. ข้อมูลของตัวแปรตามที่นำมาวิเคราะห์ต้องอยู่ในมาตราอันดับหรืออัตราส่วน ส่วนตัวแปรอิสระเป็นตัวแปรประเภทพหุวิภาค (Polychromatic)

หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ความแปรปรวนของข้อมูลหรือคะแนน หรือค่าการวัดนั้น พิจารณาจากแหล่งที่มา แบ่งได้ เป็น 3 แหล่ง คือ

1. ความแปรปรวนรวม (Total group Variance หรือ mean square total : MS_T) เป็นความแปรปรวนอันเกิดจากคะแนนแต่ละตัวเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มรวม
2. ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between-Treatment Variance หรือ mean square between group : MS_B) เป็นความแปรปรวนของค่าตัวแปรตามระหว่างตัวแปรต้นแต่ละกลุ่ม ซึ่งความแปรปรวนที่เกิดขึ้นนี้อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของตัวแปรต้น หรืออาจเกิดจากอิทธิพลของตัวแปรต้นเกิดขึ้นอย่างสุ่ม (chance) ที่เนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างตัวอย่างหรือเกิดจากความคลาดเคลื่อนในการทดลอง เช่น ใช้การวัดที่แตกต่างกัน
3. ความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within Treatment Variance หรือ mean square within group : MS_W) เป็นความแปรปรวนอันเกิดจากคะแนนแต่ละตัวในแต่ละกลุ่มเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม ซึ่งความแปรปรวนชนิดนี้ คือ ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนนั่นเอง

การวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นการนำความแปรปรวนของตัวแปรหรือปรากฏการณ์มา แบ่งเป็นส่วน ๆ ตามความต้องการของผู้วิจัย แล้วนำความแปรปรวนแต่ละส่วนมาเปรียบเทียบกัน ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย กล่าวคือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการเปรียบเทียบความแปรปรวนอันเกิดจากความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม ซึ่งเป็นผลของตัวแปรอิสระ กับความแปรปรวนภายในกลุ่มหรือความคลาดเคลื่อน ว่าตัวใดมีค่ามากกว่ากัน ในการทดสอบสมมติฐานจึงใช้อัตราส่วนของความแปรปรวนอันเกิดจากความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม (Between-group Variance) กับความแปรปรวนภายในกลุ่ม อันเกิดจากความคลาดเคลื่อน (Within-group หรือ error Variance) เป็นหลักในการตัดสินใจ และเรียกอัตรานี้ว่า F-ratio

$$F = \frac{\text{ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม}}{\text{ความแปรปรวนภายในกลุ่ม}}$$

โดยมี $df = (df \text{ ระหว่างกลุ่ม, } df \text{ ภายในกลุ่ม})$

$$F = \frac{MSB}{MSW}$$

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว หรือ One-way ANOVA เป็นวิธีการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นตัวเดียวกับตัวแปรตามเพียงตัวเดียวโดยที่ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอาจมีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ (Qualitative Variable) ที่จำแนกออกเป็นระดับหรือประเภทต่าง ๆ เช่น เก่ง-ปานกลาง-อ่อน ดีมาก-ดี-พอใช้-แย เป็นต้น ส่วนตัวแปรตามอาจมีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantitative Variable) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นว่าจะส่งผลอย่างไรกับตัวแปรตาม ตามสมมติฐานการวิจัยที่กำหนดไว้

สูตรและตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

Source of Variation	sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F-statistic
Between groups (Treatment)	$SSB = \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{n}$	k-1	$MSB = \frac{SSB}{k-1}$	$F = \frac{MSB}{MSW}$
Within groups (Error)	$SSW = SST - SSB$	n-k	$MSW = \frac{SSW}{n-k}$	
Total	$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{T^2}{n}$	n-1		

โดยที่ $SST = SSB + SSW$

จากตารางข้างต้นสามารถเขียนโดยสรุปได้ดังนี้

Source of Variance	Df	Sum Square (SS)	Mean Square (MS)	F-ratio
Between Groups	k-1	SSB	MSB	$f = \frac{MSB}{MSW}$
Within Groups	n-k	SSW	MSW	
Total	n-1	SST		

1.4 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานมีดังนี้

1. ตั้งสมมติฐาน

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

H_1 : มีอย่างน้อยหนึ่งคู่ที่ไม่เท่ากัน

2. กำหนดระดับนัยสำคัญ (α)

3. กำหนดตัวสถิติทดสอบและคำนวณค่า

(ตัวสถิติทดสอบคือเอฟ และ สร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน)

4. คูบริเวณการทดสอบ

5. ถ้าค่าเอฟที่คำนวณน้อยกว่าค่าที่เปิดจากตาราง หมายถึงค่าที่คำนวณได้จากตัวอย่างตกบริเวณยอมรับ H_0 ตัดสินใจยอมรับ H_0 สรุปว่าไม่มีเหตุผลเพียงพอที่ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หากค่า f ที่คำนวณได้มากกว่าค่าในตาราง หมายถึงค่าที่คำนวณได้จากตัวอย่างตกบริเวณปฏิเสธ H_0 ตัดสินใจปฏิเสธ H_0 และ สรุปผลว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ที่ไม่เท่ากัน

t -test เป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 2 ค่า (2 กลุ่ม) แต่ถ้ามี 3 กลุ่ม ต้องทดสอบถึง 3 ครั้ง กล่าวคือ กลุ่มที่ 1 – กลุ่มที่ 2 , กลุ่มที่ 2 – กลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 2 – กลุ่มที่ 3 ซึ่งทำให้เสียเวลาและความคลาดเคลื่อน ประเภทที่ 1 (Type I Error) จะเพิ่มขึ้น เช่น กำหนด $\alpha = 0.5$ ถ้าทดสอบ t-test 3 ครั้ง จะทำให้ α ที่ได้จะเท่ากับ $1 - (1 - \alpha)^{k-1}$ เมื่อ k คือจำนวนกลุ่มผลที่ได้ จะทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่ 1 แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ โดยบังเอิญมากขึ้น (Levin . 1983 ; Chase .1968) ดังนั้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่มากกว่าสองค่าจึงทดสอบด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน ด้วยสถิติ F-test

การทดสอบความแปรปรวนนั้น ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระ 1 ตัวจะเรียก One – way ANOVA , 2 ตัว เรียก Two –way ANOVA และ ถ้ามีตัวแปรอิสระ 3 ตัว ก็จะเป็นการวิเคราะห์ 3-way ANOVA ซึ่งการวิเคราะห์และการตีความก็จะยากขึ้นตามลำดับ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two- way ANOVA)

ข้อตกลงเบื้องต้นในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

1. ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ (ตัวแปรตาม) ต้องมีระดับการวัดตั้งแต่มาตราอันตรภาค (Interval scale) ขึ้นไป
2. กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติ
3. กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มต้องเป็นอิสระจากกัน
4. กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มมาจากประชากรที่มีความแปรปรวนเท่ากัน

สมมติฐาน

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน นั้น สมมติฐานไร้นัยสำคัญ (Null hypothesis) จะกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของประชากรแต่ละกลุ่ม มีค่าเท่ากัน สอบสมมติฐานทางเลือก (Alternative hypothesis) กำหนดให้ว่าจะมีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกัน เขียนเป็นสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

H_1 : มี μ อย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกัน

(หรือ $H_1 : \mu_i \neq \mu_j$ เมื่อ $i \neq j$)

ค่าสถิติที่ต้องคำนวณ

สิ่งสำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือการคำนวณผลบวกของคะแนนเบี่ยงเบนยกกำลังสอง (The sum of square) ซึ่งเป็นค่าที่จะนำไปหาค่าความแปรปรวน

1. Total sum of squares (SS_T)หาได้จาก

$$\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^n X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N} \quad \text{หรือ} \quad SS_T = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X})^2$$

2. Between – groups sum of squares (SS_B)

$$\sum_{j=1}^K \left(\frac{T_j^2}{n_j} \right) - \frac{T^2}{N} \quad \text{หรือ} \quad \sum_{j=1}^K n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2$$

3. Within – group sum of squares (SS_w)

$$\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \sum_{j=1}^K \left(\frac{T_j^2}{n_j} \right) \quad \text{หรือ} \quad \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} \left(X_{ij} - \bar{X}_j \right)^2$$

ค่า SS_T หรือ SS_B และ SS_w เมื่อหารด้วยค่าองศาอิสระ (df) ของแต่ละตัวจะหมายถึง ความแปรปรวน (Mean of square : MS) โดยมี $df_T = N - 1$, $df_B = K - 1$ และ $df_w = N - K$ เมื่อ N คือจำนวนข้อมูลหรือกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดและ K คือจำนวนกลุ่ม การคำนวณค่าสถิติ F – test

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 3 ค่าขึ้นไปนั้นจะใช้ F – test สำหรับการทดสอบซึ่งในกรณีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวนี้ ค่า F หาได้จากอัตราส่วน ความแปรปรวนโดยหาจากความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (SS_B) หารด้วยความแปรปรวนภายในกลุ่ม (SS_w) ซึ่งมีค่า $df = K - 1$ (degree of freedom for the numerator) และ $df_L = N - K$ (degree of freedom for the denominator) การหาค่า F – test สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

Source of Variation	SS	Df	MS	F
Between groups	SS_B	$K - 1$	$SS_B / K - 1$	MS_B / MS_w
Within groups	SS_w	$N - K$	$SS_w / N - K$	
Total	$SS_B + SS_w$	$N - 1$		

ความหมายของสัญลักษณ์

T_i = ผลรวมของคะแนน n ค่าในแต่ละกลุ่ม

T = ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

n_j = จำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่ม

K = จำนวนกลุ่ม

X_{ij} = ข้อมูลตัวที่ i ในกลุ่ม j

\bar{X}_j = ค่าเฉลี่ยของกลุ่ม j

\bar{X} = ค่าเฉลี่ยรวม

$$\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 = \text{ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสองทุกๆค่าในทุกกลุ่ม}$$

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุชาติ ชิวสารณ์ : ผลกระทบของปัจจัยการควบคุมที่มีต่อสมบัติของอะลูมิเนียม ในกระบวนการฉีดแบบ ไดแคสติ้ง (INFLUENCE OF CONTROLLING FACTORS ON ALUMINIUM PROPERTIES IN THE DIE CASTING PROCESS) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร, 134 หน้า. ISBN 974-636-504-5.

ศึกษาปัจจัยการควบคุมในการผลิตที่สำคัญที่มีต่อคุณสมบัติของชิ้น งานอะลูมิเนียมในกระบวนการผลิตแบบไดแคสติ้ง ได้แก่ ระยะเวลาเคลื่อนที่ของลูกสูบในช่วงของการเคลื่อนที่เข้า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบในช่วงการเคลื่อนที่เข้า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบในช่วงการ เคลื่อนที่เร็ว ความดันในการอัดชิ้นงานในช่วงการแข็งตัว เวลาในการปล่อยให้ชิ้นงานแข็งตัวในแม่พิมพ์ รวมถึงการปรับอัตราการหล่อเย็นของน้ำหล่อเย็นในแม่พิมพ์ โดยมุ่งเน้นผลทางด้านคุณภาพที่สอดคล้องในเรื่อง ของโครงสร้างทางจุลภาคและทางกล

Scott Kirkman. Shrinkage Porosity, A guide to correcting the problem., North American Die Casting Association, 2006

ศึกษาวิจัยปัญหา (defect) ต่างๆที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานในอุตสาหกรรมไดคาสติ้ง โดยมีการศึกษาเชิงลึกรอบด้านและได้อธิบายถึงลักษณะและสาเหตุของการเกิดรูพรุนอากาศอย่างละเอียดพร้อมทั้งกำหนดวิธีการแก้ปัญหาอย่างตรงประเด็นและชัดเจน

TSZENG, T.C. and CHU, YJL. (1994)

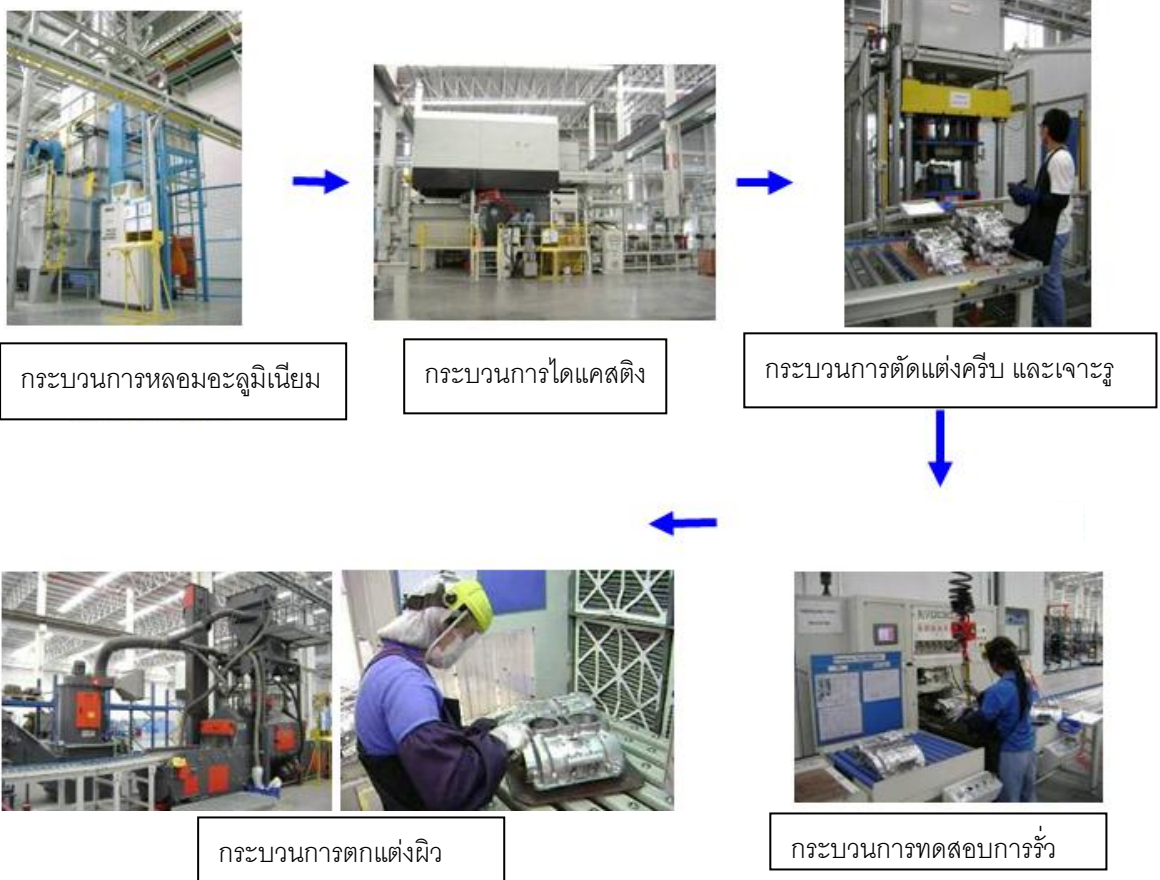
ได้ศึกษาถึงเรื่อง A Study of Wave Formation in Shot Sleeve of a Die Casting Machine

เป็นการศึกษาหาค่าของตัวแปรที่เหมาะสม เพื่อให้อากาศเข้าไปผสมใน อะลูมิเนียมในช่วงการฉีดแรก (Slow Shot speed) น้อยที่สุด โดยการคำนึงถึงผลของความเร็ว ของลูกสูบ, ความเร่ง อัตราส่วนเริ่มต้นของน้ำอะลูมิเนียมในท่อนำส่ง (Shot Sleeve) ขนาดความโตของลูกสูบ ซึ่งในการศึกษานี้จะศึกษาทั้งผลของรูปคลื่นที่เกิดขึ้นใน Shot Sleeve สำหรับจุดประสงค์การ ศึกษาคือ ต้องการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการทำนายผลของรูปคลื่นที่เกิดขึ้นใน Shot Sleeve โดยพยายามหาจุดที่เหมาะสมของความเร็วที่ทำให้เกิดอากาศแทรกภายในน้อยที่สุด

บทที่ 3 สภาพปัญหา

กระบวนการผลิต

- ในกระบวนการผลิตชิ้นงานประกอบไปด้วยขั้นตอนการผลิตและกรรมวิธีหลายขั้นตอน เริ่มต้นที่
1. กระบวนการหลอมอะลูมิเนียมโดยตั้งค่าหลอมเหลวที่ 750 องศาเซลเซียส
 - 2 กระบวนการไดแคสติงเป็นการหล่อขึ้นรูปชิ้นงานด้วยแรงดันสูงระหว่าง 700-900 บาร์
 - 3.กระบวนการตัดแต่งชิ้นงาน
 4. กระบวนการทดสอบการรั่วโดยการอัดอากาศที่มีความดัน 1 บาร์เข้าไปในชิ้นงานแล้ววัดอัตราการรั่วซึมของอากาศ
 5. กระบวนการตกแต่งผิวชิ้นงานด้วยการขัดหยาบด้วยเครื่องมือขัด และตกแต่งละเอียดด้วยเครื่องยิงทราย



รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตโดยรวม

กระบวนการแบบผลิตไคแคสติง

องค์ประกอบของการผลิตแบบไคแคสติง

ในงานไคแคสติงมีองค์ประกอบหลักที่สำคัญๆคือ

- เครื่องไคแคสติง
- แม่พิมพ์
- ระบบควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์
- โลหะหรืออัลลอยด์
- ระบบหล่อเย็นและเคลือบผิวแม่พิมพ์
- เตาทลอมและเตาอุ่น
- เครื่องทำความสะอาดอะลูมิเนียมเหลว

1. เครื่องไคแคสติงที่ใช้ในการศึกษาเป็นแบบเครื่องฉีดแนวอนแบบวางเย็น (The horizontal cold chamber system) ยี่ห้อ Muller Weingarten จากประเทศเยอรมนี เครื่องฉีดแนวอนแบบวางเย็นจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่างๆคือ ส่วนของหน้าเครื่องที่ใช้ประกอบแม่พิมพ์ ส่วนของการส่งกำลังเพื่อการอัดน้ำอะลูมิเนียมเข้าสู่แม่พิมพ์ การกดอัดหน้าเครื่องเพื่อให้มีกำลังต้านแรงดันในแม่พิมพ์ ส่วนของรางเลื่อนในการเคลื่อนที่ของหน้าเครื่อง ส่วนของตู้ควบคุมในการฉีดส่วนของการกระทุ้งขึ้นงานในแม่พิมพ์ออก

ขนาดของเครื่องฉีดจะถูกกำหนดด้วยแรงดันปิดหน้าเครื่อง มีหน่วยเป็นตัน เครื่องที่มีแรงดันปิดหน้าเครื่องสูงๆจะมีขนาดโครงสร้างที่ใหญ่ ดังนั้นจึงสามารถใช้ผลิตงานที่มีขนาดใหญ่ และต้องการนำไปใช้งานรับแรงดันสูง

2. อะลูมิเนียมอัลลอยด์ที่ใช้คืออะลูมิเนียมซิลิกอนอัลลอยด์ เกรด ADC12 ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD)

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของ ADC12

Chemical Composition	%
Cu	1.5-3.5
Si	9.6-12.0
Mg	0.3 max
Zn	1.0 max
Fe	1.3 max
Mn	0.5 max
Ni	0.5 max
Sn	0.3 max

คุณสมบัติทั่วไป

- สามารถแปรรูปโดยกรรมวิธีการตัดแต่งได้ง่าย
- สามารถหล่อหลอมขึ้นรูปได้ดี

คุณสมบัติทางกล

- ความแข็งแรงทางดึง (Tensile Strength) 23 Kgf/mm²
- เปอร์เซนต์ความยืดหยุ่น (% Elongation) 1.5 %

ลำดับขั้นของการผลิตแบบไดแคสติง

ในการฉีดงานไดแคสติงจะมีลำดับขั้นตอนการทำงานที่เหมือนกัน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงวงจรการผลิตแบบไดแคสติง

วงจรการผลิตชิ้นงานหนึ่งชิ้น
1. เคลือบผิวแม่พิมพ์
2. แม่พิมพ์ปิด
3. เติมน้ำอะลูมิเนียมในท่อนำส่ง
4. ลูกสูบเคลื่อนที่เพื่อดันอะลูมิเนียมเข้าไปในแม่พิมพ์
5. อัดแรงดัน
6. หล่อเย็น
7. แม่พิมพ์เปิด
8. เอาชิ้นงานออก

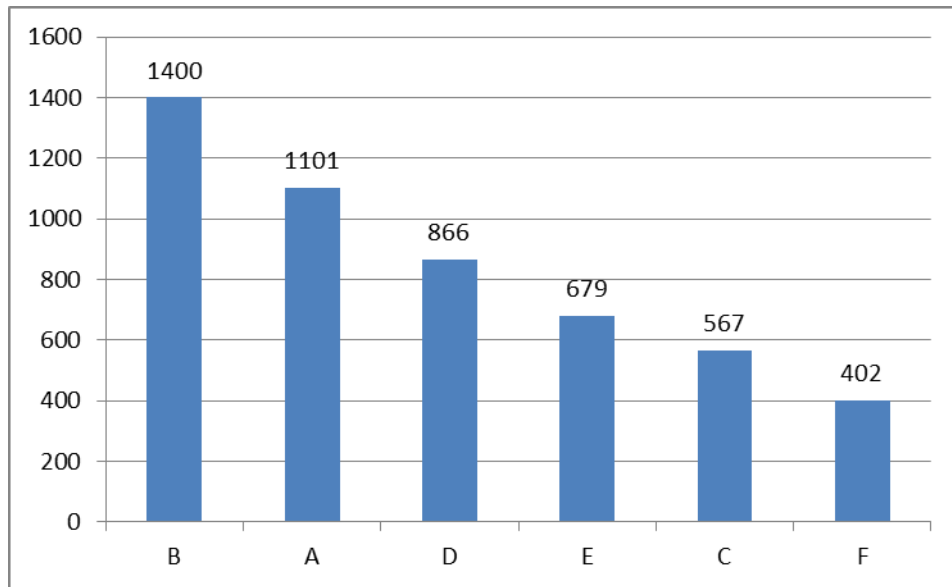
สภาพปัญหาและของเสีย

ตารางที่ 3.3 แสดงข้อมูลของเสียระหว่างเดือน มีนาคม ถึง สิงหาคม 2554 โดยกำหนดให้
 ขอบกพร่อง A คือโพรงอากาศ B คือโพรงหดตัว C คือ ไม่เต็มแบบ D คือผิวพอง E คือผิวร่อน และ
 F คือรอยแตก

จากการคำนวณ ได้ค่าจำนวนของเสียโดยรวมต่อหน่วย (DPU) เท่ากับ 3.48

ตารางที่ 3.3 แสดงของจำนวนของเสียแต่ละประเภทระหว่างเดือน มีนาคม-สิงหาคม 2554

เดือน	จำนวน ผลิต	จำนวน ของเสีย	เปอร์เซ็นต์ ของเสีย	จำนวนข้อบกพร่อง						รวม	DPU
				A	B	C	D	E	F		
มีนาคม	8964	317	3.54%	242	329	128	182	143	87	1111	3.50
เมษายน	8945	324	3.62%	238	332	124	176	142	89	1101	3.40
พฤษภาคม	7853	293	3.73%	228	314	121	168	136	83	1050	3.58
มิถุนายน	4663	167	3.58%	127	142	64	113	86	48	580	3.47
กรกฎาคม	4785	172	3.59%	132	146	67	118	89	52	604	3.51
สิงหาคม	4682	168	3.59%	134	137	63	109	83	43	569	3.39
รวม	39892	1441	3.61%	1101	1400	567	866	679	402	5015	3.48



รูปที่ 3.2 กราฟแท่งเปรียบเทียบจำนวนข้อบกพร่องรวมแต่ละประเภท

จากรูปที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนข้อบกพร่องของแต่ละประเภทจากมากไปหาน้อยโดยพบว่าข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว (B) มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1400 ข้อบกพร่องรองลงมาได้แก่ข้อบกพร่องประเภท โพรงอากาศ (A) ผิวพอง (D) ผิวรอน (E) ไม่เต็มแบบ (C) รอยแตก (F) เท่ากับ 1400 1101 866 679 567 และ 402 ตามลำดับ

บทที่ 4 วิธีการศึกษา

4.1 การคัดเลือกปัจจัย

ปัจจัยควบคุม ได้แก่

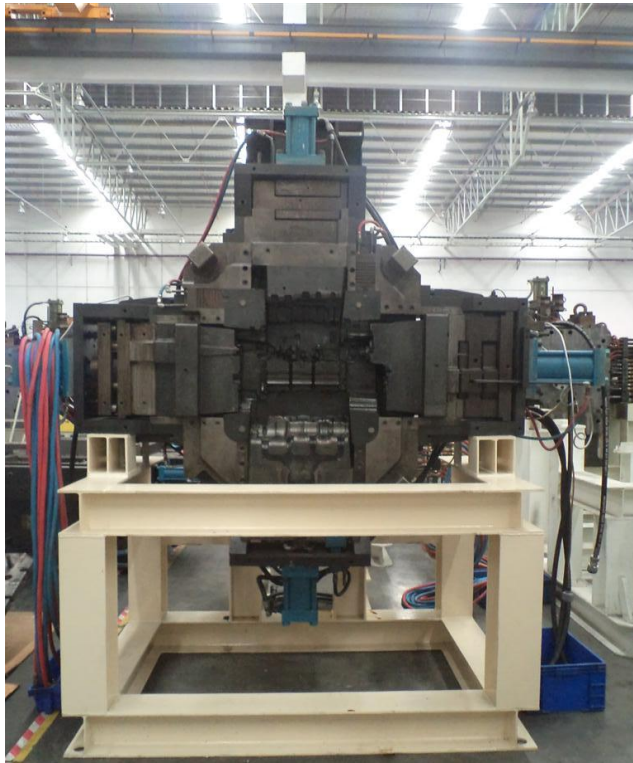
- 4.1.1 ชนิดของอะลูมิเนียมที่ใช้คือเกรด ADC12
- 4.1.2 อุณหภูมิของอะลูมิเนียมหลอมเหลว 680 องศาเซลเซียส
- 4.1.3 ปัจจัยควบคุมเครื่องไดแคสติง
 - 1.1 แรงดันฉีด (PS)
 - 1.2 ความเร็วในการฉีด (VA)
 - 1.3 ระยะเวลาหล่อเย็น (TZ)
 - 1.4 อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

หลักในการเลือกตัวแปร

เมื่อพิจารณาจากตัวแปรข้างต้น ตัวแปรชนิดของเกรดอะลูมิเนียมที่ใช้ได้ถูกกำหนดไว้แล้วตั้งแต่กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ซึ่งกำหนดให้ใช้เกรด ADC12 อุณหภูมิของอะลูมิเนียมหลอมเหลว 680 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าที่แนะนำอยู่ระหว่าง 650-700 องศาเซลเซียส สำหรับการเลือกปัจจัยควบคุมเครื่องไดแคสติงจะพิจารณาจากตัวแปรที่ใช้ในการการตั้งค่าการผลิต (Input) โดยในที่นี่ ได้แก่ แรงดันฉีด (PS) ความเร็วในการฉีด (VA) ระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) สำหรับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นนั้นจะเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาหล่อเย็นโดยถ้าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นต่ำเวลาในการหล่อเย็นก็จะน้อยและถ้าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงขึ้นเวลาในการหล่อเย็นก็จะเพิ่มตาม สำหรับการศึกษานี้จึงควบคุมให้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นคงที่ที่ 24 องศาเซลเซียส

4.2 วัสดุและอุปกรณ์

- 4.2.1 แม่พิมพ์ แสดงดังรูปที่ 4.1
- 4.2.2 เครื่องไดแคสติงขนาด 2500 ตัน แสดงดังรูปที่ 4.2
- 4.2.3 เครื่อง X-RAY แสดงดังรูปที่ 4.3
- 4.2.4 เต้าหลอม แสดงดังรูปที่ 4.4
- 4.2.5 เครื่องไล่อากาศออกจากอะลูมิเนียมหลวด้วยไนโตรเจน แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.1 แม่พิมพ์



รูปที่ 4.2 เครื่องไคแคสติงขนาด 2500 ตัน



รูปที่ 4.3 เครื่องฉายรังสี X-RAY



รูปที่ 4.4 เตาหลอม



รูปที่ 4.5 เครื่องไล่อากาศออกจากอะลูมิเนียมหลอมเหลวด้วยไนโตรเจน

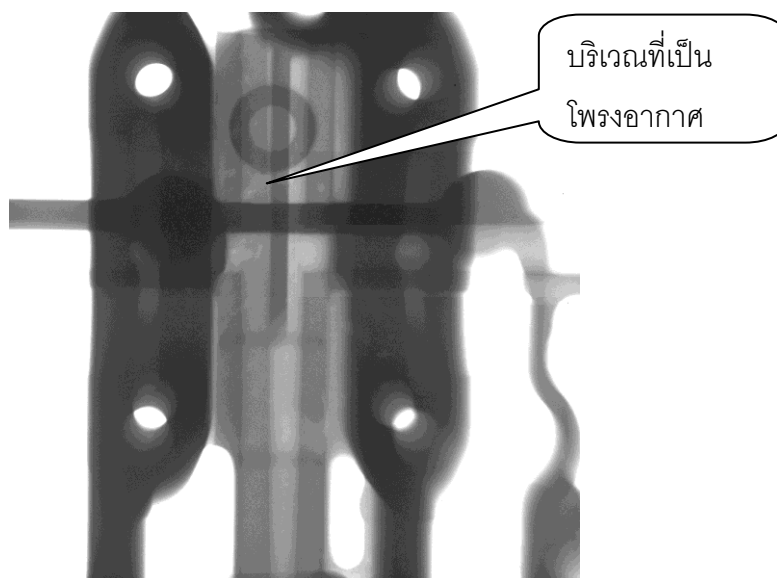
4.3 วิธีการทดลอง

โดยทำการทดลองเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆกับข้อบกพร่องของชิ้นงาน โดยกำหนดตัวแปรควบคุมคงที่ ได้แก่ ชิ้นงานเสื้อสูบรถจักรยานยนต์ ที่ใช้วัสดุอะลูมิเนียมอัลลอยด์ เกรด ADC12 วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์เป็นเหล็กกล้างานร้อน SKD61 อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นคงที่ 24 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิของอะลูมิเนียมหลอมเหลวที่ใช้ในการฉีดคงที่ 680 องศาเซลเซียส โดยตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษาคือ 1.แรงดันฉีด (Specific Pressure : PS) ซึ่งมีสามระดับ คือ 750 900 และ 1000 บาร์ 2.ความเร็วที่ทางเข้า (Gate speed : VA) ซึ่งมีสามระดับ คือ 30 36 และ 42 เมตรต่อวินาที 3.ระยะเวลาการหล่อเย็น (Cooling down time : TZ) ซึ่งมีสามระดับเช่นเดียวกันคือ 127 130 และ 133 วินาที โดยทำการทดลองทั้งหมด 27 เงื่อนไข เงื่อนไขละ 2 ชิ้น สำหรับการตรวจสอบขนาดโพรงหดตัวนั้นกระทำโดยวิธีการฉายรังสีด้วยเครื่องเอกซเรย์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมทางสถิติคือ Minitab เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของแต่ละปัจจัยต่อข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว

4.4 การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน

4.4.1 การตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศด้วยเครื่อง X-RAY

โดยการนำชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบวางบนแท่นวางในห้อง X-RAY แล้วทำการปรับค่าความต่างศักย์ตั้งแต่ 0-160 KV เพื่อปรับความสว่าง และ กระแส 0-12.67 mA เพื่อปรับความคมชัดของภาพ เพื่อดูสภาพโดยรวมและพิจารณาในจุดที่สนใจหรือมีผลทางด้านการใช้งานของชิ้นงานนั้น



รูปที่ 4.6 แสดงบริเวณที่เป็นโพรงอากาศที่ได้จากการตรวจด้วยเครื่อง X-RAY

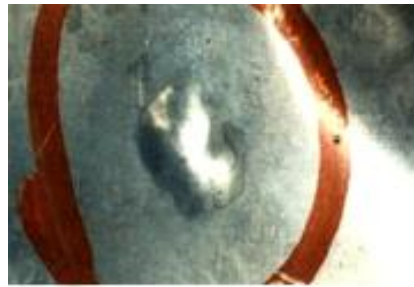
4.4.2 การตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทโพรงหดด้วยเครื่อง X-RAY มีวิธีการตรวจสอบเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.4.1

4.4.3 การตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบสามารถตรวจสอบด้วยสายตา



รูปที่ 4.7 แสดงข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบ

4.4.4 การตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทผิวพองสามารถตรวจสอบด้วยสายตา



รูปที่ 4.8 แสดงข้อบกพร่องประเภทผิวพอง

4.4.5 การตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทผิวร่อนสามารถตรวจสอบด้วยสายตา



รูปที่ 4.9 แสดงข้อบกพร่องประเภทผิวร่อน

4.4.6 การตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทรอยแตกสามารถตรวจสอบด้วยสายตา



รูปที่ 4.10 แสดงข้อบกพร่องประเภทรอยแตก

4.4.7 การคำนวณหาค่าจำนวนข้อบกพร่องต่อหน่วย (DPU)

การคำนวณค่าอัตราของเสียต่อหน่วย DPU (Defect per unit) แสดงได้ดังสมการที่ 4.1

$$DPU = \frac{\text{จำนวนข้อบกพร่องทั้งหมด}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่บกพร่อง}} \dots\dots\dots(4.1)$$

4.4.8 จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 15 สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่

- อิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องต่างๆ
- ร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องอื่นๆ
- แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองกับตัวแปรควบคุมต่างๆได้แก่ จำนวน

ข้อบกพร่องต่อหน่วย (DPU) ขนาดของโพรงหดตัว

บทที่ 5

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

จากการทดลองได้ผลข้อมูลดังแสดงในภาคผนวก ก ตารางที่ ก1 และการวิเคราะห์ข้อมูลให้ผลแสดงตามหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

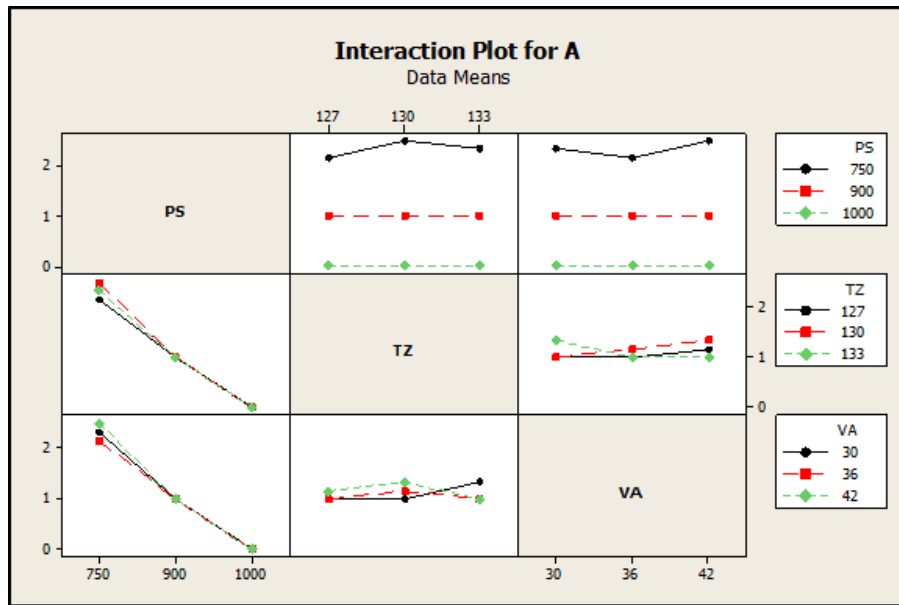
1. ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศ (A)
2. ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว (B)
3. ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบ (C)
4. ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทผิวพอง (D)
5. ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทผิวร้อน (E)
6. ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทรอยแตก (F)
7. ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องต่อหน่วย (DPU)
8. ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนข้อบกพร่องต่อหน่วยกับปัจจัยควบคุมต่างๆ
9. ผลของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อขนาดของโพรงหดตัว
10. ความสัมพันธ์ของปัจจัยแรงดันฉีดกับขนาดของโพรงหดตัว

5.1 ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศ (A)

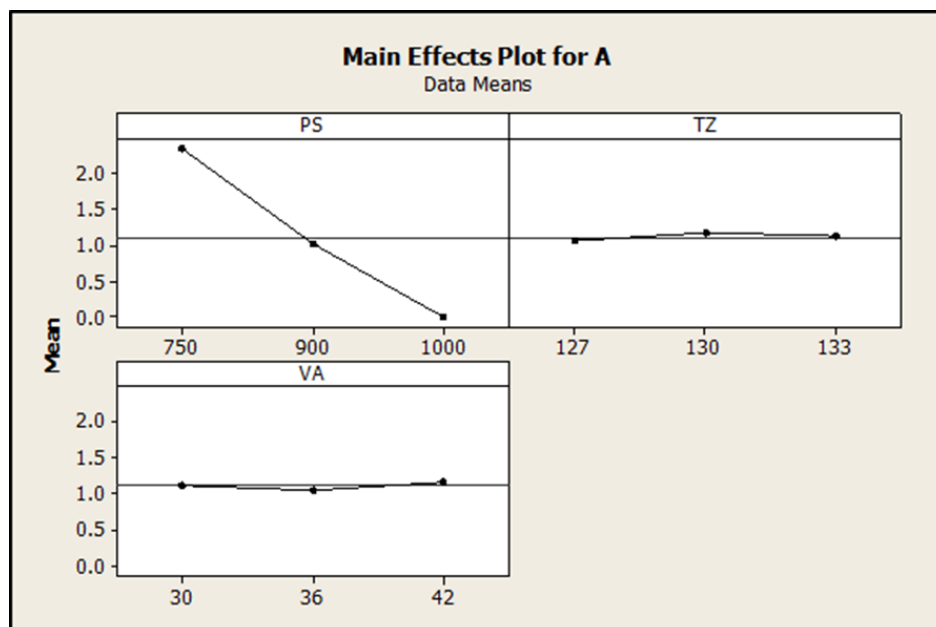
รูปที่ 5.1 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) ที่มีผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศ (A) และรูปที่ 5.2 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศ (A) โดยพบว่าเมื่อแรงดันฉีด (PS) เพิ่มขึ้นจะมีผลให้จำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศต่อหน่วยชิ้นงาน (A) ลดลง ขณะที่ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) ไม่มีผลต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศต่อหน่วยชิ้นงาน (A)

ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศ (A) โดยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป (MiniTAB) พบว่าปัจจัยด้านแรงดันฉีด (PS) ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วที่ทางเข้า (VA) กับระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) และปัจจัยร่วมระหว่างแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) กับระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศ (A) โดยมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 เมื่อพิจารณาค่าความเชื่อมั่นที่ 95% หรือ α เท่ากับ 0.05 และให้ผล R-Square เท่ากับ 98.13%

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการคำนวณค่าร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อโพรงอากาศ (A) โดยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป (MiniTAB) และรูปที่ 5.3 แสดงเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรต่างๆที่มีต่อโพรงอากาศ (A) พบว่าแรงดันฉีด (PS) จะให้น้ำหนักความสำคัญมากที่สุดเท่ากับ 97.6% รองลงมาได้แก่ ระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) ปัจจัยร่วมระหว่าง PS กับ TZ และปัจจัยร่วมระหว่าง PS กับ VA มีค่าเท่ากันเท่ากับ 0.2% และน้อยที่สุด ได้แก่ ปัจจัยร่วมระหว่าง TZ กับ VA และปัจจัยร่วมระหว่าง PS, TZ กับ VA มีค่าเท่ากันเท่ากับ 0.8%



รูปที่ 5.1 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) และผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศ (A)



รูปที่ 5.2 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศ (A)

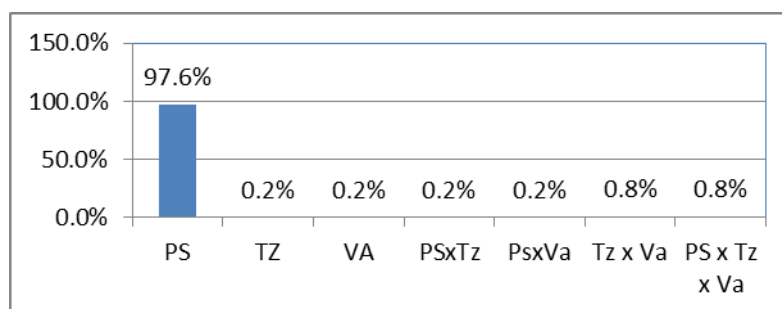
ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องประเภทโพรงอากาศ

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
PS	2	49.3333	49.3333	24.6667	666.00	0.000
TZ	2	0.1111	0.1111	0.0556	1.50	0.241
VA	2	0.1111	0.1111	0.0556	1.50	0.241
PS*TZ	4	0.2222	0.2222	0.0556	1.50	0.230
PS*VA	4	0.2222	0.2222	0.0556	1.50	0.230
TZ*VA	4	0.7778	0.7778	0.1944	5.25	0.003
PS*TZ*VA	8	1.5556	1.5556	0.1944	5.25	0.001
Error	27	1.0000	1.0000	0.0370		
Total	53					

R-Sq=98.13%

ตารางที่ 5.2 ร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อโพรงอากาศ (A)

	MS	% Contribution
PS	24.6667	97.6%
TZ	0.0556	0.2%
VA	0.0556	0.2%
PS*TZ	0.0556	0.2%
PS*VA	0.0556	0.2%
TZ*VA	0.1944	0.8%
PS*TZ*VA	0.1944	0.8%
Total	25.2779	100%



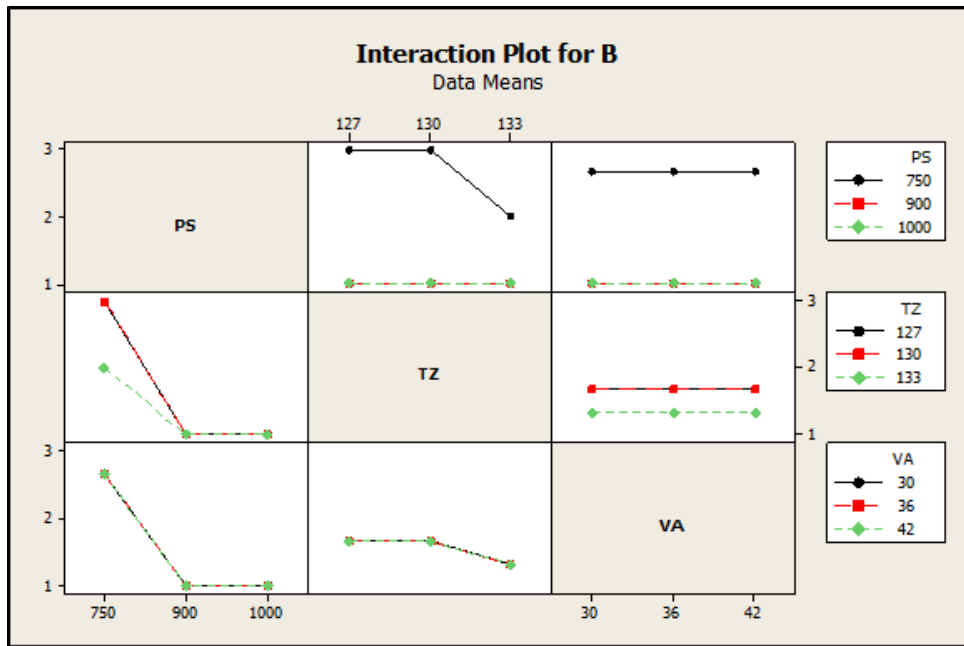
รูปที่ 5.3 กราฟแท่งเปรียบเทียบน้ำหนักของตัวแปรต่างๆที่มีต่อโพรงอากาศ (A)

5.2 ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว (B)

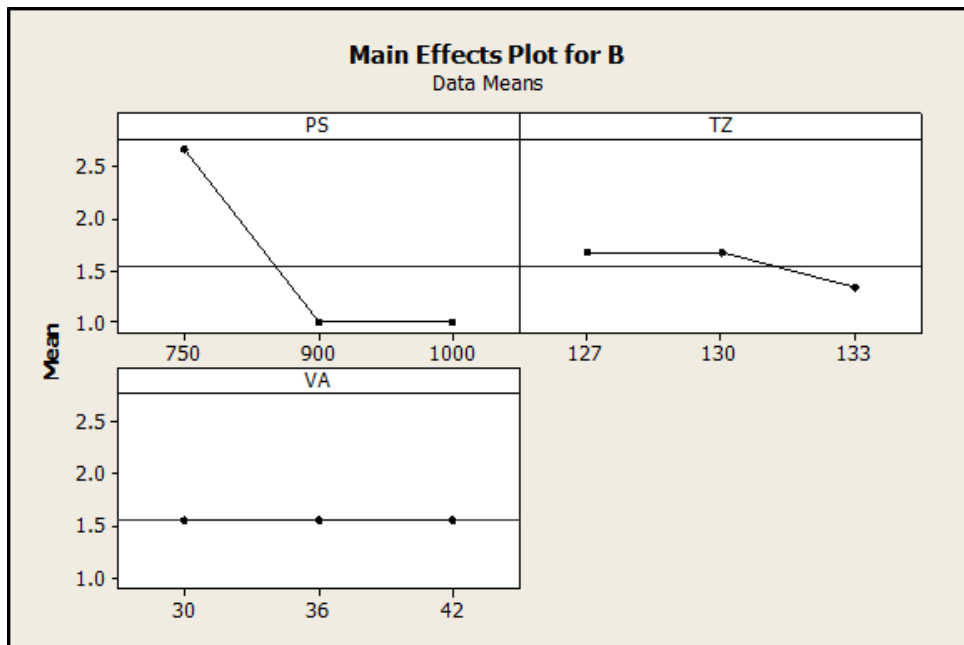
รูปที่ 5.4 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) ที่มีผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว และรูปที่ 5.5 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว โดยพบว่าเมื่อแรงดันฉีด (PS) เพิ่มขึ้นจาก 750 บาร์ เป็น 900 บาร์ มีผลให้จำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว ต่อหน่วยชิ้นงานลดลงและคงตัวเมื่อแรงดันฉีดเพิ่มไปถึง 1000 บาร์ ขณะที่ การเปลี่ยนแปลงความเร็วที่ทางเข้า (VA) ไม่มีผลต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวต่อหน่วยชิ้นงาน และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) ที่เพิ่มขึ้นมีผลให้จำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัวเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว โดยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป (Minitab) พบว่าผลการคำนวณค่า F ไม่สามารถประเมินผลได้ เนื่องจากค่า Error Mean Square มีค่าเท่ากับ 0

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการคำนวณค่าร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อโพรงหดตัว โดยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป (Minitab) และรูปที่ 5.6 แสดงเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรต่างๆที่มีต่อโพรงหดตัว พบว่าแรงดันฉีด (PS) จะให้น้ำหนัก ความสำคัญมากที่สุดเท่ากับ 92.6% รองลงมาได้แก่ ระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) และปัจจัยร่วมระหว่าง PS กับ TZ มีค่าเท่ากันเท่ากับ 3.7% แต่ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และปัจจัยร่วมระหว่าง TZ กับ VA รวมทั้งปัจจัยร่วมระหว่าง PS, TZ กับ VA ไม่มีผลต่อจำนวนข้อบกพร่องโพรงหดตัว โดยค่าร้อยละของน้ำหนักผลกระทบมีค่าเท่ากับ 0



รูปที่ 5.4 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) และผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว (B)



รูปที่ 5.5 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว (B)

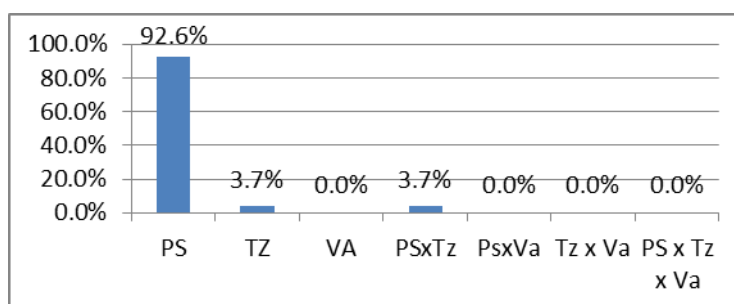
ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยกับข้อบกพร่องประเภทโพรงหดตัว(B)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
PS	2	33.3333	33.3333	16.6667	**	
TZ	2	1.3333	1.3333	0.6667	**	
VA	2	0.0000	0.0000	0.0000	**	
PS*TZ	4	2.6667	2.6667	0.6667	**	
PS*VA	4	0.0000	0.0000	0.0000	**	
TZ*VA	4	0.0000	0.0000	0.0000	**	
PS*TZ*VA	8	0.0000	0.0000	0.0000	**	
Error	27	0.0000	0.0000	0.0000		
Total	53	37.3333				

** Denominator of F-test is zero. R-Sq=100.00%

ตารางที่ 5.4 ร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อโพรงหดตัว (B)

Source	MS	% Contribution
PS	16.66670	92.6%
TZ	0.66670	3.7%
VA	0.00000	0.0%
PS*TZ	0.66670	3.7%
PS*VA	0.00000	0.0%
TZ*VA	0.00000	0.0%
PS *TZ * VA	0.00000	0.0%
Total	18.0001	100%



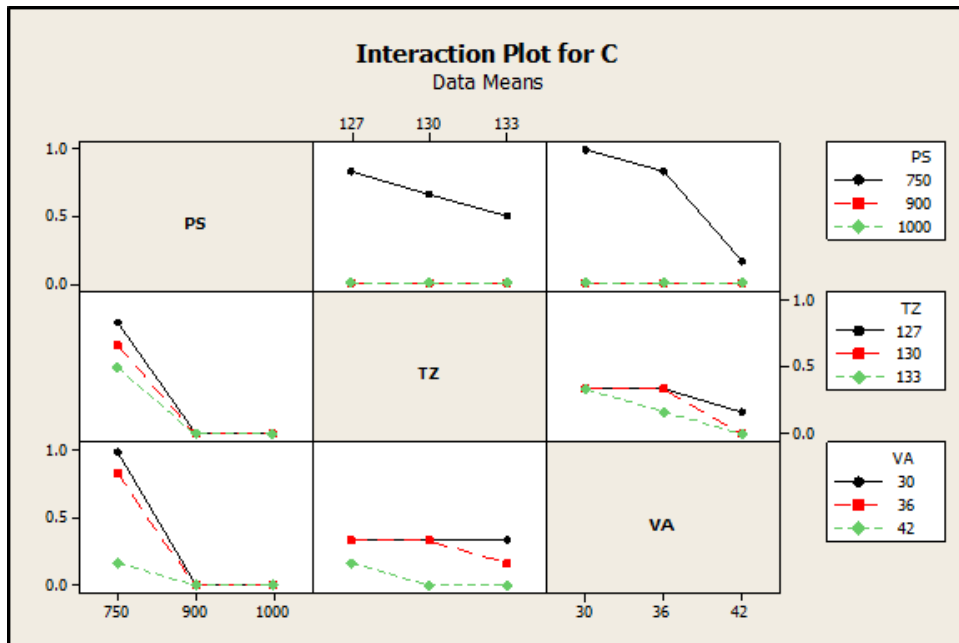
รูปที่ 5.6 กราฟแท่งเปรียบเทียบน้ำหนักของตัวแปรต่างๆที่มีต่อโพรงหดตัว(B)

5.3 ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบ (C)

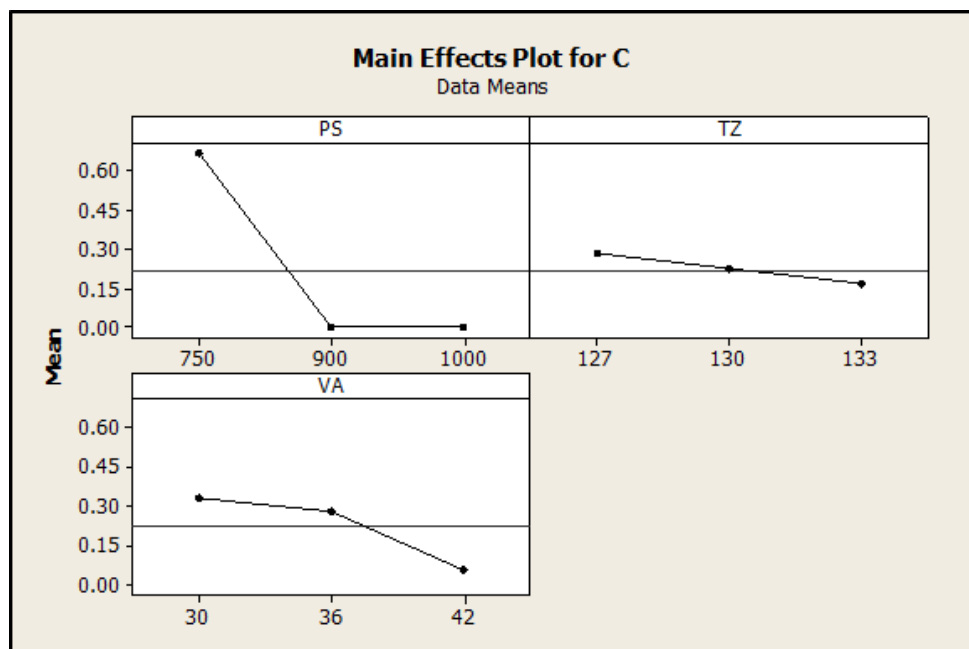
รูปที่ 5.7 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) ที่มีผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบ และรูปที่ 5.8 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบ โดยพบว่าเมื่อแรงดันฉีด (PS) เพิ่มขึ้นจะมีผลให้จำนวนข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบลดลงเมื่อแรงดันฉีดเท่ากับ 900 และ 1000 บาร์ ขณะที่ ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) ต่างมีผลให้จำนวนข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบมีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 5.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบ โดยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป (Minitab) พบว่าปัจจัยด้านแรงดันฉีด (PS) ปัจจัยความเร็วที่ทางเข้า (VA) และปัจจัยร่วมระหว่างแรงดันฉีด (PS) กับ ความเร็วที่ทางเข้า (VA) มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบ โดยมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 เมื่อพิจารณาค่าความเชื่อมั่นที่ 95% หรือ α เท่ากับ 0.05 และให้ผล R-Square เท่ากับ 89.29%

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการคำนวณค่าร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบ โดยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป (Minitab) และรูปที่ 5.9 แสดงเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบพบว่าแรงดันฉีด (PS) จะให้น้ำหนักความสำคัญมากที่สุดเท่ากับ 73.8% รองลงมาได้แก่ ความเร็วที่ทางเข้า (VA) ปัจจัยร่วมระหว่าง PS กับ VA มีค่าเท่ากันเท่ากับ 10.8% และน้อยที่สุด ได้แก่ ปัจจัยร่วมระหว่าง TZ กับ VA และปัจจัยร่วมระหว่าง PS, TZ กับ VA มีค่าเท่ากันเท่ากับ 0.8%



รูปที่ 5.7 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) และผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบ (C)



รูปที่ 5.8 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบ (C)

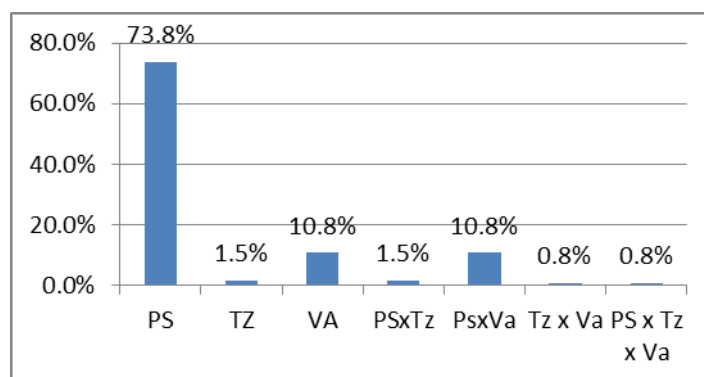
ตารางที่ 5.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยกับข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบ (C)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
PS	2	5.33333	5.33333	2.66667	72.00	0.000
TZ	2	0.11111	0.11111	0.05556	1.50	0.241
VA	2	0.77778	0.77778	0.38889	10.50	0.000
PS*TZ	4	0.22222	0.22222	0.05556	1.50	0.230
PS*VA	4	1.55556	1.55556	0.38889	10.50	0.000
TZ*VA	4	0.11111	1.00000	0.02778	0.75	0.567
PS*TZ*VA	8	0.22222	0.22222	0.02778	0.75	0.648
Error	27	1.00000	1.00000	0.03704		
Total	53	9.33333				

R-Sq=89.29%

ตารางที่ 5.6 ร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบ

Source	MS	% Contribution
PS	2.66667	73.8%
TZ	0.05556	1.5%
VA	0.38889	10.8%
PS*TZ	0.05556	1.5%
PS*VA	0.38889	10.8%
TZ*VA	0.02778	0.8%
PS*TZ*VA	0.02778	0.8%
Total	3.6111	100%



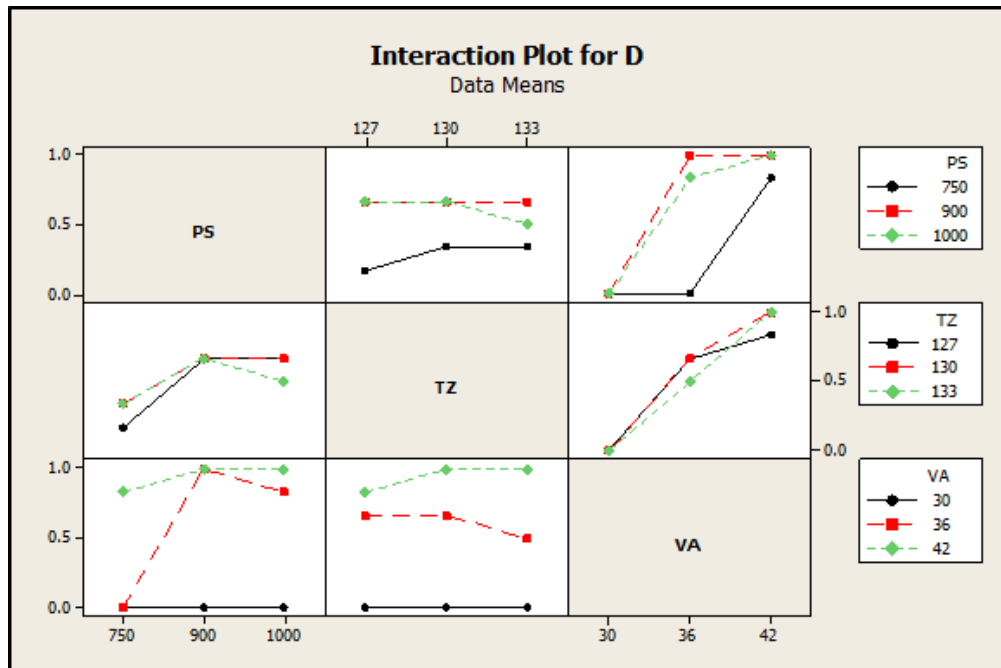
รูปที่ 5.9 กราฟแท่งเปรียบเทียบน้ำหนักของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทไม่เต็มแบบ (C)

5.4 ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทผิวพอง (D)

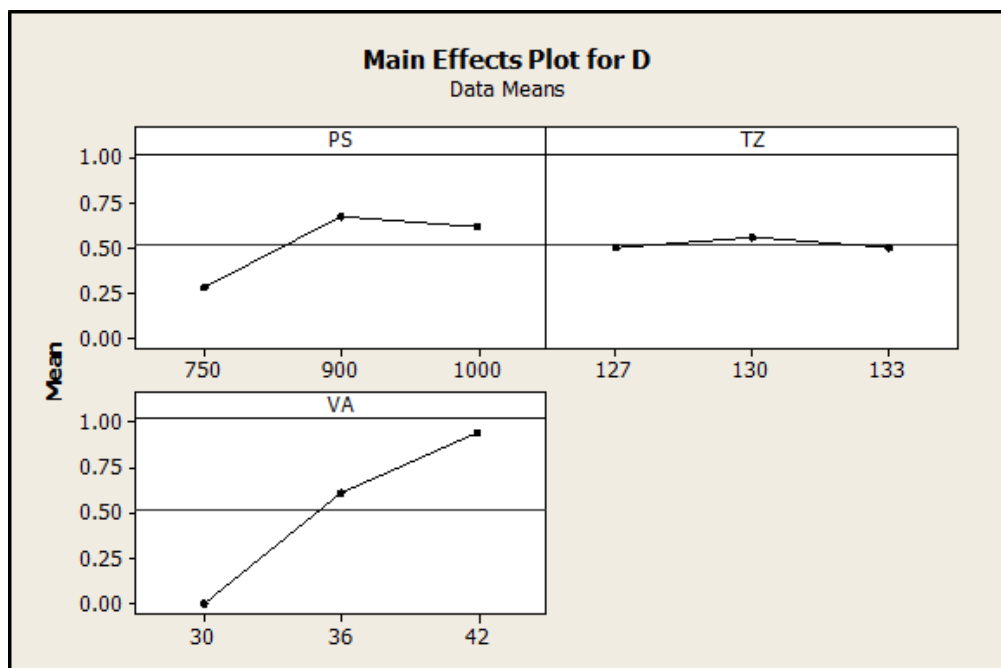
รูปที่ 5.10 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) ที่มีผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวพอง และรูปที่ 5.11 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวพอง โดยพบว่าเมื่อความเร็วที่ทางเข้า (VA) เพิ่มขึ้นจะมีผลให้จำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวพองเพิ่มขึ้น ขณะที่แรงดันฉีด (PS) ที่เพิ่มขึ้นจาก 750 บาร์ เป็น 900 บาร์ มีผลทำให้ข้อบกพร่องประเภทผิวพองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้จำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวพองมีแนวโน้มลดลง จากผลของปัจจัยร่วมระหว่างแรงดันฉีด PS และความเร็ว VA สามารถอธิบายได้ว่าที่ระดับความเร็ว VA เท่ากับ 30 เมตรต่อวินาทีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดัน PS จะไม่ส่งผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวพอง เมื่อพิจารณาที่ระดับความเร็ว 36 เมตรต่อวินาทีเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นจาก 750 บาร์ เป็น 900 บาร์พบว่าจำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวพองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อแรงดันฉีดเพิ่มสูงขึ้นจาก 900 บาร์จนถึง 1000 บาร์จะเห็นว่าจำนวนข้อบกพร่องผิวพองกลับมีแนวโน้มลดลงที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแรงดันฉีดที่มากจะสามารถบีบอัดอากาศที่อยู่ในโพรงแม่พิมพ์ให้ออกไปทางรูระบายทำให้ไม่มีอากาศคั่งค้างปะปนกับอะลูมิเนียมเหลวที่ถูกฉีดเข้ามาในโพรงแบบซึ่งเป็นผลให้จำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวพองมีค่าลดลง

ตารางที่ 5.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องประเภทผิวพอง โดยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป (Minitab) พบว่าปัจจัยด้านแรงดันฉีด (PS) ปัจจัยความเร็วที่ทางเข้า (VA) และปัจจัยร่วมระหว่างแรงดันฉีด (PS) กับ ความเร็วที่ทางเข้า (VA) มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวพอง โดยมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 เมื่อพิจารณาค่าความเชื่อมั่นที่ 95% หรือ α เท่ากับ 0.05 และให้ผล R-Square เท่ากับ 92.58%

ตารางที่ 5.8 แสดงผลการคำนวณค่าร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทผิวพอง โดยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป (Minitab) และรูปที่ 5.12 แสดงเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทผิวพอง พบว่าความเร็วที่ทางเข้า (VA) จะให้น้ำหนักความสำคัญมากที่สุดเท่ากับ 74.3% รองลงมาได้แก่แรงดันฉีด (PS) มีค่าเท่ากับ 14.3% ปัจจัยร่วมระหว่าง PS กับ VA มีค่าเท่ากับ 8.8% และน้อยที่สุด ได้แก่ TZ มีค่าเท่ากับ 0.3%



รูปที่ 5.10 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) และผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวพอง (D)



รูปที่ 5.11 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวพอง (D)

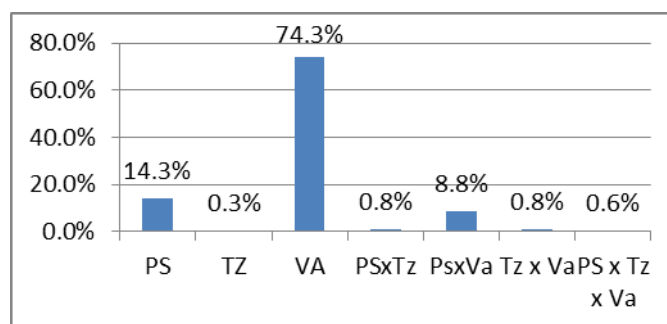
ตารางที่ 5.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องประเภทผิวพอง (D)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
PS	2	1.59259	1.59259	0.79630	21.50	0.000
TZ	2	0.03704	0.03704	0.01852	0.50	0.612
VA	2	8.25926	8.25926	4.12963	111.50	0.000
PS*TZ	4	0.18519	0.18519	0.04630	1.25	0.314
PS*VA	4	1.96296	1.96296	0.49074	13.25	0.000
TZ*VA	4	0.18519	0.18519	0.04630	1.25	0.314
PS*TZ*VA	8	0.25926	0.25926	0.03241	0.88	0.549
Error	27	1.00000	1.00000	0.03704		
Total	53	13.48148				

R-Sq=92.58%

ตารางที่ 5.8 ร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทผิวพอง (D)

	MS	% Contribution
PS	0.7963	14.3%
TZ	0.01852	0.3%
VA	4.12963	74.3%
PS*TZ	0.0463	0.8%
PS*VA	0.49074	8.8%
TZ*VA	0.0463	0.8%
PS *TZ * VA	0.03241	0.6%
Total	5.5602	100%



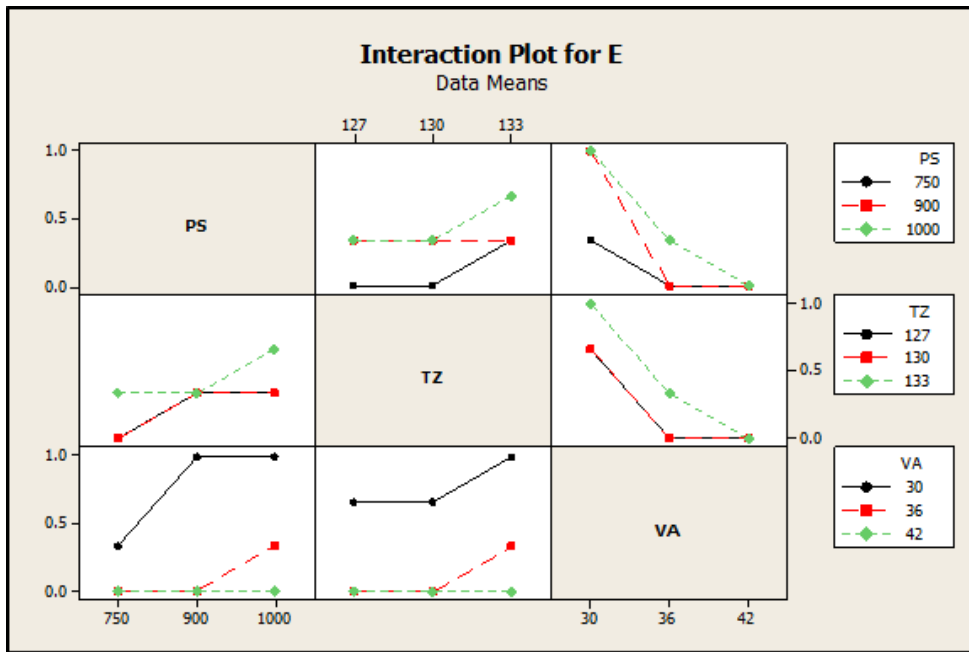
รูปที่ 5.12 กราฟแท่งเปรียบเทียบน้ำหนักของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทผิวพอง (D)

5.5 ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทผิวร่อน (E)

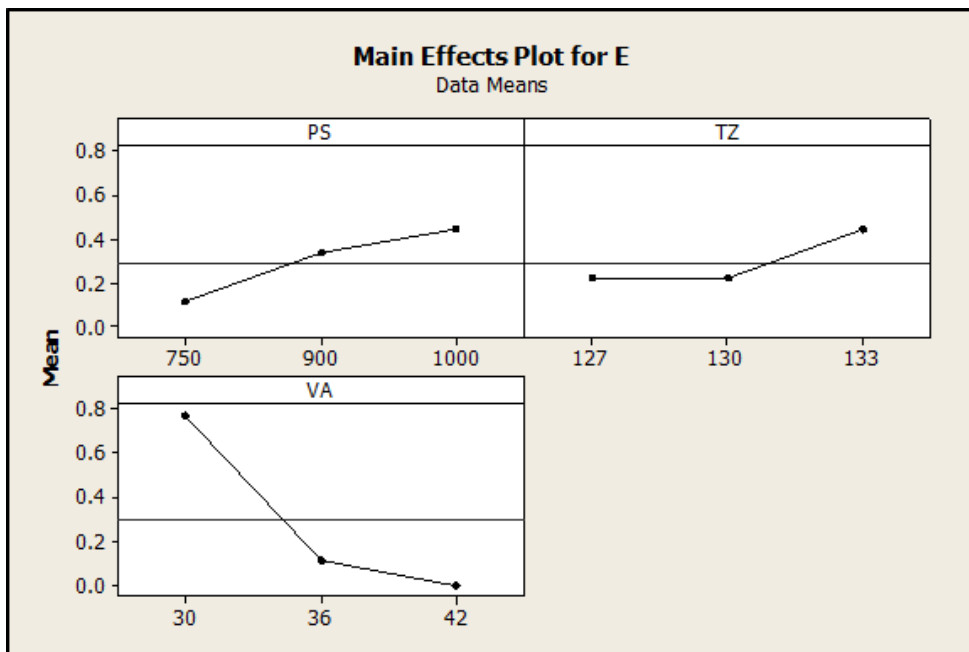
รูปที่ 5.13 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) ที่มีผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวร่อน และรูปที่ 5.14 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวร่อน โดยพบว่าเมื่อความเร็วที่ทางเข้า (VA) เพิ่มขึ้น จะมีผลให้จำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวร่อน ต่อหน่วยชิ้นงานลดลง ขณะที่การเพิ่มขึ้นของแรงดันฉีด (PS) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) ต่างก็มีแนวโน้มทำให้จำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวร่อนต่อหน่วยชิ้นงานเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องประเภทผิวร่อน โดยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป (Minitab) พบว่าผลการคำนวณค่า F ไม่สามารถประเมินผลได้ เนื่องจากค่า Error Mean Square มีค่าเท่ากับ 0

ตารางที่ 5.10 แสดงผลการคำนวณค่าร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อโพรงหดตัว โดยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป (Minitab) และรูปที่ 5.15 แสดงเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรต่างๆที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวร่อน พบว่าความเร็วที่ทางเข้า (VA) จะให้น้ำหนัก ความสำคัญมากที่สุดเท่ากับ 68.8% รองลงมาได้แก่ แรงดันฉีด (PS) มีค่าเท่ากับ 11.2%



รูปที่ 5.13 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) และผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวร้อน (E)



รูปที่ 5.14 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทผิวร้อน (E)

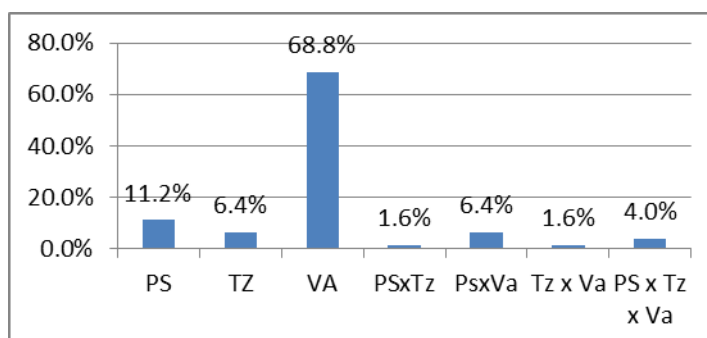
ตารางที่ 5.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องประเภทผิวร้อน (E)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
PS	2	1.03704	1.03704	0.51852	**	
TZ	2	0.59259	0.59259	0.29630	**	
VA	2	6.37037	6.37037	3.18519	**	
PS*TZ	4	0.29630	0.29630	0.07407	**	
PS*VA	4	1.18519	1.18519	0.29630	**	
TZ*VA	4	0.29630	0.29630	0.07407	**	
PS*TZ*VA	8	1.48148	1.48148	0.18519	**	
Error	27	0.0000	0.0000	0.0000		
Total	53	11.25926				

** Denominator of F-test is zero. R-Sq=100.00%

ตารางที่ 5.10 ร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทผิวร้อน

Source	MS	% Contribution
PS	0.51852	11.2%
TZ	0.2963	6.4%
VA	3.18519	68.8%
PS*TZ	0.07407	1.6%
PS*VA	0.2963	6.4%
TZ*VA	0.07407	1.6%
PS *TZ * VA	0.18519	4.0%
Total	4.6296	100%



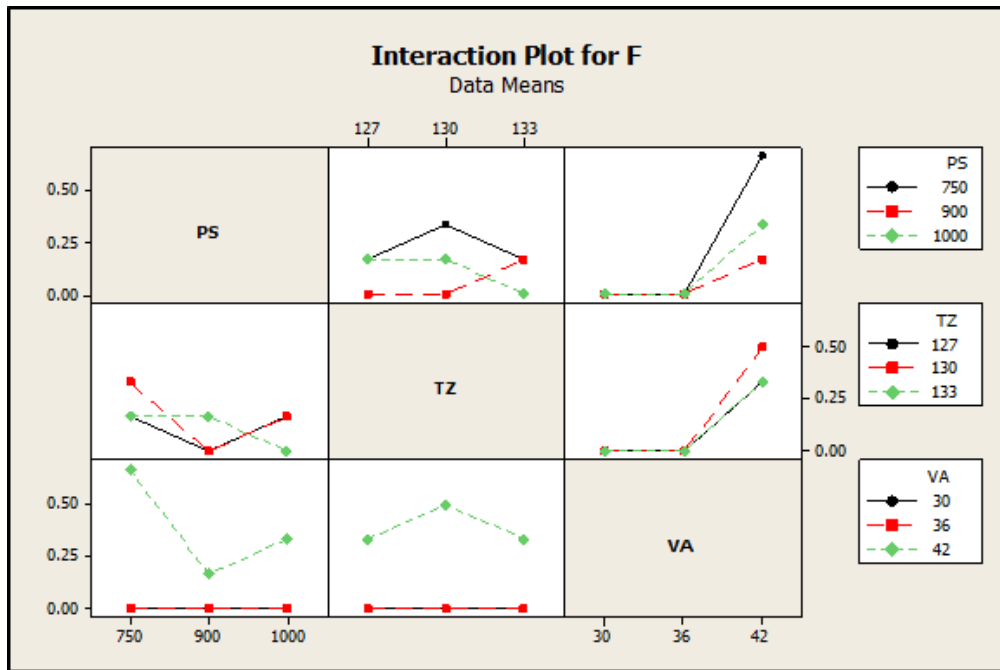
รูปที่ 5.15 กราฟแท่งเปรียบเทียบน้ำหนักของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทผิวร้อน (E)

5.6 ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทรอยแตก (F)

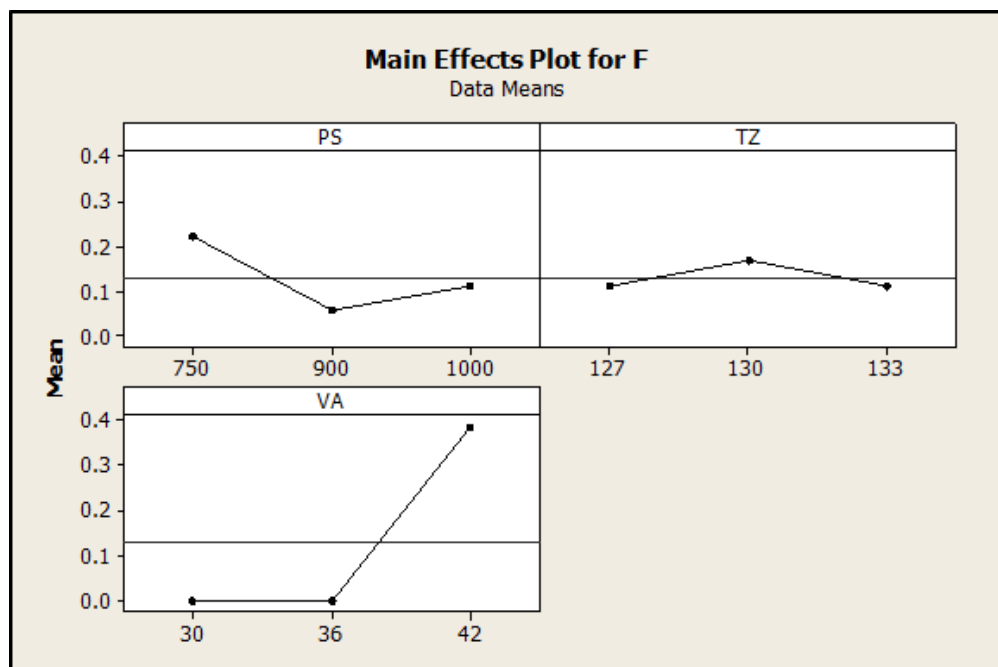
รูปที่ 5.16 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) ที่มีผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยแตก และรูปที่ 5.17 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยแตก โดยพบว่าเมื่อความเร็วที่ทางเข้า (VA) เพิ่มขึ้นจาก 36 เมตรต่อวินาที เป็น 42 เมตรต่อวินาที จะมีผลให้จำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยแตกเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5.11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องประเภทรอยแตก โดยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป (Minitab) พบว่าปัจจัย ความเร็วที่ทางเข้า (VA) มีผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยแตก โดยมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ขณะที่แรงดันฉีด (PS) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) ไม่มีอิทธิพลต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยแตก เนื่องจากมีค่า P-value มากกว่า 0.05 เมื่อพิจารณาค่าความเชื่อมั่นที่ 95% หรือ α เท่ากับ 0.05 และให้ผล R-Square เท่ากับ 58.97%

ตารางที่ 5.12 แสดงผลการคำนวณค่าร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทรอยแตก โดยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป (Minitab) และรูปที่ 5.18 แสดงเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทรอยแตก พบว่าความเร็วที่ทางเข้า (VA) จะให้น้ำหนักความสำคัญมากที่สุดเท่ากับ 67.1% รองลงมาได้แก่ แรงดันฉีด (PS) และปัจจัยร่วมระหว่าง PS กับ VA มีค่าเท่ากันเท่ากับ 9.6%



รูปที่ 5.16 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลา หล่อเย็น (TZ) และผลกระทบต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยแตก (F)



รูปที่ 5.17 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยแตก (F)

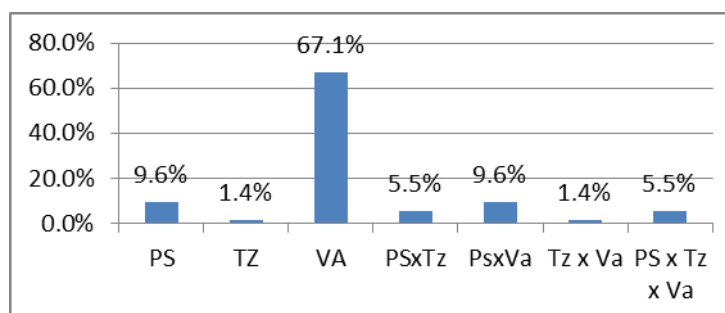
ตารางที่ 5.11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องประเภทรอยแตก

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
PS	2	0.25926	0.25926	0.12963	1.40	0.264
TZ	2	0.03704	0.03704	0.01852	0.20	0.820
VA	2	1.81481	1.81481	0.90741	9.80	0.001
PS*TZ	4	0.29630	0.29630	0.07407	0.80	0.536
PS*VA	4	0.51852	0.51852	0.12963	1.40	0.261
TZ*VA	4	0.07407	0.07407	0.01852	0.20	0.936
PS*TZ*VA	8	0.59259	0.59259	0.07407	0.80	0.608
Error	27	2.50000	2.50000	0.09259		
Total	53	6.09259				

R-Sq=58.97%

ตารางที่ 5.12 ร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทรอยแตก

	MS	% Contribution
PS	0.12963	9.6%
TZ	0.01852	1.4%
VA	0.90741	67.1%
PS*TZ	0.07407	5.5%
PS*VA	0.12963	9.6%
TZ*VA	0.01852	1.4%
PS *TZ * VA	0.07407	5.5%
Total	1.3519	100%



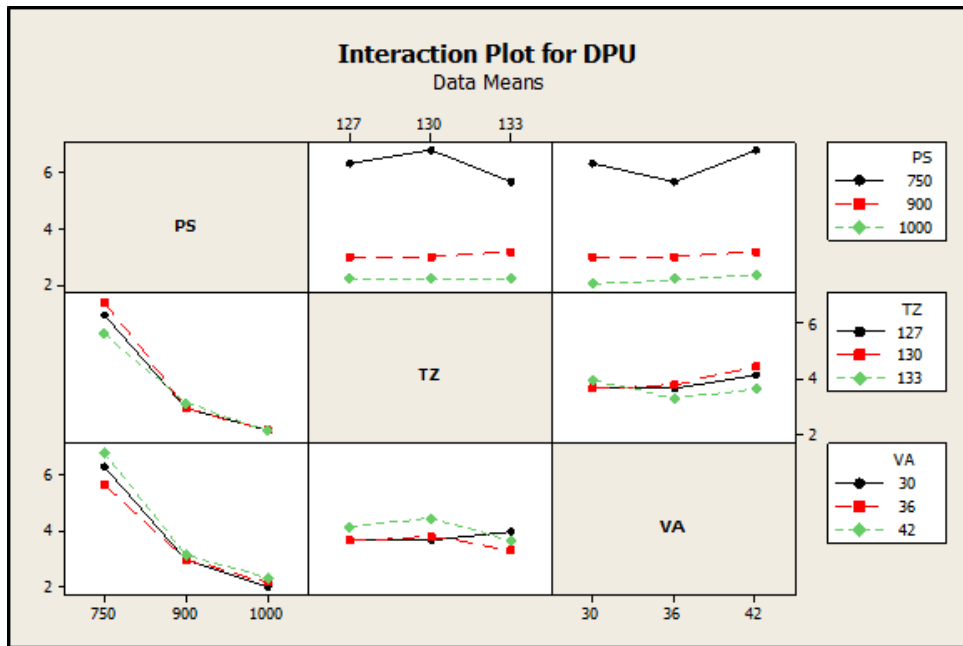
รูปที่ 5.18 กราฟแท่งเปรียบเทียบน้ำหนักของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องประเภทรอยแตก (F)

5.7 ผลของปัจจัยที่มีต่อข้อบกพร่องต่อหน่วย (DPU)

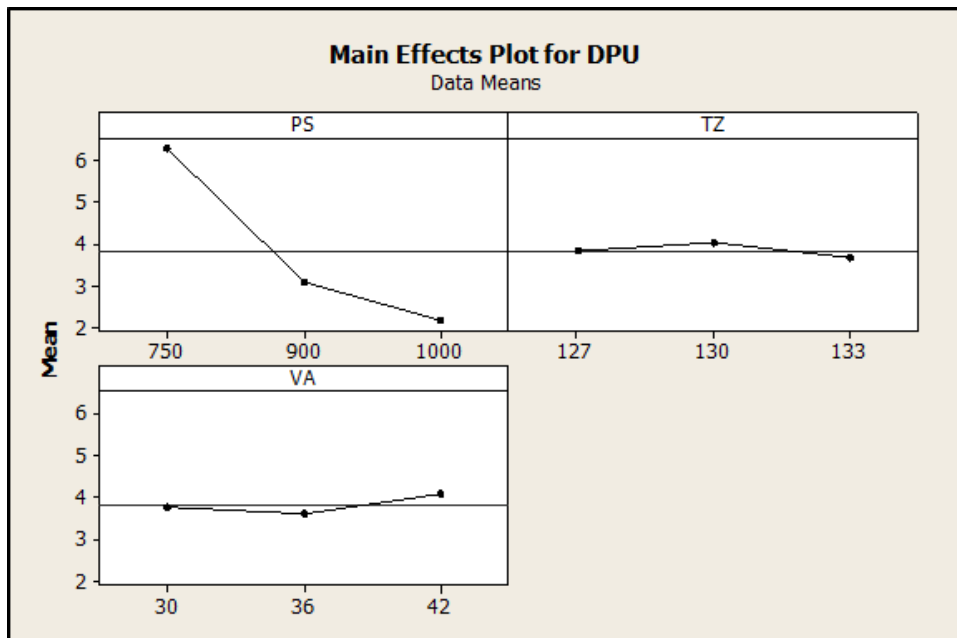
รูปที่ 5.19 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) ที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องต่อหน่วย และรูปที่ 5.20 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อข้อบกพร่องต่อหน่วย โดยพบว่าเมื่อแรงดันฉีด (PS) เพิ่มขึ้นจะมีผลให้จำนวนข้อบกพร่องต่อหน่วยลดลงโดยที่ PS 1000 บาร์ให้ค่า DPU น้อยที่สุด ขณะที่ความเร็วที่ทางเข้า (VA) ที่ 36 เมตรต่อวินาที และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) ที่ 133 วินาทีให้ค่า DPU ต่ำที่สุด

ตารางที่ 5.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องต่อหน่วย โดยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป (Minitab) พบว่าปัจจัย แรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) ปัจจัยร่วมระหว่าง PS กับ TZ, PS กับ VA, TZ กับ VA, PS กับ TZ และ VA มีผลกระทบต่อค่า DPU อย่างมีนัยสำคัญต่อค่า DPU โดยมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 เมื่อพิจารณาค่าความเชื่อมั่นที่ 95% หรือ α เท่ากับ 0.05 และให้ผล R-Square เท่ากับ 97.13%

ตารางที่ 5.14 แสดงผลการคำนวณค่าร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อข้อบกพร่องต่อหน่วย โดยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป (Minitab) และรูปที่ 5.21 แสดงเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อข้อบกพร่องต่อหน่วย พบว่าแรงดันฉีด (PS) จะให้น้ำหนักความสำคัญมากที่สุดเท่ากับ 96.1% ส่วนปัจจัยอื่น ๆ มีน้ำหนักของผลกระทบน้อยมากคือมีค่าน้อยกว่า 1%



รูปที่ 5.19 แสดงอิทธิพลของแรงดันฉีด (PS) ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) และผลกระทบต่อข้อบกพร่องต่อหน่วยของชิ้นงาน (DPU)



รูปที่ 5.20 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อข้อบกพร่องต่อหน่วยของชิ้นงาน (DPU)

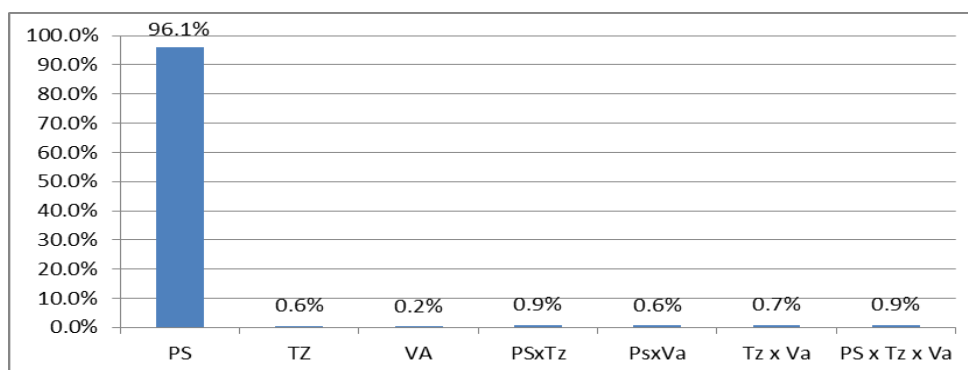
ตารางที่ 5.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องต่อหน่วย (DPU)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
PS	2	168.4444	168.4444	84.2222	413.45	0.000
TZ	2	1.0000	1.0000	0.5000	2.45	0.105
VA	2	2.3333	2.3333	0.1667	5.73	0.008
PS*TZ	4	3.2222	3.2222	0.8056	3.95	0.012
PS*VA	4	2.2222	2.2222	0.5556	2.73	0.050
TZ*VA	4	2.3333	2.3333	0.5833	2.86	0.042
PS*TZ*VA	8	6.4444	6.4444	0.8056	3.95	0.003
Error	27	5.5000	5.5000	0.2037		
Total	53	191.5000				

R-Sq=97.13%

ตารางที่ 5.14 ร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องต่อหน่วย (DPU)

Source	MS	% Contribution
PS	84.2222	96.1%
TZ	0.5	0.6%
VA	0.1667	0.2%
PS*TZ	0.8056	0.9%
PS*VA	0.5556	0.6%
TZ*VA	0.5833	0.7%
PS *TZ * VA	0.8056	0.9%
Total	87.639	100%



รูปที่ 5.21 กราฟแท่งเปรียบเทียบน้ำหนักของตัวแปรต่างๆที่มีต่อข้อบกพร่องต่อหน่วย (DPU)

5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนข้อบกพร่องต่อหน่วย (DPU) กับปัจจัยควบคุมต่างๆ

ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยควบคุมต่างๆ โดยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนข้อบกพร่องโดยรวมต่อหน่วย (DPU) กับปัจจัยต่างๆ ดังสมการ (5.1)

$$\begin{aligned} \text{DPU} = & 21.321637 - 0.016842 \cdot \text{PS} - 0.027778 \cdot \text{TZ} + 0.027778 \cdot \text{VA} + 0.0004825 \cdot (\text{PS} - \\ & 883.333) \cdot (\text{TZ} - 130) - 0.00006579 \cdot (\text{PS} - 883.333) \cdot (\text{VA} - 36) - 0.011574 \cdot (\text{TZ} - 130) \cdot (\text{VA} - 36) + \\ & 0.0001243 \cdot (\text{PS} - 883.333) \cdot (\text{TZ} - 130) \cdot (\text{VA} - 36) \dots\dots\dots(5.1) \end{aligned}$$

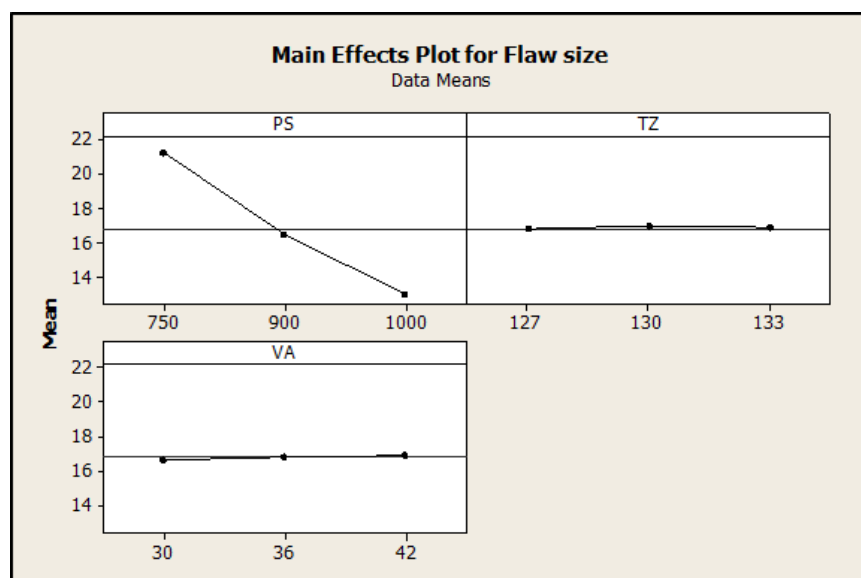
ที่ระดับความเชื่อมั่น R-Square = 86.7%

ผลของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อขนาดของโพรงหดตัว (Flaw size หรือ Shrinkage size)

รูปที่ 5.22 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อข้อบกพร่องโพรงหดตัว โดยพบว่าเมื่อแรงดันฉีด (PS) เพิ่มขึ้นจะมีผลให้ขนาดของโพรงหดตัวลดลงอย่างเห็นได้ชัดโดยที่ PS 1000 บาร์ให้ค่าขนาดของโพรงหดตัวน้อยที่สุด ขณะที่ความเร็วที่ทางเข้า (VA) และระยะเวลาหล่อเย็น (TZ) มีผลต่อค่าขนาดของโพรงหดตัวน้อยมาก

ตารางที่ 5.15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับข้อบกพร่องต่อหน่วย โดยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป (Minitab) พบว่าปัจจัย แรงดันฉีด (PS) และความเร็วที่ทางเข้า (VA) ปัจจัยร่วมระหว่าง PS กับ TZ, PS กับ VA, TZ กับ VA, PS กับ TZ และ VA มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดของโพรงหดตัว โดยมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 เมื่อพิจารณาค่าความเชื่อมั่นที่ 95% หรือ α เท่ากับ 0.05 และให้ผล R-Square เท่ากับ 99.62%

ตารางที่ 5.16 แสดงผลการคำนวณค่าร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อข้อบกพร่องต่อหน่วย โดยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป (Minitab) และรูปที่ 5.23 แสดงเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อขนาดของโพรงหดพบว่าแรงดันฉีด (PS) จะให้น้ำหนักความสำคัญมากที่สุดเท่ากับ 99.7% ส่วนปัจจัยอื่น ๆ มีน้ำหนักของผลกระทบน้อยมาก



รูปที่ 5.22 แสดงอิทธิพลของตัวแปรหลักที่มีต่อขนาดของโพรงหดตัว

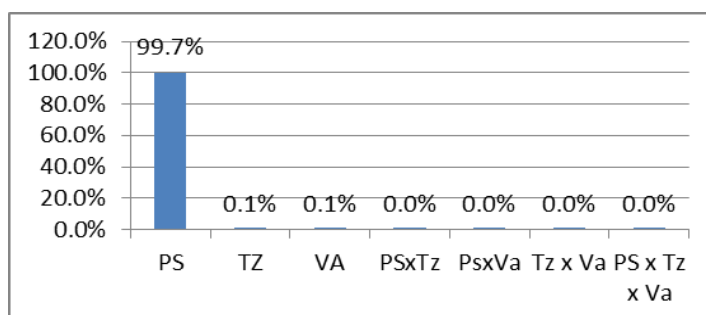
ตารางที่ 5.15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปัจจัยกับขนาดโพรงหดตัว

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
PS	2	622.028	622.028	311.014	3535.74	0.000
TZ	2	0.361	0.361	0.181	2.05	0.148
VA	2	0.444	0.444	0.347	3.95	0.031
PS*TZ	4	0.444	0.444	0.111	1.26	0.309
PS*VA	4	0.028	0.028	0.111	1.26	0.309
TZ*VA	4	0.833	0.833	0.007	0.08	0.988
PS*TZ*VA	8	2.375	2.375	0.104	1.18	0.344
Error	27	2.375	2.375	0.088		
Total	53	627.208				

R-Sq=99.62%

ตารางที่ 5.16 ร้อยละของน้ำหนักผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อขนาดโพรงหดตัว

Source	MS	% Contribution
PS	311.014	99.7%
TZ	0.181	0.1%
VA	0.347	0.1%
PS*TZ	0.111	0.0%
PS*VA	0.111	0.0%
TZ*VA	0.007	0.0%
PS *TZ * VA	0.104	0.0%
Total	311.8750	100%



รูปที่ 5.23 กราฟแท่งเปรียบเทียบน้ำหนักของตัวแปรต่างๆที่มีต่อขนาดโพรงหดตัว

5.9 ความสัมพันธ์ของปัจจัยแรงดันฉีด (PS) กับขนาดของโพรงหดตัว

จากผลการศึกษาในหัวข้อ 5.9 พบว่าแรงดันฉีด (PS) มีอิทธิพลต่อขนาดของโพรงหดตัวอย่างมากโดยมีน้ำหนักความสำคัญมากที่สุดเท่ากับ 99.7%

ตารางตารางที่ 5.17 แสดงผลการวัดขนาดโพรงหดตัวที่แรงดันฉีด (PS) ต่างๆ ด้วยเครื่อง X-RAY ดังตัวอย่างรูปที่ 5.24 และ รูปที่ 5.25

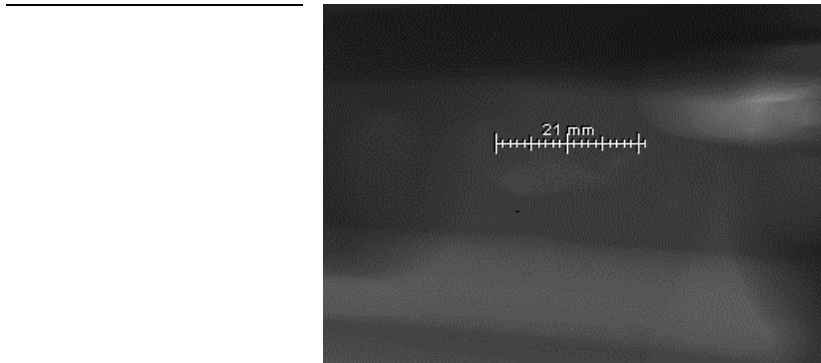
รูปที่ 5.26 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยแรงดันกับขนาดของโพรงหดตัวจะเห็นว่าเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นขนาดของโพรงหดตัวจะลดลงแสดงได้ดังสมการที่ (5.2)

$$Y1 = 42.136209 - 0.033026*PS + 0.0231481*TZ + 0.0231481*VA + 0.0001462*(PS-883.333)*(TZ-130) + 0.000069444*(PS-883.333)*(VA-36) + 0.0011574*(TZ-130)*(VA-36) - 0.00004751*(PS-883.333)*(TZ-130)*(VA-36).....(5.2)$$

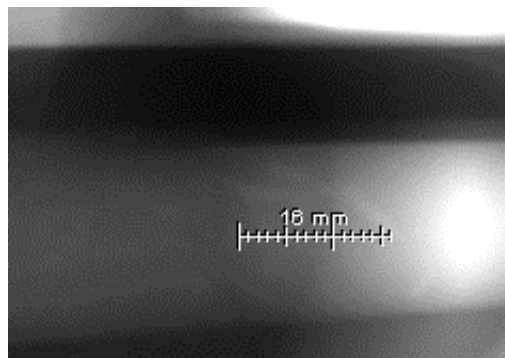
โดยที่ Y1 คือขนาดของโพรงหดตัว

ตารางที่ 5.17 ผลการวัดขนาดโพรงหดตัวที่แรงดันฉีด (PS) ต่างๆ

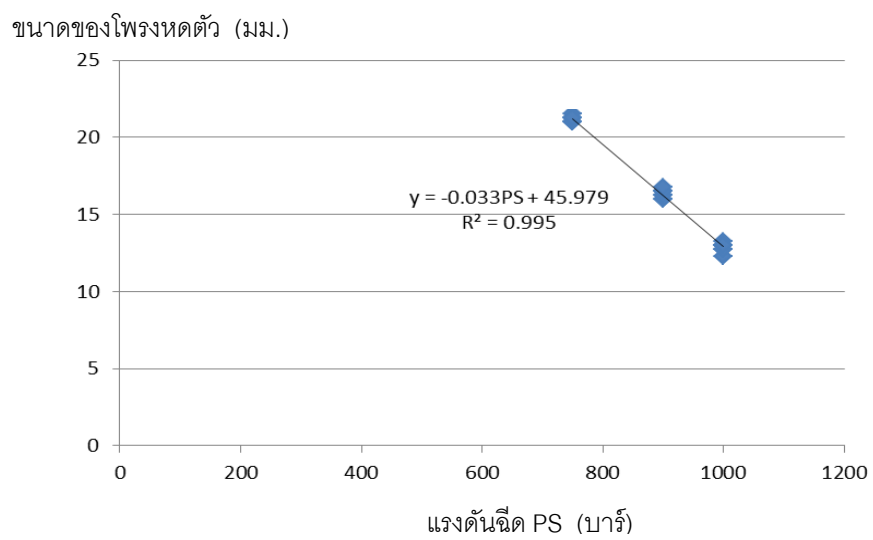
แรงดันฉีด (บาร์)	ขนาดโพรงหดตัว (มม.)	แรงดันฉีด (บาร์)	ขนาดโพรงหดตัว (มม.)	แรงดันฉีด (บาร์)	ขนาดโพรงหดตัว (มม.)
750	21.25	900	16.25	1000	12.25
750	21.00	900	16.00	1000	13.00
750	21.25	900	16.00	1000	13.25
750	21.00	900	16.50	1000	12.75
750	21.25	900	16.50	1000	13.00
750	21.50	900	16.50	1000	13.00
750	21.00	900	16.25	1000	12.75
750	21.00	900	16.50	1000	13.00
750	21.25	900	16.75	1000	13.00



รูปที่ 5.24 แสดงขนาดของโพรงหดตัวที่แรงดันฉีด 750 บาร์



รูปที่ 5.25 แสดงขนาดของโพรงหดตัวที่แรงดันฉีด 900 บาร์



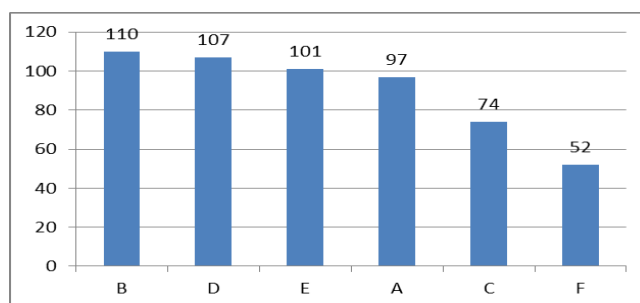
รูปที่ 5.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันฉีด (PS) กับขนาดของโพรงหดตัว

5.11 ผลจากการปรับปรุงเงื่อนไขการผลิต

ตารางที่ 5.18 แสดงของจำนวนของเสียแต่ละประเภทระหว่างเดือน มกราคม-มีนาคม 2555 และรูปที่ 5.27 กราฟแท่งเปรียบเทียบจำนวนข้อบกพร่องรวมแต่ละประเภท จากการคำนวณได้ค่าจำนวนของเสียโดยรวมต่อหน่วย (DPU) เท่ากับ 2.45 และ จำนวนข้อบกพร่องที่พบมากที่สุดเรียงจากมากไปน้อยได้แก่ โพรงหดตัว (B) D E A C F โดยมีจำนวน เท่ากับ 110 107 101 97 74 และ 52 ตามลำดับ ซึ่งจากการเปรียบเทียบ

ตารางที่ 5.18 แสดงของจำนวนของเสียแต่ละประเภทระหว่างเดือน มกราคม-มีนาคม 2555

เดือน	จำนวนผลิต	จำนวนของเสีย	เปอร์เซ็นต์ของเสีย	จำนวนข้อบกพร่อง						รวม	DPU
				A	B	C	D	E	F		
มกราคม	4682	112	2.39%	48	57	38	54	52	25	274	2.45
กุมภาพันธ์	4867	109	2.24%	49	53	36	53	49	27	267	2.45
มีนาคม	4764	105	2.20%	45	54	35	54	48	24	260	2.48
รวม	9549	221	2.32%	97	110	74	107	101	52	541	2.45



รูปที่ 5.27 กราฟแท่งเปรียบเทียบจำนวนข้อบกพร่องแต่ละประเภท

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1. แรงดันฉีด PS มีผลอย่างมากกับ จำนวนข้อบกพร่องต่อหน่วยโดยรวม DPU กล่าวคือ PS สูง ส่งผลต่อ DPU ที่น้อยลง
2. แรงดันที่ใช้ในการฉีดมีผลต่อจำนวนโพรงหดตัวค่อนข้างมากนั่นคือเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น จำนวนโพรงหดตัวลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแรงดันที่มากกว่าจะทำให้สามารถดัน อะลูมิเนียมเหลวเข้าไปทดแทนโพรงที่เกิดขึ้นในช่วงการเย็นตัวด้วยแรงดันระยะสุดท้าย (Final pressure) ทำให้จำนวนโพรงหดตัวน้อยลง
3. แรงดันที่ใช้ในการฉีดมีผลต่อจำนวนจุดที่ไม่เต็มแบบอย่างค่อนข้างมากนั่นคือเมื่อแรงดัน เพิ่มขึ้นจำนวนจุดที่ไม่เต็มแบบลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแรงดันที่มากกว่าจะทำให้ สามารถดันอะลูมิเนียมเหลวเข้าไปทดแทนจุดที่ไม่เต็มแบบโดยเฉพาะบริเวณที่เป็นซอก หรือจุดที่อยู่ไกลจากทางเข้า ทำให้จำนวนจุดที่ไม่เต็มแบบนี้ลดลง
4. ความเร็วที่ใช้ในการฉีดมีผลต่อจำนวนจุดที่ผิวพองค่อนข้างมากนั่นคือเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น จำนวนจุดที่ผิวพองจะเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความเร็วที่มากกว่าจะทำให้อากาศที่ อยู่ในแม่พิมพ์ไม่สามารถระบายออกได้ทันทำให้มีอากาศตกค้างและผสมรวมกับ อะลูมิเนียมเหลวตรงบริเวณใกล้พื้นผิวซึ่งอากาศส่วนนี้จะขยายตัวในขณะที่เอาชิ้นงาน ออกจากแม่พิมพ์ทำให้เป็นรอยบวมมนที่ผิวของชิ้นงาน
5. ความเร็วที่ทางเข้ามีผลต่อจำนวนจุดที่ผิวร้อนค่อนข้างมากนั่นคือเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น จำนวนที่ผิวร้อนลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความเร็วที่มากกว่าจะทำให้อะลูมิเนียมเหลว เข้าไปเติมเต็มแม่พิมพ์ได้เร็วทำให้จุดที่อะลูมิเนียมวิ่งมาบรรจบกันแล้วรวมเป็นเนื้อ เดียวกันได้ดีทำให้ลดปัญหาชิ้นงานผิวร้อน
6. ความเร็วที่ทางเข้ามีผลต่อจำนวนจุดที่เป็นรอยแตกนั่นคือเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจำนวนที่เป็นรอยแตกมากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความเร็วที่มากจะทำให้เกิดความร้อนสะสมที่ แม่พิมพ์โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นส่วนที่ยื่นและขวางทางการวิ่งของอะลูมิเนียมเหลวทำให้ บริเวณดังกล่าวมีความร้อนสะสมที่สูงมาก (Over heat) ทำให้เกิดเป็นรอยไหม้และรอย แตกที่ชิ้นงาน

7. จำนวนข้อบกพร่องต่อหน่วย (DPU) มีความสัมพันธ์กับปัจจัยควบคุมต่างๆ ด้วย R-square เท่ากับ 86.7% ดังสมการ

$$\text{DPU} = 21.321637 - 0.016842 \cdot \text{PS} - 0.027778 \cdot \text{TZ} + 0.027778 \cdot \text{VA} + 0.0004825 \cdot (\text{PS} - 883.333) \cdot (\text{TZ} - 130) - 0.00006579 \cdot (\text{PS} - 883.333) \cdot (\text{VA} - 36) - 0.011574 \cdot (\text{TZ} - 130) \cdot (\text{VA} - 36) + 0.0001243 \cdot (\text{PS} - 883.333) \cdot (\text{TZ} - 130) \cdot (\text{VA} - 36)$$

8. ขนาดของโพรงหดตัวมีความสัมพันธ์กับปัจจัยควบคุมต่างๆ ด้วย R-square เท่ากับ 99.3% ดังสมการ

$$Y_1 = 42.136209 - 0.033026 \cdot \text{PS} + 0.0231481 \cdot \text{TZ} + 0.0231481 \cdot \text{VA} + 0.0001462 \cdot (\text{PS} - 883.333) \cdot (\text{TZ} - 130) + 0.000069444 \cdot (\text{PS} - 883.333) \cdot (\text{VA} - 36) + 0.0011574 \cdot (\text{TZ} - 130) \cdot (\text{VA} - 36) - 0.00004751 \cdot (\text{PS} - 883.333) \cdot (\text{TZ} - 130) \cdot (\text{VA} - 36)$$

9. จากการปรับปรุงเงื่อนไขการผลิตจากเงื่อนไขเดิม PS=750, VA=30 และ TZ=130 เปลี่ยนเป็น PS=900, VA=30 และ TZ=133 ทำให้ค่าจำนวนข้อบกพร่องต่อหน่วย (DPU) ลดลงจาก 3.48 เป็น 2.45 และจำนวนของเสียลดลงเฉลี่ยจาก 3.61% ของการผลิตก่อนการปรับปรุง เป็น 2.32% ของการผลิตหลังการปรับปรุง หรือลดลง 35.7%

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ชาติ ชีวสารณ์. ผลกระทบของปัจจัยการควบคุมที่มีต่อสมบัติของอะลูมิเนียมในกระบวนการฉีดแบบไดแคสติง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539

เชิดศักดิ์ อรัญมาลา, ชาญยุทธ โกลิตะวงษ์ การศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและหลักการออกแบบ GATE และ RUNNER ของชิ้นงาน LOCKING KNOB ในอุตสาหกรรมคอมโพไฟโดยใช้เทคนิคการจำลองวิธีการหล่ออะลูมิเนียม. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18 18-20 ตุลาคม 2547 จังหวัดขอนแก่น

ภาษาอังกฤษ

Alan Kaye, Arthur Street. Die Casting Metallurgy. Butterworths & Co (Publishers) LTD, 1982

E. A. Herman. Heat flow in the die casting process. Society of Die Casting Engineers Inc. River Grove, Illinois, 2000

H. H. Doehler. Diecasting. McGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC., 1951

H.H. Pokorny. Gating die casting dies. Society of Die Casting Engineers Inc. River Grove, Illinois, 2000

John E. Gruzleski, Bernard M. Closset. The treatment of Liquid Aluminum-Silicon Alloys. American Foundrymen's Society, Inc., 1990

Scott Kirkman. Shrinkage Porosity, A guide to correcting the problem. North American Die Casting Association, 2006

William G. Walkington. Cause and solutions die casting defects. North American Die Casting Association, 2007

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก1 ผลการทดลอง

การทดลองที่	เงื่อนไข			จำนวนข้อบกพร่อง							shrinkage size
	PS	TZ	VA	A	B	C	D	E	F	DPU	
1	PS	TZ	VA	A	B	C	D	E	F	DPU	shrinkage size
2	750	127	30	2	3	1	0	0	0	6	21.0
3	750	127	30	2	3	1	0	0	0	6	21.5
4	750	127	36	2	3	1	0	0	0	6	21.0
5	750	127	36	2	3	1	0	0	0	6	21.0
6	750	127	42	2	3	1	0	0	0	6	21.5
7	750	127	42	3	3	0	1	0	1	8	21.0
8	750	130	30	2	3	1	0	0	0	6	21.0
9	750	130	30	2	3	1	0	0	0	6	21.0
10	750	130	36	2	3	1	0	0	0	6	21.5
11	750	130	36	3	3	1	0	0	0	7	21.0
12	750	130	42	3	3	0	1	0	1	8	21.5
13	750	130	42	3	3	0	1	0	1	8	21.5
14	750	133	30	3	2	1	0	1	0	7	21.0
15	750	133	30	3	2	1	0	1	0	7	21.0
16	750	133	36	2	2	1	0	0	0	5	21.0
17	750	133	36	2	2	0	0	0	0	4	21.0
18	750	133	42	2	2	0	1	0	0	5	21.5

19	750	133	42	2	2	0	1	0	1	6	21.0
20	900	127	30	1	1	0	0	1	0	3	16.0
21	900	127	30	1	1	0	0	1	0	3	16.5
22	900	127	36	1	1	0	1	0	0	3	16.0
23	900	127	36	1	1	0	1	0	0	3	16.0
24	900	127	42	1	1	0	1	0	0	3	16.0
25	900	127	42	1	1	0	1	0	0	3	16.0
26	900	130	30	1	1	0	0	1	0	3	16.5
27	900	130	30	1	1	0	0	1	0	3	16.5
28	900	130	36	1	1	0	1	0	0	3	16.0
29	900	130	36	1	1	0	1	0	0	3	17.0
30	900	130	42	1	1	0	1	0	0	3	16.0
31	900	130	42	1	1	0	1	0	0	3	17.0
32	900	133	30	1	1	0	0	1	0	3	16.5
33	900	133	30	1	1	0	0	1	0	3	16.0
34	900	133	36	1	1	0	1	0	0	3	16.5
35	900	133	36	1	1	0	1	0	0	3	16.5
36	900	133	42	1	1	0	1	0	0	3	16.5
37	900	133	42	1	1	0	1	0	1	4	17.0
38	1000	127	30	0	1	0	0	1	0	2	12.0

39	1000	127	30	0	1	0	0	1	0	2	12.5
40	1000	127	36	0	1	0	1	0	0	2	13.0
41	1000	127	36	0	1	0	1	0	0	2	13.0
42	1000	127	42	0	1	0	1	0	0	2	13.0
43	1000	127	42	0	1	0	1	0	1	3	13.5
44	1000	130	30	0	1	0	0	1	0	2	12.5
45	1000	130	30	0	1	0	0	1	0	2	13.0
46	1000	130	36	0	1	0	1	0	0	2	13.0
47	1000	130	36	0	1	0	1	0	0	2	13.0
48	1000	130	42	0	1	0	1	0	0	2	13.0
49	1000	130	42	0	1	0	1	0	1	3	13.0
50	1000	133	30	0	1	0	0	1	0	2	13.0
51	1000	133	30	0	1	0	0	1	0	2	12.5
52	1000	133	36	0	1	0	0	1	0	2	13.0
53	1000	133	36	0	1	0	1	1	0	3	13.0
54	1000	133	42	0	1	0	1	0	0	2	13.0

ตาราง ก2 แสดงจำนวนของเสียแต่ละประเภทระหว่างเดือน มีนาคม-สิงหาคม 2554

เดือน	จำนวน ผลิต	จำนวนของ เสีย	เปอร์เซ็นต์ของ เสีย	จำนวนข้อบกพร่อง						รวม
				A	B	C	D	E	F	
มีนาคม	8964	317	3.54%	242	329	128	182	143	87	1111
เมษายน	8945	324	3.62%	238	332	124	176	142	89	1101
พฤษภาคม	7853	293	3.73%	228	314	121	168	136	83	1050
มิถุนายน	4663	167	3.58%	127	142	64	113	86	48	580
กรกฎาคม	4785	172	3.59%	132	146	67	118	89	52	604
สิงหาคม	4682	168	3.59%	134	137	63	109	83	43	569
รวม	39892	1441	3.61%	1101	1400	567	866	679	402	5015

ตาราง ก3 แสดงของจำนวนของเสียแต่ละประเภทระหว่างเดือน มกราคม-มีนาคม 2555

เดือน	จำนวน ผลิต	จำนวน ของเสีย	เปอร์เซ็นต์ ของเสีย	จำนวนข้อบกพร่อง						รวม	DPU
				A	B	C	D	E	F		
มกราคม	4682	112	2.39%	48	57	38	54	52	25	274	2.45
กุมภาพันธ์	4867	109	2.24%	49	53	36	53	49	27	267	2.45
มีนาคม	4764	105	2.20%	45	54	35	54	48	24	260	2.48
รวม	9549	221	2.32%	97	110	74	107	101	52	541	2.45

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเจริญ สว่างวงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2518 ที่จังหวัด อุตรธานี จบการศึกษา
ระดับประถมศึกษาที่ โรงเรียนบ้านหนองสว่าง ต.บ้านม่วง อ.บ้านดุง จังหวัดอุตรธานี จบ
การศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนดงเย็นพิทยาคาร ต.ดงเย็น อ.บ้านดุง จังหวัด
อุตรธานี จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอุตรพิทยานุกูล อ.เมือง จังหวัด
อุตรธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการบินและอวกาศยาน คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2546 และเข้ารับการศึกษาคือ
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ใน
ปีการศึกษา 2551