

ผลกระทบของปัจจัยการควบคุมที่มีต่อสมบัติ  
ของอะลูมิเนียมในกระบวนการฉีดแบบไดแคสติง

นายสุชาติ ชิวสาธน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-504-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INFLUENCE OF CONTROLLING FACTORS ON ALUMINIUM PROPERTIES  
IN THE DIE CASTING PROCESS

Mr. Suchart Shevasath

A thesis Submitted in Patial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Industrial Engineer

Graduated School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-636-504-5

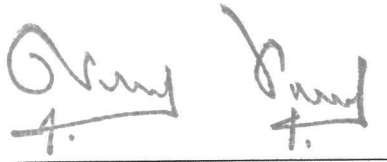
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของปัจจัยการควบคุมที่มีต่อสมบัติของอะลูมิเนียมใน  
กระบวนการฉีดแบบไดแคสติง ( INFLUENCE OF CONTROLLING  
FACTORS ON ALUMINIUM PROPERTIES IN THE DIE CASTING  
PROCESS )

โดย นายสุชาติ ชิวสารณ์

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

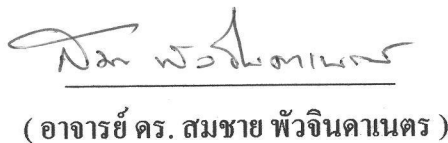
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ศาสตราจารย์ อัมพิกา ไกรฤทธิ)

ประธานกรรมการ



(อาจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร)

อาจารย์ที่ปรึกษา



(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกสีก)

กรรมการ



(รองศาสตราจารย์ จันทนา จันทโร)

กรรมการ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป.	ณ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ด
1. บทนำ .....	1
2. หลักการพื้นฐานและการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	5
3. ปัญหาด้านคุณภาพในงานผลิตของโรงงานตัวอย่าง.....	47
4. วิธีการทดลอง .....	52
5. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	61
6. วิจารณ์ผลการทดลอง .....	120
7. สรุปผลและข้อเสนอแนะการวิจัย.....	122
รายการอ้างอิง.....	124
ภาคผนวก.....	126
ประวัติผู้เขียน.....	134

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

สุชาติ ชิวสารณ์ : ผลกระทบของปัจจัยการควบคุมที่มีต่อสมบัติของอะลูมิเนียม  
ในกระบวนการฉีดแบบไดแคสติง ( 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.

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาปัจจัยการควบคุมในการผลิตที่สำคัญที่มีต่อคุณสมบัติของชิ้นงานอะลูมิเนียมในกระบวนการผลิตแบบไดแคสติง ได้แก่ ระยะเวลาเคลื่อนที่ของลูกสูบในช่วงของการเคลื่อนที่เข้า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบในช่วงการเคลื่อนที่เข้า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบในช่วงการเคลื่อนที่เร็ว ความดันในการอัดชิ้นงานในช่วงการแข็งตัว เวลาในการปล่อยให้ชิ้นงานแข็งตัวในแม่พิมพ์ รวมถึงการปรับอัตราการหล่อเย็นของน้ำหล่อเย็นในแม่พิมพ์ โดยมุ่งเน้นผลทางด้านคุณภาพที่สอดคล้องในเรื่องของโครงสร้างทางจุลภาคและทางกล การศึกษานี้ได้ใช้อะลูมิเนียมซิลิกอนอัลลอยด์เกรด ADC12 โดยใช้เครื่องฉีดขนาด 800 ตัน ช่วงระยะเวลาเคลื่อนที่ของลูกสูบที่ทำการทดลองคือ 247 - 360 มิลลิเมตร ความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ช่วงการเคลื่อนที่เข้าอยู่ระหว่าง 0.12 - 0.19 เมตร/วินาที ความเร็วช่วงการเคลื่อนที่ในช่วงการเคลื่อนที่เร็วอยู่ระหว่าง 2.4 - 3.9 เมตร/วินาที ความดันในการอัดชิ้นงานช่วงการแข็งตัวใช้ระหว่าง 320 - 1120 บาร์ และเวลาในการปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในแม่พิมพ์อยู่ในช่วง 5 - 10 วินาที

ผลการวิจัยพบว่าระยะเวลาเคลื่อนที่ของลูกสูบในช่วงการเคลื่อนที่เข้า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบในช่วงการเคลื่อนที่เข้า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบในช่วงการเคลื่อนที่เร็ว ความดันในการอัดช่วงการแข็งตัว จะมีผลกับผลทางด้านฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องทางด้านคุณภาพทั้งในด้านคุณภาพผิวงานภายนอก และโพรงอากาศภายใน ส่วนเวลาที่ปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในแม่พิมพ์นั้นจะมีผลเฉพาะกับคุณภาพผิวงานภายนอก ในส่วนของโครงสร้างทางจุลภาคจะมีความสัมพันธ์กับการปรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นของแม่พิมพ์ โดยจะส่งผลทางด้านความแข็งของผิวงาน ในการทดลองค่าของตัวแปรที่ทำให้เกิดผลทางคุณภาพที่ดี คือระยะเวลาเคลื่อนที่ของลูกสูบในช่วงการเคลื่อนที่เข้า เท่ากับ 320 มิลลิเมตร ความเร็วเฉลี่ยในช่วงการเคลื่อนที่เข้า เท่ากับ 0.17 เมตร/วินาที ความเร็วในช่วงการเคลื่อนที่เร็วเท่ากับ 3.3 เมตร / วินาที ความดันในการอัดชิ้นงานช่วงการแข็งตัวเท่ากับ 800 บาร์ เวลาที่ปล่อยให้ชิ้นงานแข็งตัวในแม่พิมพ์เท่ากับ 10 วินาที

ภาควิชา ..... วิศวกรรมอุตสาหการ  
สาขาวิชา ..... อุตสาหการ  
ปีการศึกษา ..... 2539

ลายมือชื่อนิติ .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

## C616614 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: INFLUENCE / ALUMINIUM / DIE CASTING

SUCHART SHEVASATH : INFLUENCE OF CONTROLLING FACTORS  
ON ALUMINIUM PROPERTIES IN THE DIE CASTING PROCESS .

THESIS ADVISOR : SOMCHAI PUAJINDANETR , Ph.D. 134 pp.

ISBN 974-636-504-5.

The objective of this research was studied the controlling factors that influence properties of aluminium die casting process. The controlling factors studied were the the distance for first phase of plunger movement , plunger speed for first phase movement, plunger speed for second phase movement , casting pressure for last movement , solidification time and the cooling rate in the mould . The results were concentrated on the microstructure and mechanical properties . This research used Al-Si alloy ADC12 by 800 tons machine with 247 - 360 mm. of the distance for first phase , 0.12 - 0.19 m/s of the plunger speed for first phase , 2.4 - 3.9 m/s of plunger speed for second phase movement , 320 - 1120 bar of casting pressure and 5 - 10 sec. for the solidification time .

The factors which influence in surface and porosity of cast parts were the distance for first phase of plunger movement , plunger speed for first and second phase and casting pressure for the last movement . The solidification time was effect on surface quality . The microstructure was related the cooling rate with effect on the hardness . In this experiment the optimum conditions were 320 mm. of the distance for first phase of plunger movement , 0.17 m/s of the plunger speed for first phase , 3.3 m/s of the plunger speed for second phase , 800 bar of the casting pressure and 10 sec. of the solidification time .

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ

สาขาวิชา.....อุตสาหกรรม

ปีการศึกษา.....2539

ลายมือชื่อนิติ.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ ดร.สมชาย พัวจินตเนตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาด้วยดีมาตลอด และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนให้การเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สุชาติ ชิวสารณ์

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงส่วนผสมของอะลูมิเนียมอัลลอยด์สำหรับงานฉีด.....	5
2.2 แสดงสัญลักษณ์ที่แตกต่างกันของแต่ละมาตรฐาน สำหรับอัลลอยด์ 380.0	6
2.3 แสดงคุณสมบัติของอะลูมิเนียมซิลิกอนอัลลอยด์ในงานฉีด .....	7
2.4 แสดงขนาดของเครื่องฉีดที่มีใช้กันอยู่ .....	19
2.5 แสดงความแข็งของส่วนประกอบแม่พิมพ์ .....	21
2.6 แนะนำการออกแบบความหนาของทางน้ำเข้าโลหะ .....	22
2.7 แนะนำขนาดของส่วนล้น (Overflow ) ที่ใช้กับแม่พิมพ์ไดแคสติ้ง .....	23
2.8 แสดงค่าความดันฉีด สำหรับงานอะลูมิเนียมไดแคสติ้ง .....	34
2.9 แสดงค่าแนะนำเวลาในการเต็มแบบที่ความหนาชิ้นงานต่างๆ .....	35
2.10 แสดงปัญหาและสาเหตุ .....	43
4.1 แสดงค่าของตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลอง .....	52
4.2 แสดงส่วนผสมทางเคมีที่สำคัญของ ADC12 .....	53
4.3 แสดงการแปลงหน่วย LD เป็นความแข็งหน่วย HB .....	60
5.1 แสดงผลทางด้านคุณภาพผิวงานจากการเปลี่ยนตัวแปรในการฉีดต่างๆ ...	62
5.2 แสดงค่าเปรียบเทียบคุณภาพงานจากการพิจารณาเรื่องโพรงอากาศ.....	94
5.3 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะ S1 กับความแข็ง .....	96
5.4 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว V1 กับความแข็ง .....	97
5.5 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว V2 กับความแข็ง .....	98
5.6 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความดัน PI3 กับความแข็ง .....	99
5.7 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลา t2 กับความแข็ง .....	100
5.8 ตารางเปรียบเทียบระหว่างความแข็งกับขนาดโครงสร้างที่ทำการทดลอง	111
5.9 แสดงผลของโครงสร้างและความแข็งที่อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ต่างๆ .....	112
5.10 แสดงคุณภาพผิวงานปาดในแง่ของคุณภาพที่เกิดจากโพรงอากาศ.....	112
5.11 สรุปผลของปัจจัยการฉีดที่ทำการทดลองกับคุณสมบัติต่างๆ.....	119



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงเฟสไดอะแกรมของ Al- Si .....	8
2.2 แสดงโครงสร้างยูเทคติก .....	10
2.3 โครงสร้างของไฮโปยูเทคติก .....	11
2.4 แสดงคุณสมบัติต่างๆของอะลูมิเนียม-ซิลิคอนเมื่อโมดิฟายส์ด้วย Na.....	12
2.5 แสดงหลักการในการใช้แกสเพื่อไล่แกส.....	14
2.6 แสดงฟองอากาศขนาดใหญ่โดยใช้แท่งกราฟไฟท์ .....	15
2.7 แสดงการกระจายตัวของฟองอากาศที่ละเอียดโดยการใช้ใบพัด.....	16
2.8 แสดงการวางตัวของชุดใบพัดบนเบ้าน้ำโลหะ.....	16
2.9 แสดงระบบการไล่แกสด้วยสุญญากาศ .....	17
2.10 แสดงเครื่องฉีดแนวอนแบบรางเย็น .....	19
2.11 ภาพแสดงส่วนประกอบของแม่พิมพ์ .....	20
2.12 แสดงส่วนประกอบของงานฉีด .....	22
2.13 ภาพแสดงส่วนล้น (Overflow).....	23
2.14 แสดงเตาอุ่นและรินน้ำโลหะ.....	24
2.15 แสดงรูปแขนกลที่ใช้งานกับเครื่องฉีด.....	25
2.16 แสดงเครื่องควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์.....	26
2.17 แสดงเครื่องพ่นสารหล่อลื่นแม่พิมพ์ .....	27
2.18 แสดงตำแหน่งของลูกสูบที่เคลื่อนที่ในแต่ละขั้นตอน .....	29
2.19 แสดงกราฟและรูปของคลื่นในการเคลื่อนที่ของลูกสูบในช่วงที่ 1.....	30
2.20 แสดงกราฟและตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการเคลื่อนที่ของลูกสูบในขั้นตอนการเคลื่อนที่เร็ว .....	31
2.21 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของระยะลูกสูบ ความดัน กับเวลา ในแต่ละช่วงการเคลื่อนที่ .....	32
2.22 แสดงระยะการเคลื่อนที่ S1 .....	33
2.23 แสดงระยะการเคลื่อนที่ SB .....	34
2.24 แสดงลักษณะของชิ้นงานไม่สมบูรณ์ .....	38
2.25 แสดงผิวงานปูดพอง .....	39

รูปที่	หน้า
2.26 แสดงผิวครูด .....	39
2.27 แสดงโพรงภายในจากอากาศหรือการหดตัว .....	40
2.28 แสดงรอยหมุนวนของน้ำโลหะ .....	40
2.29 แสดงรอยแตกของชิ้นงาน .....	41
2.30 แสดงผิวชิ้นงานไม่ประสาน .....	41
2.31 แสดงผิวงานหยาบ .....	42
2.32 แสดงโลหะเกาะติดพิมพ์ .....	42
3.1 แสดงกราฟสัดส่วนของเสียจากการผลิตในช่วง มกราคม - สิงหาคม 2539	48
3.2 แสดงกราฟสัดส่วนของคืนจากลูกค้า ในช่วง มกราคม - สิงหาคม 2539	49
4.1 ภาพตัวอย่างระดับคุณภาพผิว 1 .....	56
4.2 ภาพตัวอย่างระดับคุณภาพผิว 2 .....	56
4.3 ภาพตัวอย่างระดับคุณภาพผิว 3 .....	57
4.4 ภาพตัวอย่างระดับคุณภาพผิว 4 .....	57
4.5 แสดงภาพจากการวิเคราะห์ผลด้วย X-ray .....	58
4.6 มาตรฐานเทียบคุณภาพของโพรงอากาศที่พบ .....	58
5.1 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 1 .....	63
5.2 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 2 .....	64
5.3 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 3 .....	65
5.4 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 4.....	66
5.5 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 5 .....	67
5.6 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 6 .....	68
5.7 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 7 .....	69
5.8 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 8.....	70
5.9 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 9.....	71
5.10 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 10 .....	72
5.11 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 11 .....	73
5.12 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 12 .....	74
5.13 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 13 .....	75
5.14 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 14 .....	76

5.15 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 15 .....	77
5.16 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 16 .....	78
5.17 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 17 .....	79
5.18 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 18 .....	80
5.19 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 19.....	81
5.20 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 20 .....	82
5.21 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 21 .....	83
5.22 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 22 .....	84
5.23 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 23 .....	85
5.24 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 24 .....	86
5.25 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 25 .....	87
5.26 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 26 .....	88
5.27 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 27 .....	89
5.28 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 28 .....	90
5.29 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 29 .....	91
5.30 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 30 .....	92
5.31 แสดงภาพถ่ายรังสี X-ray ของเงื่อนไขการฉีดที่ 31 .....	93
5.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะ S1 กับความแข็ง.....	96
5.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว V1 กับความแข็ง.....	97
5.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว V2 กับความแข็ง .....	98
5.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน PI3 กับความแข็ง .....	99
5.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา t2 กับความแข็ง .....	100
5.37 ภาพโครงสร้างสภาพการฉีดที่ 1 .....	101
5.38 ภาพโครงสร้างสภาพการฉีดที่ 4.....	101
5.39 ภาพโครงสร้างสภาพการฉีดที่ 7.....	102
5.40 ภาพโครงสร้างสภาพการฉีดที่ 8.....	102
5.41 ภาพโครงสร้างสภาพการฉีดที่ 10.....	103
5.42 ภาพโครงสร้างสภาพการฉีดที่ 13.....	103

รูปที่	หน้า
5.43 ภาพแสดงโครงสร้างสภาพการฉีดที่ 14 .....	104
5.44 ภาพแสดงโครงสร้างสภาพการฉีดที่ 16 .....	104
5.45 ภาพแสดงโครงสร้างสภาพการฉีดที่ 19 .....	105
5.46 ภาพแสดงโครงสร้างสภาพการฉีดที่ 20 .....	105
5.47 ภาพแสดงโครงสร้างสภาพการฉีดที่ 23 .....	106
5.48 ภาพแสดงโครงสร้างสภาพการฉีดที่ 25 .....	106
5.49 ภาพแสดงโครงสร้างสภาพการฉีดที่ 26 .....	107
5.50 ภาพแสดงโครงสร้างสภาพการฉีดที่ 28 .....	107
5.51 ภาพแสดงโครงสร้างสภาพการฉีดที่ 31 .....	108
5.52 ภาพโครงสร้างที่ระดับผิวงาน .....	109
5.53 ภาพโครงสร้างที่ระดับต่ำกว่าผิวบน 5 มิลลิเมตร .....	110
5.54 ภาพโครงสร้างที่ระดับต่ำกว่าผิวบน 10 มิลลิเมตร .....	110
5.55 ภาพโครงสร้างที่ระดับต่ำกว่าผิวบน 15 มิลลิเมตร .....	111
5.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นกับความแข็ง	112
5.57 ภาพโครงสร้างที่ไม่ได้ใช้น้ำหล่อเย็น .....	113
5.58 ภาพโครงสร้างที่ใช้น้ำหล่อเย็นด้วยอัตรา 4.8 ลิตร/นาที .....	113
5.59 ภาพโครงสร้างที่ใช้น้ำหล่อเย็นด้วยอัตรา 6.7 ลิตร/นาที .....	114
5.60 ภาพโครงสร้างที่ใช้น้ำหล่อเย็นด้วยอัตรา 7.6 ลิตร/นาที .....	114
5.61 ภาพโครงสร้างที่ใช้น้ำหล่อเย็นด้วยอัตรา 8.2 ลิตร/นาที .....	115
5.62 ภาพโครงสร้างที่ใช้น้ำหล่อเย็นด้วยอัตรา 8.5 ลิตร/นาที .....	115
5.63 แสดงคุณภาพผิวงานปกติที่ไม่ใช้น้ำหล่อเย็น .....	116
5.64 แสดงคุณภาพผิวงานปกติที่ใช้น้ำหล่อเย็นด้วยอัตรา 4.8 ลิตร/นาที ...	116
5.65 แสดงคุณภาพผิวงานปกติที่ใช้น้ำหล่อเย็นด้วยอัตรา 6.7 ลิตร/นาที ...	117
5.66 แสดงคุณภาพผิวงานปกติที่ใช้น้ำหล่อเย็นด้วยอัตรา 7.6 ลิตร/นาที ...	117
5.67 แสดงคุณภาพผิวงานปกติที่ใช้น้ำหล่อเย็นด้วยอัตรา 8.2 ลิตร/นาที ...	118
5.68 แสดงคุณภาพผิวงานปกติที่ใช้น้ำหล่อเย็นด้วยอัตรา 8.5 ลิตร/นาที ...	118
พ1.1 แสดงเครื่องวัดความแข็ง .....	129
พ1.2 แสดงภาพเครื่อง X-ray ที่ใช้ในการทดลอง .....	130
พ2.0 แสดงภาพกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในการทดลอง .....	131

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

S1	แทนระยะฉีดในช่วงการเคลื่อนที่ช้า มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
V1	แทนความเร็วฉีดในระยะเวลาการเคลื่อนที่ช้า มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ของเครื่องฉีด
V2	แทนความเร็วในการฉีด ในช่วงการเคลื่อนที่เร็ว มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ของเครื่องฉีด
PI3	แทนความดันในระยะเวลาฉีดสุดท้าย มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ของเครื่องฉีด
t2	แทนระยะเวลาที่ปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในแม่พิมพ์ มีหน่วยเป็นวินาที
ADC12	เป็นสัญลักษณ์ของอะลูมิเนียมซิลิกอนอัลลอยด์ ที่ใช้ในการผลิตในงานของการผลิตแบบไดแคสติ้ง ในมาตรฐานการผลิตของญี่ปุ่น
JIS	ย่อมาจาก JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD
SM100%	แทนระยะเคลื่อนที่ของลูกสูบที่ทำให้น้ำโลหะเต็มกระบอกสูบพอดี มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
SMA	แทนระยะเคลื่อนที่ของลูกสูบที่ทำให้น้ำโลหะเคลื่อนที่มาถึงปากทางเข้าของแบบแม่พิมพ์ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
SfinF	ใช้แทนระยะเคลื่อนที่ของลูกสูบที่ทำให้น้ำโลหะเต็มแบบพอดีมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
S3	แทนระยะเคลื่อนที่ของลูกสูบที่เคลื่อนที่ในช่วงของการอัดแน่น มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
SIfin,SB	แทนระยะเคลื่อนที่ของลูกสูบจากจุดเริ่มต้นถึงสิ้นสุดขบวนการฉีด มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
IB	แทนความหนาของส่วนเกินน้ำโลหะของงานฉีด
Lmactive	แทนช่วงความยาวจากหัวลูกสูบจนถึงจุดสิ้นสุดเมื่อแม่พิมพ์ปิดเข้าหากัน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
S1a	แทนระยะเคลื่อนที่ของลูกสูบในช่วงการเคลื่อนที่ช้า แบบ PARASHOT ก่อนเริ่มต้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
Vma	ใช้แทนความเร็วของน้ำโลหะที่คำนวณจากหน้าตัดของทางเข้าแบบ มีหน่วยเป็นเมตร/วินาที
dwall	แทนความหนาของผนังชิ้นงานที่มีความหนาน้อยสุด มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
tF	แทนเวลาที่ใช้ในการเต็มแบบ นับจากเมื่อน้ำโลหะมาถึงปากทางเข้ามีหน่วยเป็นวินาที
LD	แทนหน่วยที่ใช้วัดความแข็งจากเครื่องวัดแบบอิลคโตรนิคส์
HB	แทนหน่วยของความแข็ง คือ บริเนล