

## บทที่ 2

### หลักการพื้นฐานและการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่นำมากล่าวในบทนี้จะประกอบด้วยหลักการของงานฉีดไดแคสติ้ง ปัจจัยที่มีผลและจำเป็นต้องควบคุมสำหรับงานฉีด ตลอดจนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในงานฉีดไดแคสติ้งโดยพื้นฐานเหล่านี้จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับผู้ผลิตชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีนี้ และยังเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการผลิตด้วย

#### 2.1 อลูมิเนียมซิลิกอนอัลลอยด์

อลูมิเนียมซิลิกอนอัลลอยด์ เป็นอัลลอยด์ที่ใช้กันมากในการผลิตชิ้นส่วน ด้วยกรรมวิธีฉีดแบบไดแคสติ้ง ซึ่งจะประมาณ 85% ถึง 90% ของที่ผลิตทั้งหมด อัลลอยด์ที่นิยมใช้สำหรับงานฉีดแสดงดังตาราง

Alloy	Elements (wt %)					
	Si	Cu	Mg	Fe	Zn	Others
380.0	8.5	3.5	<0.1	<1.3	<3.0	
383.0	10.0	2.5	0.10	1.3	3.0	0.15 Sn
384.0	11.0	2.0	<0.3	<1.3	<3.0	0.35 Sn
390.0	17.0	4.5	0.55	<1.3	<0.1	<0.1 Mg
413.0	12.0	<0.1	<0.1	<0.2	-	

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนผสมของอลูมิเนียมอัลลอยด์สำหรับงานฉีด

Country	Specification	Designation	Cu	Si	Fe	Zn	Mn
					(max)	(max)	(max)
International	ISO DIS 3522	AlSi8Cu3Fe	2.5-4.0	7.5-9.5	1.3	1.2	0.6
Belgium	NBN 436	DG AlSi8Cu3Fe	2.5-4.5	7.0-9.5	1.3	1.0	0.6
Canada	HA3	SC 84N	3.0-4.0	7.5-9.5	0.6	0.1	0.1
		SC 84R	3.0-4.0	7.5-9.5	1.2	1.2	0.5
Denmark	DS 3002	4254	2.0-4.0	7.5-10.0	1.1	3.0	0.5
Finland	SFS 568	G-AlSi9Cu3Fe	2.0-4.0	7.5-10.0	1.25	1.2	0.5
France	NF A 57-703	A-S9U3A-Y4	2.5-4.0	7.5-10.0	1.3	1.2	0.5
W. Germany	DIN 1725/2	G-AlSi8Cu3					
		(226)	2.0-3.5	7.5-9.5	0.8	1.2	0.5
		GD-AlSi8Cu3					
		(226D)	2.0-3.5	7.5-9.5	1.3	1.2	0.5
Italy	UNI3601	G-AlSi8.5Cu	3.0-4.0	7.5-9.5	0.8	0.05	0.5
		UNI5075					
		Cu3.5Fe	3.0-4.0	8.0-9.5	1.1	1.0	0.5
Japan	JIS H 5302	ADC 10	2.0-4.0	7.5-9.5	1.3	1.0	0.5
		ADC 12	1.5-3.5	10.5-12.0	1.3	1.0	0.5
Netherlands	NEN 6022	AlSi8Cu3	2.5-4.5	7.0-9.5	0.7	1.0	0.6
Norway	NS 17530	AlSi9Cu3	2.0-4.0	7.5-10.0	1.0	1.3	0.5
Spain	UNE 38-203-76	L2630	2.5-4.0	7.5-10.0	1.0	3.0	0.5
Sweden	SIS 144251	4251	2.0-3.0	6.0-8.0	0.7	2.0	0.5
		4252	2.0-4.0	7.5-10.0	1.1	1.2	0.5
Switzerland	VSM 10895	G-AlSi8Cu3	2.0-3.5	7.5-9.5	1.3	1.2	0.5
UK	BS1490	LM24	3.0-4.0	7.5-9.5	1.3	3.0	0.5
USA	ASTM B179-80	A380.0	3.0-4.0	7.5-9.5	2.0	3.0	0.5

ตารางที่ 2.2 แสดงสัญลักษณ์ที่แตกต่างกันของแต่ละมาตรฐาน สำหรับอัลลอยด์ 380.0

Alloy	Resistance To Tearing	Pressure Tightness	Fluidity	Shrinkage Tendency	Corrosion Resistance	Machin- ability	Weldability
380.0	2	1	2	-	5	3	4
390.0	2	2	2	-	2	4	2
413.0	1	2	1	-	2	4	4

หมายเหตุ ค่า 1 จะดีที่สุด ส่วน 5 จะคือยที่สุด

### ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของอลูมิเนียมซิลิกอนอัลลอยด์ในงานฉีด

อลูมิเนียมอัลลอยด์จะมีซิลิกอนเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งจะช่วยให้เกิดการหล่อหลอมได้ง่าย ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี สามารถแปรรูปทางกลและเชื่อมได้

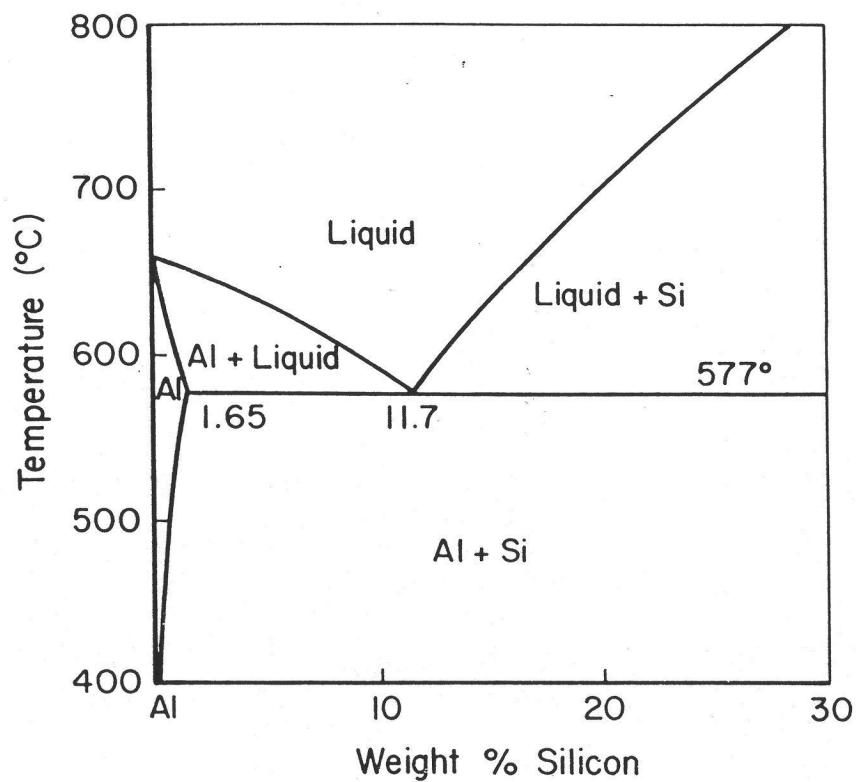
ไบนารียูเทคติก หรือ ไฮเปอร์ยูเทคติก ของอลูมิเนียมซิลิกอนอัลลอยด์ จะเป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติของความสามารถในการหล่อ และการทนต่อการกัดกร่อน จากเฟส ไดอะแกรมในรูปแบบ แสดงให้เห็นว่า อัลลอยด์ 413.0 (Si ประมาณ 12%) จะตกอยู่ในเฟสของ Predominant ยูเทคติก และโดยทั่วไปมักจะปรับสภาพโดยการเติม สตรอนเทียม (Strontium) หรือ โซเดียม (Sodium) เพื่อให้มีความแข็งแรงทางดึงที่เหมาะสม และความเหนียว (ductility) สำหรับการหล่อด้วยแรงดันสูง อัลลอยด์ 413.0 จะเหมาะสมกว่าอัลลอยด์ 443.0 กรรมวิธีการหล่อทั้งหมดสามารถใช้ อัลลอยด์ 443.0 เพื่อความเหนียว การทนต่อการกัดกร่อน และการทนต่อแรงดันซึ่ง สำคัญกว่าในเรื่องของความแข็งแรง

ความแข็งแรงที่จะเกิดจากอลูมิเนียมซิลิกอน อัลลอยด์จะเพิ่มขึ้นได้ เมื่อมีการเพิ่มของอนุภาคเล็ก ๆ ของ Cu, Mg หรือ Ni ในตระกูลของอัลลอยด์นี้ ซิลิกอนจะเป็นตัวที่จะทำคุณสมบัติการหลอมดี ทองแดง (Cu) เป็นค่าเพิ่มความแข็งแรงดึง ความสามารถในการแปรรูปทางกล และความสามารถในการนำความร้อน แต่ความเหนียวและการทนต่อการกัดกร่อนจะลดลง อัลลอยด์ 319.0 ถูกใช้สำหรับการหล่อทราย และการหล่อแบบถาวร ในขณะที่ 380.0 ถูกใช้ในการหล่อแบบความดันสูง เป็นเวลาหลายปี โดยทั่วไป 319.0 และ 380.0 เป็นอัลลอยด์ที่ใช้เพื่อทำ Temper แต่ความแข็งแรงและความสามารถในการแปรรูปของ 319.0 อัลลอยด์สามารถปรับปรุงคุณสมบัติได้โดยการทำ T6 หรือ T5

ในการหล่อแรงดันสูงมักจะใช้อลูมิเนียม ซิลิกอน ทองแดง อัลลอยด์ รู้กันในนามของ 380.0 ในประเทศสหรัฐ จากตาราง แสดงสัญลักษณ์ที่แตกต่างกันของแต่ละมาตรฐาน ซึ่งไม่เพียงแตกต่างกันที่อนุภาคของซิลิกอนและทองแดงเท่านั้น แต่รวมไปถึงระดับของความแตกต่างขององค์ประกอบหลัก เช่น เหล็ก สังกะสี และแมกนีเซียม ธาตุเหล็กถ้ายังมีมากก็จะหลีกเลี่ยงปัญหา

การเกาะติดแม่พิมพ์ แต่จะเป็นตัวที่จะรวมตัวให้เกิด  $\alpha$ -Al Fe Si หรือองค์ประกอบกับแมกนีเซียม แมกนีเซียมควรจะมีระดับที่ต่ำกว่า 0.3 % เพื่อหลีกเลี่ยงการรวมตัวของ  $Mg_2Si$  ซึ่งจะมีผลทำให้ความแข็งแรงทางดึงลดลง

ความแข็งตามธรรมชาติของ อลูมิเนียมซิลิกอน อัลลอยด์ ถ้ามี แมกนีเซียมผสมอยู่ จะเป็นกลุ่มของอัลลอยด์ที่สำคัญ ภายหลังจากทำ T4 และชุบ ผลจากการ Aging จะได้โครงสร้างที่มีการกระจายของ  $Mg_2Si$  ซึ่งจะจับเป็น dendrite อลูมิเนียมซิลิกอนแมกนีเซียมซิลิไซด์ สามารถใช้ในการหล่อแบบทรายและหล่อแบบถาวรซึ่งมีความสามารถในการหล่อได้ดี ทนทานต่อแรงดัน และด้านการกัดกร่อน



รูปที่ 2.1 แสดงเฟสไดอะแกรมของ Al-Si

การปรับปรุงคุณภาพโดยกรรมวิธีทางความร้อนคือการปรับ โครงสร้างของ eutectic ซึ่งจะทำให้เกิดคุณสมบัติต่าง ๆ เมื่อเพิ่มธาตุเหล็กและให้แข็งตัวอย่าง ช้า ๆ จะมีผลให้คุณสมบัติทางกลลดลง โพรงอากาศจะเป็นตัวขวางกั้นในเรื่องของความแข็งแรงทางดึง และความสามารถในการยึดตัว อัลลอยด์ 357.0 สามารถจำแนกให้แตกต่างจากอัลลอยด์ 356.0 โดยระดับของแมกนีเซียมที่สูงกว่า กรรมวิธีทางความร้อนของ 357.0 จะได้ ความแข็งแรงทางดึงสูงกว่า 356.0 A 356.0 และ A357.0 จะเป็นอัลลอยด์ที่บริสุทธิ์กว่าใน 356.0 และ 357.0 ถ้าระดับเหล็กต่ำและมีจำนวนของเบลริเรียมน้อยใน A 357.0 จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติของความเหนียว

อัลลอยด์ 355.0 ของกลุ่มอลูมิเนียมซิลิกอนประกอบด้วย ทั้งแมกนีเซียมและทองแดง ธาตุทั้ง 2 นั้นมีผลในเรื่องของความแข็งแรงทางดึงที่สูงขึ้นแต่จะทำให้ความเหนียวและความต้านทานการกัดกร่อนน้อยลง ส่วน 332.0 เป็นอัลลอยด์ที่ประกอบด้วย ซิลิกอนและทองแดงในระดับที่สูงและมันได้ถูกใช้ในการผลิตห้องเครื่องยนต์ เนื่องจากเป็นตัวที่รักษาระดับของอุณหภูมิและสัมประสิทธิ์การขยายตัวน้อยลง

อัลลอยด์ไฮเปอรยูเทคติก เช่น 393.0 และ 393.0 ประกอบด้วย 15 - 25 % ของซิลิกอนมีผลให้เกิดการต้านทานการสึกหรอ และการลดการขยายตัวจากความร้อน ความสามารถในการแปรรูปทางกลจะดีขึ้นเมื่ออนุภาคของซิลิกอนมีความละเอียด และมีการแยกตัว โดยองค์ประกอบของฟอสฟอรัส 390.0 ถูกใช้ในการหล่อแบบแรงดันต่ำในยุโรป การหล่อแรงดันสูงและการหล่อแบบถาวร ในสหรัฐ

### 2.1.1 ลักษณะการใช้งาน

อัลลอยด์ที่มี อลูมิเนียม-ซิลิกอนเป็นหลักจะเหมาะสมกับงานหล่อทั้งแบบหล่อทรายและแบบหล่อถาวร ในการหล่อชิ้นส่วนยานยนต์ เครื่องใช้ในบ้าน และ ฝาครอบเครื่อง รวมทั้งส่วนประกอบของยานอวกาศ

อัลลอยด์ 319.0 เป็น โลหะที่สามารถนำกลับมาหลอมใช้ใหม่ ชิ้นส่วนที่ทำด้วยอัลลอยด์ชนิดนี้ เช่น ฝาสูบ และท่อไอดี อัลลอยด์ A356.0 และ A357.0 เป็นอัลลอยด์ที่นิยมนำมาทำชิ้นส่วนยานยนต์ และชิ้นส่วนเครื่องบิน ในออสเตรเลีย และอเมริกาเหนือ อัลลอยด์ A356.0 ถูกนำมาหล่อเป็นล้อ โดยการผสมสตรอนเทียม (strontium) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงทางดึงและความเหนียวหลังกรรมวิธีทางความร้อน

คุณสมบัติพิเศษของอัลลอยด์ A356.0 และ A357.0 จะถูกใช้ในงานทางทหารและยานอวกาศ อัลลอยด์ C355.0 ที่บริสุทธิ์มากจะถูกใช้ผลิตตัวถังของเครื่องยนต์ ส่วนประกอบของปั๊มใบ

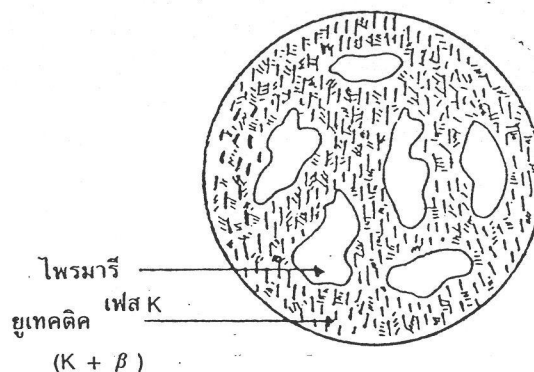
พืด และส่วนที่หมุนด้วยความเร็วสูงลูกสูบของเครื่องยนต์ ถูกผลิตด้วยการหล่อแบบหล่อถาวร ด้วยอัลลอยด์ 332.0 การเพิ่มนิกเกิล จะช่วยไม่ให้เกิดการแบ่งชั้นของส่วนผสมเพื่อให้ได้คุณสมบัติอย่างสม่ำเสมอ เมื่อมีการแปรรูปและเมื่อมีความร้อน ในยุโรปและญี่ปุ่น อัลลอยด์แบบไฮเปอร์ยูเทคติกของอลูมิเนียมซิลิกอน-ทองแดง แมกนีเซียม นิกเกิล อัลลอยด์จะถูกใช้สำหรับการทำลูกสูบและฝาสูบสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล

โครงสร้างของอัลลอยด์ 390.0 แบบไฮเปอร์ยูเทคติก เป็นโลหะแรกที่ใช้ในการหล่อเสื้อเครื่องยนต์โดยไม่ใช่แกนเหล็กหล่อ การเติมฟอสฟอรัส 0.9 % จะเป็นตัวที่เพิ่มคุณสมบัติทำให้ซิลิกอนเกิดความละเอียด อุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ของยุโรป ใช้การหล่อแบบความดันต่ำโดยการใช้อัลลอยด์ 390.0 ทำเสื้อเครื่องยนต์ ปัจจุบันอัลลอยด์ 380.0 จะใช้ทำเสื้อเครื่องยนต์โดยมี Liner เหล็กหล่อโดยกรรมวิธีหล่อแบบความดันสูง ผลิตในยุโรปและญี่ปุ่น ในสหรัฐอเมริกาและแคนาดา การผลิตเครื่องยนต์ และชิ้นส่วนส่งถ่ายกำลัง จะใช้การหล่อด้วย 380.0

### 2.1.2 ลักษณะโครงสร้างของโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิกอน

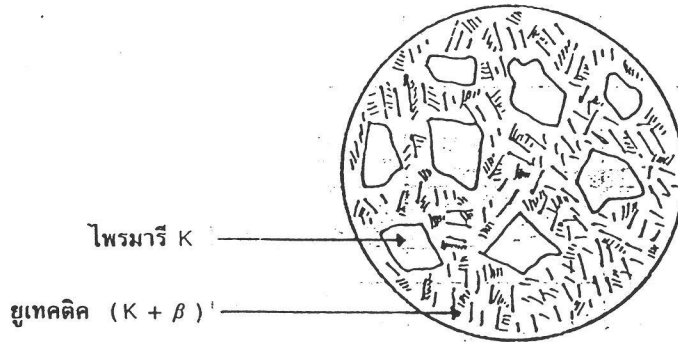
ในสภาพการเย็นตัวตามปกติในแบบหล่อทราย โดยไม่ได้ทำ โมดิฟิเคชัน แบ่งการศึกษาออกไปเป็น 3 ลักษณะ คือ

1. โลหะผสมประเภทไฮโปยูเทคติก (ต่ำกว่า 11.6%) ซึ่งจะแยกออกเป็น 2 ลักษณะคือ โลหะผสมที่มีซิลิกอนต่ำกว่า 1.65 % ซิลิกอน โครงสร้างจะประกอบด้วยเฟส K หรือ  $\alpha$  เพียงเฟสเดียว เป็นลักษณะของโลหะผสมที่อยู่ในกลุ่มขึ้นรูปเย็น (Wrought)
2. โลหะผสมที่มีซิลิกอนสูงกว่า 1.65 % แต่ไม่เกิน 11.6 % ซิลิกอน โครงสร้างจะประกอบด้วยเฟส K โดยมีโครงสร้างยูเทคติก ( $K + \beta$ ) อยู่รอบบริเวณขอบเกรน
3. โลหะผสมยูเทคติก (11.6 % ซิลิกอน) โครงสร้างประกอบด้วย ผลึกขนาดเล็กของเฟส K กับเฟส  $\beta$  ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปเข็มๆ แทรกสลับกันอยู่ในเฟส K



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างยูเทคติก

โลหะผสมไฮโปยูเทคติก (มากกว่า 11.6 % ซิลิคอน) โครงสร้างประกอบด้วยเฟส  $\beta$  เป็นลักษณะรูปหลายเหลี่ยมกระจายโดยมีโครงสร้างยูเทคติก ( $K + \beta$ ) ล้อมรอบดังภาพ



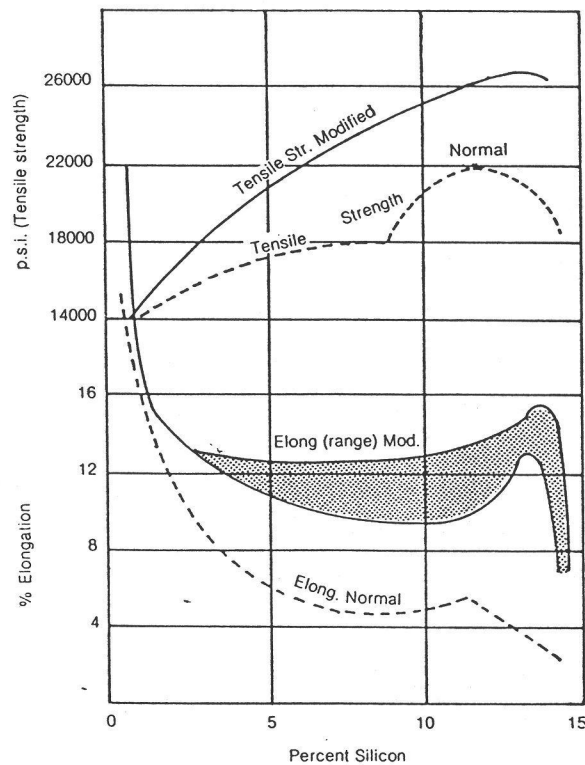
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของไฮโปยูเทคติก

สำหรับโครงสร้างภายหลังการทำโมดิฟิเคชันตามที่ได้กล่าวมาแล้วจะปรากฏยูเทคติกต่ำลง และเคลื่อนไปอยู่ที่ 14 % โครงสร้างของโลหะผสมประเภทไฮโปยูเทคติก ไม่สู้จะมีผลทางด้าน การเปลี่ยนแปลง เพียงแต่ลักษณะของเกรนจะเล็กลงเนื่องเพราะการเกิดปฏิกิริยายูเทคติก ที่ให้เฟส K และ  $\beta$  พร้อมกันเกิดที่อุณหภูมิต่ำ ( $564^{\circ}\text{C}$ ) และมีเฟส K ชนิดไพรมารีมีปริมาณสูงขึ้น

โครงสร้างของโลหะผสมยูเทคติก (11.6 % Si) เมื่อจุดยูเทคติกเปลี่ยนไปอยู่ที่ 14 % Si ภายหลังการทำ โมดิฟิเคชัน โลหะผสมจึงให้โครงสร้างใหม่มีลักษณะเป็นโลหะผสมไฮโปยูเทคติก คือ มีเฟส K ขนาดเล็กเกิดขึ้น และมีโครงสร้างยูเทคติกที่ประกอบด้วยเฟส K และเฟส  $\beta$  ขนาดเล็กเกิดขึ้นล้อมรอบเฟส K ที่เป็นไพรมารี มีผลทำให้โลหะผสมภายหลังการทำโมดิฟิเคชันมีทั้งความแข็งแรงและความเหนียวเพิ่มขึ้น

โครงสร้างของโลหะผสมไฮเปอร์ยูเทคติก (มากกว่า 11.6 % Si) ในที่นี้ถ้าจะพิจารณาโลหะผสมที่ 14 % ซิลิคอน ภายหลังเมื่อทำโมดิฟิเคชันจะทำให้โลหะผสมนี้ กลายเป็นโลหะผสมยูเทคติกซึ่งจะได้โครงสร้างภายหลังเย็นตัวเป็นลักษณะ โครงสร้างยูเทคติก ( $K + \beta$ ) ที่มีขนาดเล็กละเอียดเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของโลหะผสมที่ให้ผลสูงมาก ทั้งความแข็งแรงและความเหนียวดังปรากฏในภาพ แสดงผลเปรียบเทียบระหว่าง Tensile Strength กับ Elongation ของโลหะผสมที่ปริมาณซิลิคอนต่างๆกัน ระหว่างสภาพการเย็นตัวปกติในแบบทรายกับสภาพการเย็นตัวโดยผ่านการทำโมดิฟิเคชัน

การเพิ่มคุณสมบัติปรับปรุงความแข็งแรงด้วยการอบชุบความร้อน สามารถกระทำได้โดยการผสมธาตุอื่น เช่น แมกนีเซียม หรือ ทองแดง จะเกิดการรวมตัวให้สารประกอบกึ่งโลหะ เช่น  $\text{Mg}_2\text{Si}$  และ  $\text{CuAl}_2$  ซึ่งเมื่อเกิดการตกผลึกในช่วงอุณหภูมิต่ำ จะมีผลต่อความแข็งแรงของโลหะผสม



รูปที่ 2.4 แสดง คุณสมบัติต่างๆของอะลูมิเนียม-ซิลิคอนเมื่อ โมดิฟายส์ด้วย Na

### 2.1.3 การไล่อากาศในการหลอมอะลูมิเนียม

ในงานหล่ออะลูมิเนียมปัญหาที่มักจะพบมาก คือเกิดโพรงอากาศในงานหล่อซึ่งการที่จะป้องกันไม่ให้เกิดนั้นจะต้องทำในหลายๆทาง แต่หนทางที่จำเป็นจะต้องทำก็คือการไล่อากาศในน้ำอะลูมิเนียมให้ออกไปให้มากที่สุด อากาศที่กล่าวถึงในที่นี้คือก๊าซไฮโดรเจน นอกจากการไล่อากาศแล้ว จำเป็นต้องหาวิธีป้องกันไม่ให้ไฮโดรเจนเข้ามาปะปนได้อีก

การเลือกวิธีการไล่แกสจะขึ้นอยู่กับความการยอมรับระดับแกสในงาน เช่นงานบางอย่างต้องการคุณภาพสูง เช่น การหล่อชิ้นส่วนยานอวกาศ ซึ่งต้องการคุณสมบัติทางกลสูง และในงานซึ่งมูลค่าของโลหะจะเป็นเพียงส่วนน้อยของมูลค่างาน ซึ่งงานในลักษณะนี้ จะสามารถกำหนดได้ว่าจะต้องมีค่าของไฮโดรเจนน้อยกว่า 0.1 mL/100 gm Al ซึ่งจะต้องใช้กรรมวิธีการไล่ แกสที่ซับซ้อนขึ้น

ในงานหล่อสำหรับการผลิตจำนวนมาก ซึ่งจะเน้นในเรื่องของรูปทรงมากกว่าโครงสร้างการหล่อในลักษณะนี้จะคำนึงถึงความสูญเสียเนื่องจากค่าของงานหล่อน้อยและระดับของแกสที่ยอมรับได้จะมากกว่า



จากการที่ระดับของแก๊สที่ยอมรับได้ขึ้นอยู่กับประเภทของงานหล่อ ดังนั้นการไล่แก๊สควรจะใช้การตรวจสอบไฮโดรเจนควบคู่ไปด้วย มิฉะนั้นจะไม่สามารถยืนยันได้ว่า ถึงจุดที่ต้องการ โดยทั่วไปวิธีการไล่แก๊สจะมี 3 วิธี

1. การไล่แก๊สตามธรรมชาติ
2. การฟอกโดยใช้แก๊ส
3. การไล่ด้วยก้อนเคมี
4. การไล่แก๊สแบบสูญญากาศ

โดยที่ขบวนการการฟอกโดยใช้แก๊สจะเป็นที่นิยม มีใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม

### 1. การไล่แก๊สแบบธรรมชาติ

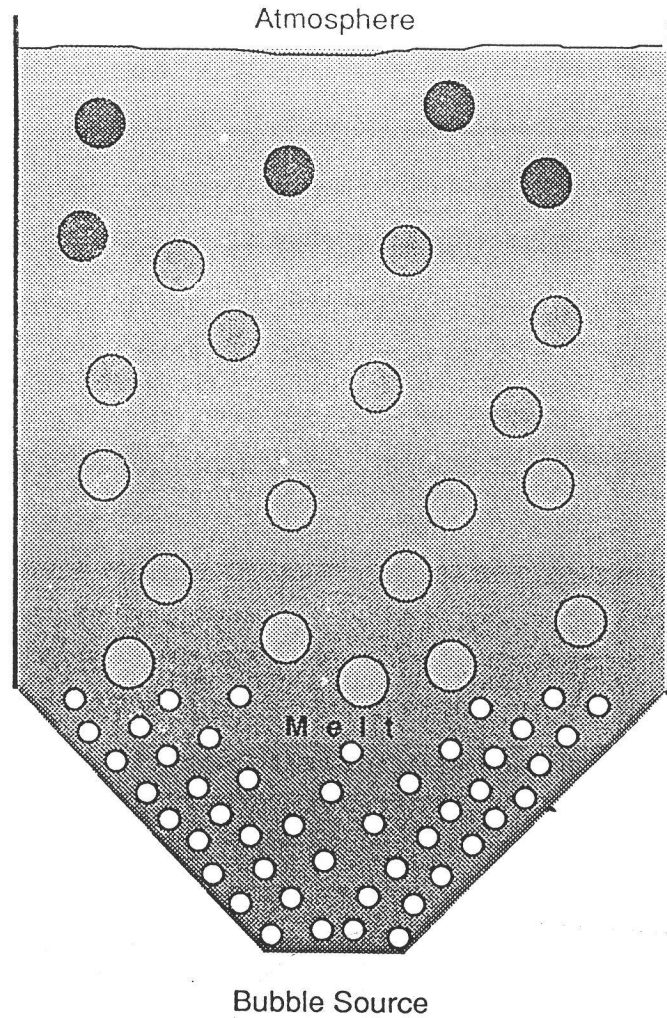
น้ำอลูมิเนียมเหลวในอ่างจะคลายไฮโดรเจนสู่บรรยากาศ ถ้าในน้ำโลหะเหลวถึงอิมัตว์ การไล่แก๊สแบบธรรมชาตินี้ จะเกิดอย่างช้าๆ ใช้เวลาหลายชั่วโมง ซึ่งจะเป็นการช้าในทางปฏิบัติ การไล่แก๊สแบบธรรมชาตินี้จะไม่เกิดในทุกกรณี น้ำโลหะจะต้องถึงจุดอิมัตว์ น้ำโลหะจะไม่ถึงจุดอิมัตว์ภายใต้การหลอมแบบธรรมชาติ ถ้าการหลอมไม่ได้เกิดที่อุณหภูมิต่ำ และความชื้นในบรรยากาศต่ำ

### 2. การฟอกด้วยแก๊ส

การไล่แก๊สวิธีนี้ทำด้วยการใช้แก๊สเฉื่อย แก๊สรีแอกทีฟ หรือผสมผสานทั้งสอง การไล่แก๊สวิธีนี้จะได้ผลดี ซึ่งจะเหมาะกับการหลอมอลูมิเนียมขั้นแรก วิธีการนี้ก็ยังคงเหมาะที่จะนำไปใช้ในโรงหล่อ

ไฮโดรเจนอะตอมในน้ำโลหะจะกระจาย ไฮโดรเจนจะแฝงตัวในน้ำอลูมิเนียมในรูปของอะตอมไม่ใช่น้ำในรูปของโมเลกุล  $H_2$  ไฮโดรเจนที่สามารถดึงออกจะต้องเป็นรูปของอะตอมผสมกันเป็นแก๊สไฮโดรเจนที่เป็นโมเลกุล การที่จะทำให้เกิดฟองพรุดในน้ำอลูมิเนียมเหลวจะไม่ใช่การง่ายซึ่งจะทำให้ไฮโดรเจนอิสระแผ่กระจายไปกับฟองพรุดซึ่งจะเกิดขึ้นจากกาซบางตัว และอะตอมของไฮโดรเจนสามารถรวมตัวเป็นฟองพรุดขึ้นที่ผิวหน้าน้ำโลหะ ตามสมการนี้





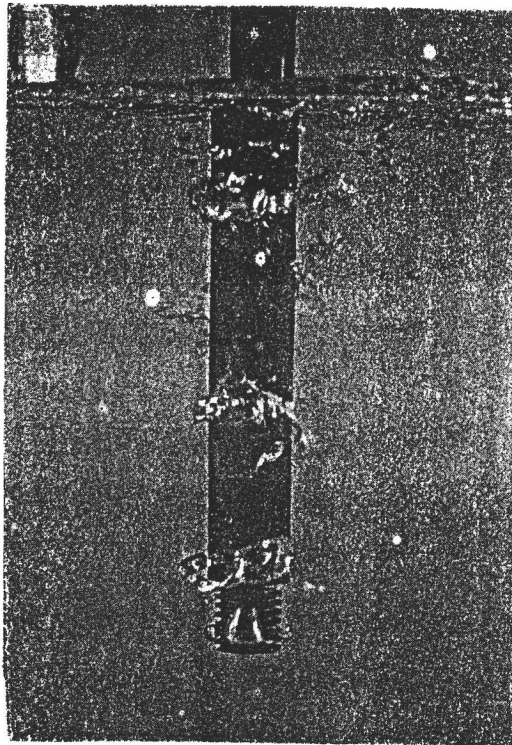
รูปที่ 2.5 แสดงหลักการในการใช้แก๊สเพื่อไล่อากาศ

ไฮโดรเจนสามารถออกจากโลหะเหลวจากฟองที่ผุดมาถึงผิวหน้า ความแตกต่างระหว่างการไล่อากาศด้วยเทคนิคต่างๆ อยู่ที่ชนิดของแก๊สที่ทำให้เกิดฟอง ประสิทธิภาพของการไล่อากาศจะขึ้นอยู่กับขนาดของฟองผุด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊ส แก๊สหลายอย่างและแก๊สที่ผสมสามารถนำมาใช้ได้ แต่จะต้องปราศจากไอน้ำ โดยทั่วไปที่ใช้คือไนโตรเจน หรือ อากาศบริสุทธิ์คลอรีนบริสุทธิ์ ก็มีการนำมาใช้ แต่จะก่อให้เกิดแก๊สพิษและมีผลต่อการกัดกร่อนของเครื่องมือและเครื่องที่ใช้ตัดกวน

ก๊าซผสมระหว่างแก๊สเฉื่อยและคลอรีนที่ใช้กันมีดังนี้

- 99% Ar - 1% Cl<sub>2</sub>
- 90% Ar - 10% Cl<sub>2</sub>
- 80% N<sub>2</sub> - 10%Cl<sub>2</sub> - 10%Co
- 90% N<sub>2</sub> - 10% Cl<sub>2</sub>
- 70% N<sub>2</sub> - 30% Cl<sub>2</sub>

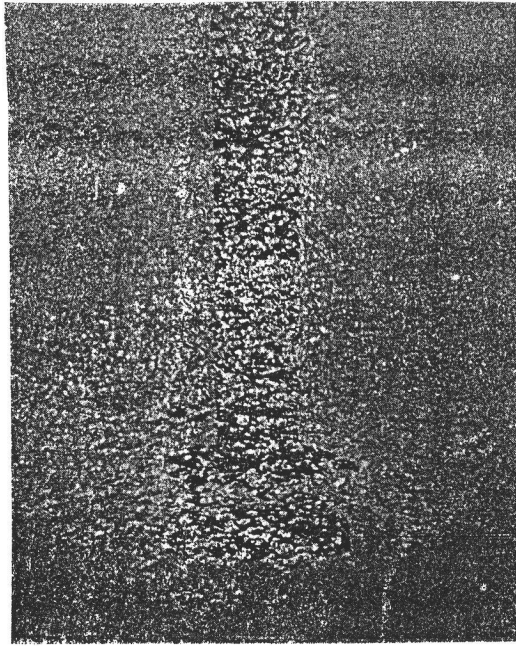
ก๊าซที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ ก๊าซผสมของไนโตรเจนและฟิออน-12 ( $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ) ความเข้มข้นของฟิออนจะอยู่ในช่วง 5% ถึง 30% ก๊าซอีกตัวที่ได้ผลดีคือ ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ ( $\text{SF}_6$ ) แกสเหล่านี้สามารถนำไปใช้ได้หลายทาง วิธีง่ายที่สุดแต่ได้ผลต่ำสุดคือการใช้แท่งกราไฟท์ ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2.5-5 cm. และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.3 cm. ฟองพรุคขนาดใหญ่จะเกิดจากท่อนี้ ซึ่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-3 cm. แสดงดังรูปที่ 2.6



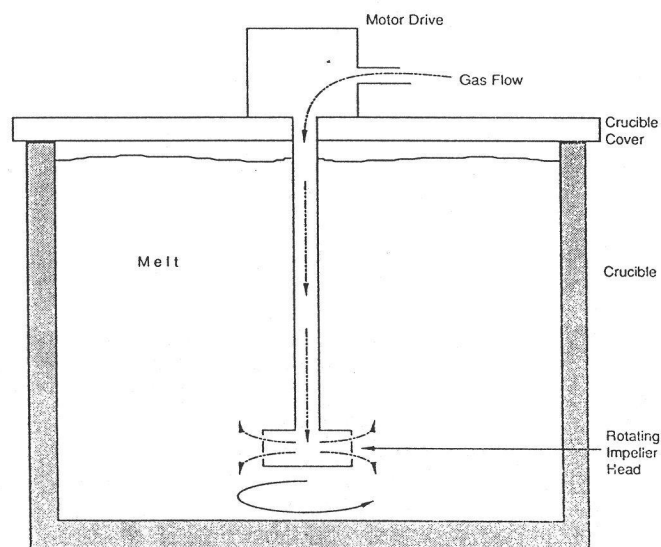
รูปที่ 2.6 แสดงฟองอากาศขนาดใหญ่โดยใช้แท่งกราไฟท์

การที่จะให้ได้ฟองอากาศที่ละเอียดสามารถทำได้โดยการใช้แท่งกราไฟท์ที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่หัว 15 cm. ซึ่งจะทำให้เป็นรูพรุนเป็นจำนวนมากและทำให้เลื่อยเป็นเกลียวไปบนแท่งกราไฟท์

บริษัทที่ผลิตอลูมิเนียมขึ้นต้นและผู้ผลิตแกสได้พัฒนาระบบการไล่แกส (MINI, SNIF, ALPUR, DMC และอื่นๆ) เพื่อให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น วิธีการหนึ่งที่ใช้กันคือการใช้ใบพัดในการช่วยให้เกิดฟองอากาศของไนโตรเจนที่กระจายตัวอย่างละเอียด โดยมีขนาดของความละเอียดถึง 3 - 6 mm. การกระจายของฟองจะเกิดทั่วไปในน้ำโลหะ ความเร็วในการหมุนและอัตราการไหลจะสามารถปรับได้ ขึ้นอยู่กับจำนวนของน้ำโลหะ ตามรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการกระจายตัวของฟองอากาศที่ละเอียดโดยการใช้ใบพัด



รูปที่ 2.8 แสดงการวางตัวของชุดใบพัดบนเข้าน้ำโลหะ

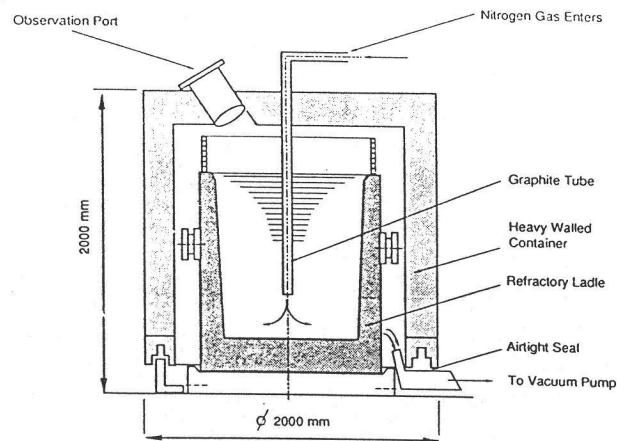
### 3. การไล่แกสด้วยก้อนเคมี

ในการใช้ก้อนเคมีไล่แกสจะเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการไล่แกส ซึ่งจะทำได้อย่างรวดเร็ว ก้อนเคมีจะถูกตกลงไปในน้ำโลหะโดยใช้อุปกรณ์ลักษณะระฆังคว่ำครอบไว้ ส่วนประกอบของก้อนเคมีซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นส่วนผสมของคลอไรด์ ( $C_2Cl_6$ ) ซึ่งจะแตกตัวที่อุณหภูมิ  $700\text{ }^{\circ}C$

คุณสมบัติของมันเป็นเหมือนฟลักซ์ ซึ่งจะเป็นวัสดุที่ดูดความชื้น ดังนั้นจึงต้องเก็บไว้ในที่แห้ง มิฉะนั้นจะเป็นการเพิ่มไฮโดรเจนลงไปในน้ำโลหะ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นควันพรุดขึ้นมาเหนือผิวหน้าโลหะ และจะดึงแกสไฮโดรเจนออกไปด้วย วิธีการนี้เหมาะสำหรับการหลอมที่ไม่มาก และคุณภาพของน้ำโลหะที่ได้ไม่มากนัก

#### 4. การไล่แกสโดยวิธีสุญญากาศ

วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันมากในยุโรป หลักการคือจะทำให้อากาศที่อยู่ด้านบนของน้ำโลหะ ถูกขจัดออกไป โดยใช้ปั๊มดูดอากาศออก การไล่แกสด้วยวิธีนี้จะให้ได้ผลอย่างรวดเร็วสามารถอาศัยการใช้ไนโตรเจนพ่นลงไปใต้น้ำโลหะเพื่อเป็นตัวเร่งให้เกิดฟองอากาศผุดขึ้นมา ซึ่งจะเป็นตัวเร่งให้การดูดอากาศออกมีผลดียิ่งขึ้น วิธีนี้สามารถทำให้ระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนในน้ำโลหะ ลดลงเหลือประมาณ  $0.08 \text{ mlH}_2 / 100 \text{ g Al}$



รูปที่ 2.9 แสดงระบบการไล่แกสด้วยสุญญากาศ

## 2.2 หลักการของงานฉีดไตแคสติง

### 2.2.1 องค์ประกอบของงานฉีดไตแคสติง

ในงานฉีดแบบไตแคสติงมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 4 อย่างคือ

- เครื่องฉีดไตแคสติง
- อัลลอยด์ที่ใช้
- แม่พิมพ์
- อุปกรณ์ประกอบที่ใช้ร่วมกับเครื่องฉีด

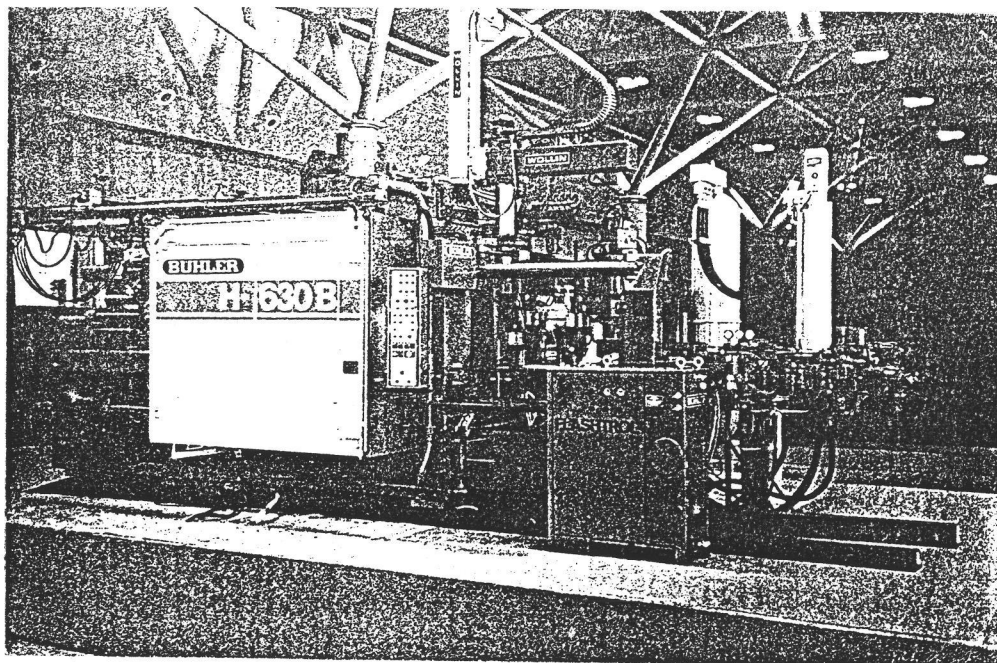
#### 1. เครื่องฉีดไตแคสติง

เครื่องฉีดที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน สามารถแบ่งแยกได้ดังนี้

- เครื่องฉีดแนวนอนแบบวางเย็น ( The horizontal cold chamber system )
- เครื่องฉีดแนวนอนแบบวางเย็นสำหรับงานฉีดแบบศูนย์กลาง  
( The horizontal cold chamber for center gating )
- เครื่องฉีดแนวตั้งแบบวางเย็น ( The vertical cold chamber system )
- เครื่องฉีดแบบวางร้อน ( The hot chamber system )

ลักษณะของเครื่องฉีดที่ใช้กันมากจะเป็นแบบ เครื่องฉีดแนวนอนแบบวางร้อน และวางเย็น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของอัลลอยด์ที่ใช้เช่น ถ้าเป็นโลหะที่สามารถทำปฏิกิริยากับบรรยากาศได้ง่ายและก่อให้เกิดอันตรายเช่น อัลลอยด์ของแมกนีเซียม หรืออัลลอยด์ของ สังกะสีจะใช้เครื่องฉีดแนวนอนแบบวางร้อนเนื่องจากเป็นระบบปิด ส่วนในกรณีของ อลูมิเนียมอัลลอยด์จะใช้เครื่องฉีดแนวนอนแบบวางเย็น เนื่องจากโลหะที่ใช้ไม่เกิดอันตราย เมื่อทำปฏิกิริยากับอากาศภายนอก และงานที่ใช้ส่วนใหญ่ต้องการแรงดันที่สูง

เครื่องฉีดแนวนอนแบบวางเย็นจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่างๆคือ ส่วนของหน้าเครื่องที่ใช้ประกอบแม่พิมพ์ ส่วนของการส่งกำลังเพื่อการอัดน้ำอะลูมิเนียมเข้าสู่แม่พิมพ์ส่วนของการกดอัดหน้าเครื่องเพื่อให้มีกำลังด้านแรงดันในแม่พิมพ์ ส่วนของรางเลื่อนในการเคลื่อนที่ของหน้าเครื่อง ส่วนของผู้ควบคุมในการฉีดส่วนของการกระทุ้งชิ้นงานในแม่พิมพ์ออก



รูปที่ 2.10 แสดงเครื่องนวดแวนอนแบบรางเย็น

ขนาดของเครื่องนวดจะถูกกำหนดด้วยแรงดันปิดหน้าเครื่อง มีหน่วยเป็นตัน เครื่องที่มีแรงดันปิดหน้าเครื่องสูงๆจะมีขนาดโครงสร้างที่ใหญ่ ดังนั้นจึงสามารถใช้ผลิตงานที่มีขนาดที่ใหญ่และต้องการนำไปใช้งานรับแรงดันสูง

ตารางที่ 2.4 แสดงขนาดของเครื่องนวดที่มีใช้กันอยู่

ขนาดของเครื่องจักร ( Ton )	250	400	630	800	1100	2000
กำลังในการปิดพิมพ์ ( KN )	2850	4600	7250	9200	12500	22000

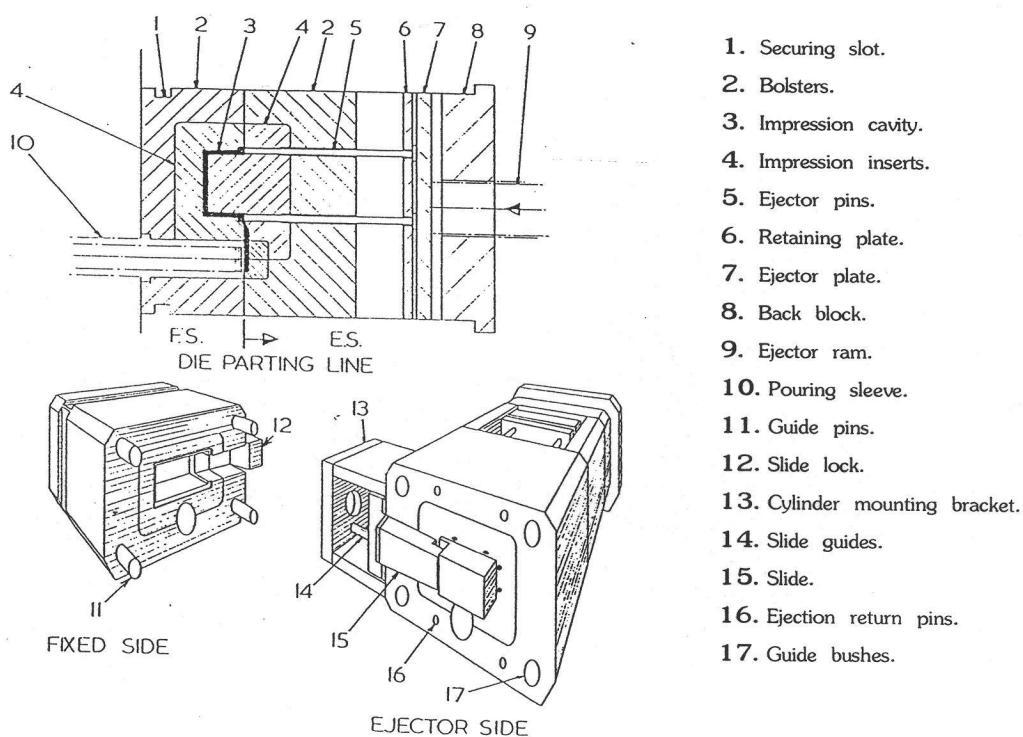
หมายเหตุ ข้อมูลที่แสดงในที่นี้คือข้อมูลของเครื่อง BUHLER ของประเทศสวิสแลนด์

## 2. อัลลอยด์ที่ใช้

ในส่วนของอัลลอยด์ที่ใช้ในงานฉีดแบบโคแคสดีงมีอยู่หลายตัว ซึ่งการใช้งานจะขึ้นกับการนำไปใช้ของชิ้นงานนั้น ซึ่งอัลลอยด์ที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็น อลูมิเนียมอัลลอยด์ อัลลอยด์ของสังกะสี อัลลอยด์ของแมกนีเซียม เป็นต้น อัลลอยด์ของงานฉีดแบบโคแคสดีงที่ใช้กันอย่างมากที่สุดคืออลูมิเนียมอัลลอยด์ เนื่องจากมีราคาถูก ใช้งานได้ทั่วไป และปลอดภัยในการทำงาน รวมทั้งมีความทนทานในการใช้งาน

## 3. แม่พิมพ์

แม่พิมพ์ เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการผลิตแม่พิมพ์จะเป็นสิ่งที่กำหนดถึงประเภทของชิ้นงาน คุณภาพของชิ้นงาน เนื่องจากแม่พิมพ์จะผลิตตามลักษณะของงานที่ผลิต และการผลิตแม่พิมพ์จะต้องอาศัยการออกแบบที่เหมาะสมจึงจะทำให้การผลิตงานออกมาได้คุณภาพ มีของเสียจากการผลิตน้อย รวมทั้งอายุการใช้งานยาว



รูปที่ 2.11 ภาพแสดงส่วนประกอบของแม่พิมพ์



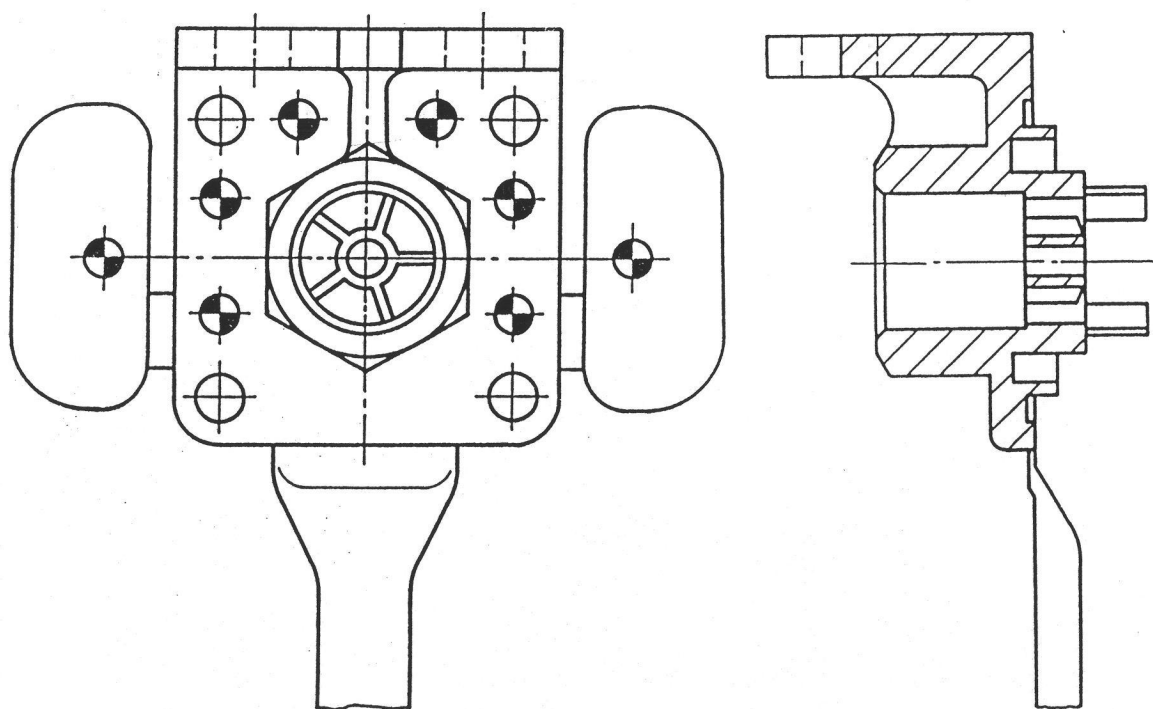
สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบแม่พิมพ์คือเรื่องของการวางตำแหน่งของทางเข้าน้ำ โลหะในชิ้นงาน(Gate) รวมทั้งขนาด การวางตำแหน่งของส่วนเกินของชิ้นงาน (Overflow) ความพอเพียงของทางออกของอากาศในแม่พิมพ์ ( Air Vent ) การวางตำแหน่งของน้ำหล่อเย็น นอกจากนั้นการเลือกวัสดุในการทำแม่พิมพ์ต้องเหมาะสม เพื่อให้มีความทนทานกับการใช้งาน และต้องมีขบวนการปรับสภาพความแข็งของผิวแม่พิมพ์ ( Heat Treatment ) ให้ได้ความแข็งที่พอเหมาะสำหรับการใช้งาน

	Hardness in HRC (Rockwell)			
	Zinc - Alloys	Al - Alloys	Al-Mg-Alloys	Cu-Alloys
Die plate	43 - 45	44 - 46	44 - 46	39 - 40
Inserts	43 - 45	44 - 46	44 - 46	39 - 40
Split inserts machining after heat treatment	41	43 - 45	43 - 45	34 - 36
Round cores	46	46	48	43
Cavity cores	43	44 - 46	44 - 46	36 - 37
Vacuum dies	50- 52	50 - 52	50 - 52	-----
Dies for automatic die casting machines	48 - 50	48 - 50	-----	-----
Guide pin	56	56	56	56
Guide bush	56	56	56	56
Angle pin	52	52	52	52
Sprue bush Spreader	48	48	48	39 - 40
Ejector pin Return pin	46 - 48	46 - 48	46 - 48	46 - 48
	nitride	hardening 0.03	mm	
Slide	case	hardening		
Wedge lock	case	hardening		
Guides	case	hardening		

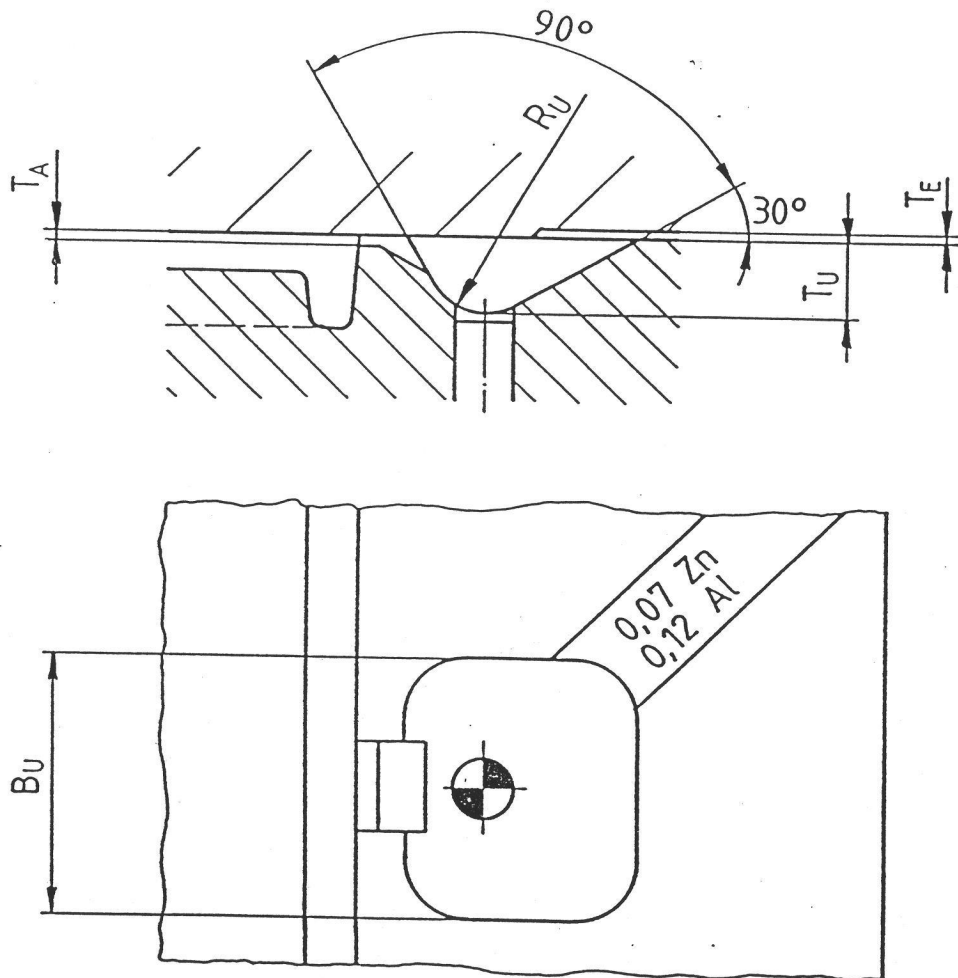
ตารางที่ 2.5 แสดงความแข็งของส่วนประกอบแม่พิมพ์

ตารางที่ 2.6 แนะนำการออกแบบความหนาของทางเข้าน้ำโลหะ

ชนิดของโลหะที่ใช้ฉีด	ความหนาของทางเข้า ( มม. )
Al Si - Alloy	1 - 1.4
Al Si Cu - Alloy	1.2 - 2.5
Zn Al4 Alloy 3 (Z400)	0.35 - 0.8
Zn Al4 Cu1 Alloy 5 (Z410)	0.5 - 1.2
Mg A18 (Az81) Mg A19 (Az91)	0.6 - 2
58-60 Brass	1.5 - 3



รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบของงานฉีด



รูปที่ 2.13 ภาพแสดงส่วนล้น (Overflow)

	1	2	3	4	5	6
TU	5	6	8	10	12	14
RU	0.8 x TU					
TE	Al 0.10 - 0.15 Zn 0.06 - 0.10					
TA	0.6 - 1.2					
BU	20 - 50					

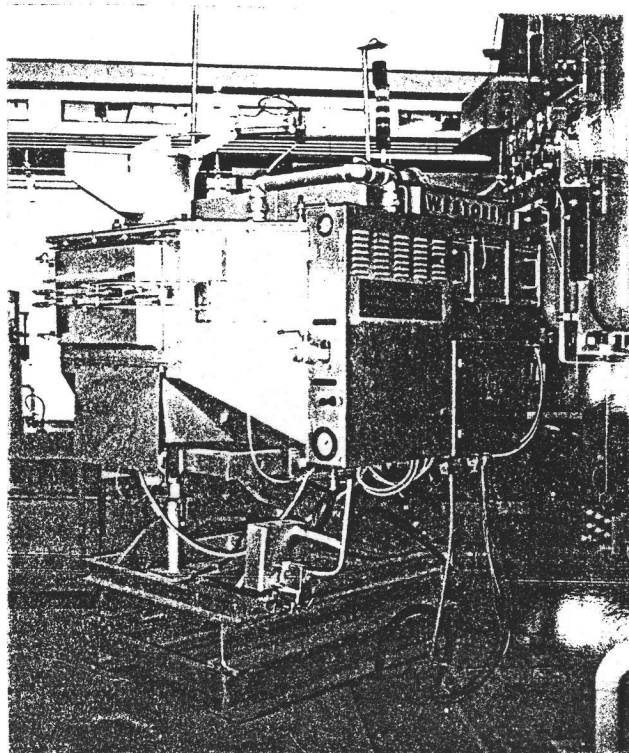
ตารางที่ 2.7 แนะนำขนาดของส่วนล้น (Overflow) ที่ใช้กับแม่พิมพ์โฟลด์แคสติ้ง

#### 4. อุปกรณ์ประกอบที่ใช้ร่วมกับเครื่องฉีด

การผลิตงานไคแคสติ้ง นอกจากการใช้เครื่องฉีดแล้ว จำเป็นต้องมีองค์ประกอบส่วนอื่นเข้ามาประกอบด้วย มิฉะนั้นจะไม่สามารถทำการผลิตได้หรือการผลิตจะไม่สมบูรณ์ ส่วนประกอบที่วาก็คือ เตาอุ่นหรือเตารินน้ำโลหะ แขนกลที่ใช้จับงานออกจากเครื่องฉีด เครื่องควบคุมอุณหภูมิ แม่พิมพ์ให้ร้อน เครื่องพ่นสารหล่อลื่นแม่พิมพ์

##### ก. เตาอุ่นหรือเตารินน้ำโลหะ

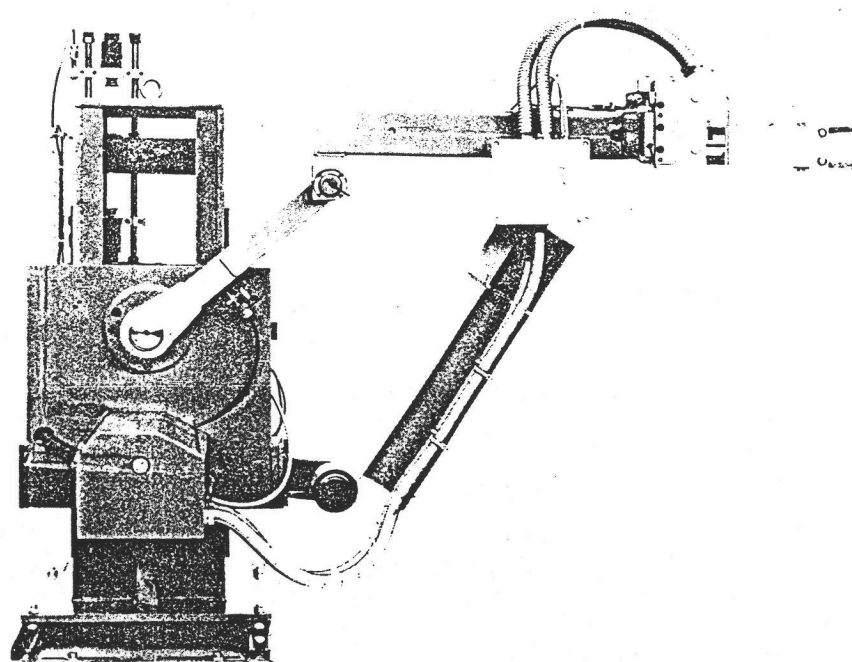
เตานี้จะอยู่ใกล้กับเครื่องฉีด มีหน้าที่ในการอุ่นน้ำโลหะให้ร้อนและได้อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการฉีด เตาบางตัวสามารถรินน้ำโลหะเข้าสู่รางน้ำโลหะก่อนที่จะทำการฉีดโดยที่ควบคุมน้ำหนักการรินแต่ละครั้งให้เท่ากัน เตาที่เหมาะสมกับการผลิตควรจะเป็นเตาที่ปิดมิดชิด และสามารถโปรแกรมเพื่อควบคุมน้ำหนักในการรินได้



รูปที่ 2.14 แสดงเตาอุ่นและรินน้ำโลหะ

## ข. แขนกลจับชิ้นงานออกจากเครื่อง

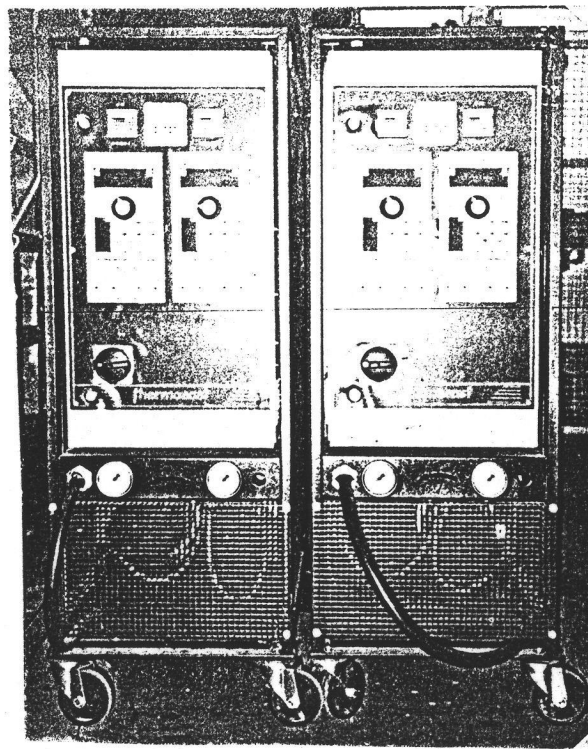
แขนกลจะเป็นตัวที่ช่วยให้การทำงานง่ายขึ้น โดยเฉพาะสำหรับเครื่องฉีดขนาดใหญ่ที่ชิ้นงานที่ได้มีขนาดและน้ำหนักมาก การอาศัยแรงงานคนทำได้ยาก และความคล่องตัวจะไม่เกิดเนื่องจากจะเกิดการหยุดชะงักเนื่องจากความเหนียวล้า แขนกลที่ใช้จะมีลักษณะขั้นตอนของการทำงานตายตัว ในบางครั้งอาจจะใช้แขนหุ่นยนต์เข้ามาทำงานแทนเนื่องจากสามารถดัดแปลงการใช้งานได้หลายรูปแบบ และมีความคล่องตัวในการทำงานสูง



รูปที่ 2.15 แสดงรูปแขนกลที่ใช้ร่วมกับเครื่องฉีด

### ค. เครื่องควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์

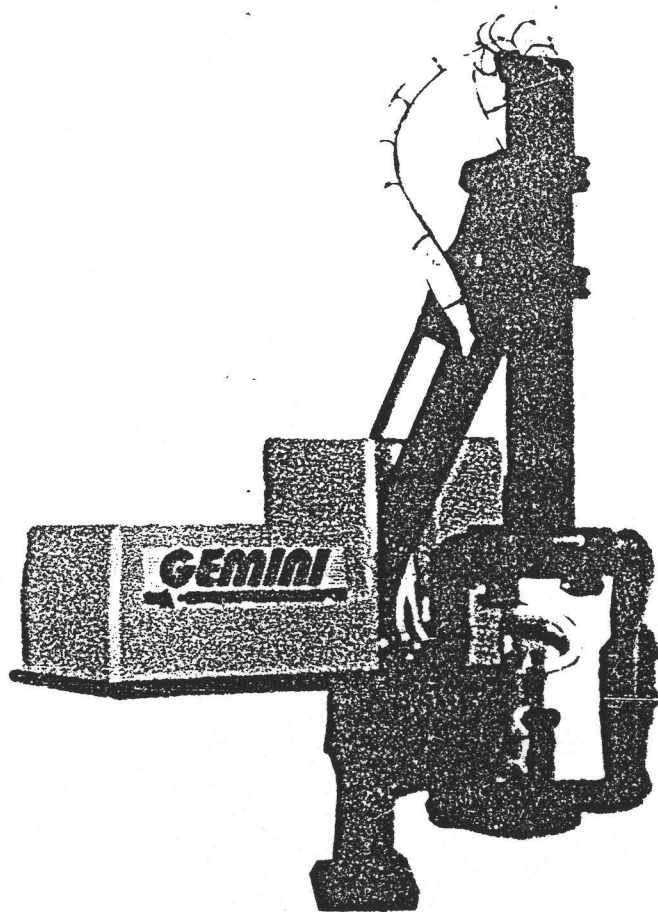
เครื่องควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์ที่ใช้กันอยู่จะเป็นระบบน้ำมัน โดยการอุ่นน้ำมันให้ร้อน และควบคุมอุณหภูมิโดยการหล่อเย็นเมื่ออุณหภูมิเกินจากที่กำหนด น้ำมันที่ได้อุณหภูมินี้จะถูกต่อเข้าไปในแม่พิมพ์ที่เจาะรูเป็นทางผ่าน ซึ่งจะสามารถกำหนดตำแหน่งและทิศทางได้จากการออกแบบแม่พิมพ์ น้ำมันที่ไหลผ่านแม่พิมพ์ออกมาจะกลับเข้าสู่เครื่องควบคุมอุณหภูมิและจะหมุนเวียนอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นแม่พิมพ์ที่ต่อเข้ากับเครื่องควบคุมอุณหภูมิจะสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ดีกว่าไม่ได้ใช้ แต่จะต้องมีการออกแบบแม่พิมพ์เป็นพิเศษ ซึ่งต้นทุนการทำแม่พิมพ์จะสูงขึ้น



รูปที่ 2.16 แสดงเครื่องควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์

### ง. เครื่องพ่นสารหล่อลื่นแม่พิมพ์

เครื่องพ่นสารหล่อลื่นแม่พิมพ์จะเป็นตัวพ่น ตัวสารหล่อลื่นแม่พิมพ์และยังเป็นตัวเป่าลม เพื่อ ทำความสะอาดผิวหน้าพิมพ์ก่อนที่จะทำการฉีดขึ้นงานตัวต่อไปอีกด้วย เครื่องพ่นสารหล่อลื่น จะเหมาะสำหรับงานที่ต้องการคุณภาพสูงและมีความสม่ำเสมอ เนื่องจากสามารถทำการตั้งเวลาในการเป่าลมและเวลาของการพ่นสารหล่อลื่น ซึ่งจะเป็ การควบคุมปริมาณของสารที่ใช้ด้วย



รูปที่ 2.17 แสดงเครื่องพ่นสารหล่อลื่นแม่พิมพ์

### 2.2.2 ลำดับขั้นของการฉีด

ในการฉีดงาน ไคแคสติงจะมีลำดับขั้นตอนการทำงานที่เหมือนกัน ซึ่งสามารถแจกแจงได้ดังนี้

1. กดปุ่มให้เครื่องทำการฉีด
2. ประตูของเครื่องจะทำการปิด
3. สไลด์ของแม่พิมพ์จะวิ่งเข้า
4. แม่พิมพ์ปิดเข้าหากัน
5. สไลด์ของแม่พิมพ์ที่ต้องเข้าหลังแม่พิมพ์ปิด วิ่งเข้า
6. ระบบเติมน้ำโลหะ ทำการเติมน้ำโลหะเข้าไปในกระบอกรอก (Sleeve)
7. แกนฉีดทำการอัดน้ำโลหะเข้าไปในแม่พิมพ์
8. รอเวลาขึ้นงานแข็งตัว
9. สไลด์ที่ต้องออกก่อนพิมพ์เปิด วิ่งออก
10. แม่พิมพ์เปิดพร้อมประตูเครื่อง
11. สไลด์ที่ต้องออกหลังพิมพ์เปิด วิ่งออก
12. แขนกลวิ่งเข้าไปรอเชื่อมกระทุ้งแท่งขึ้นงานออก
13. เชื่อมกระทุ้งแท่งขึ้นงานออกจากแม่พิมพ์
14. แขนกลจับขึ้นงานออกไปนอกแม่พิมพ์
15. เครื่องพ่นสารหล่อลื่นแม่พิมพ์วิ่งลง ทำงาน
16. เชื่อมกระทุ้งและแกนฉีดวิ่งเข้า
17. เครื่องพ่นสารหล่อลื่นแม่พิมพ์ วิ่งขึ้นและหยุดทำงาน
18. ทำการใส่แกนเหล็กในแม่พิมพ์

ในกรณีที่แม่พิมพ์ใดที่ไม่มีสไลด์ ขั้นตอนของ สไลด์เข้าและออกก็จะไม่มี หรือถ้าแม่พิมพ์ใดไม่ต้องมีแกนเหล็ก ก็จะไม่ขึ้นขั้นตอนการใส่แกนเหล็ก และก็สามารรถเดินงานในโหมดอัตโนมัติจึงไม่ต้องทำการกดปุ่มเดินเครื่องอีก

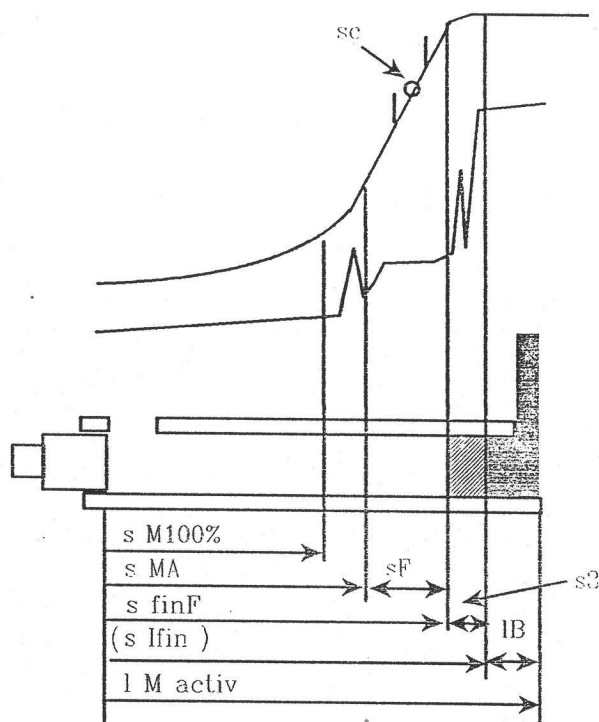
ในขั้นตอนการฉีดที่สำคัญที่สุด คือขั้นตอนการอัดน้ำโลหะเข้าสู่แม่พิมพ์ ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป ในขั้นตอนอื่นที่จัดว่าสำคัญรองลงมาคือขั้นตอนการรินน้ำโลหะลงมาในกระบอกรอก ซึ่งขั้นตอนนี้สิ่งที่ต้องคำนึงถึงน้ำหนักของน้ำโลหะที่พอเหมาะ ขั้นตอนการรอให้ขึ้นงานเย็นตัวในแม่พิมพ์ ซึ่งจะต้องพอเหมาะเพื่อให้ได้ขึ้นงานที่สมบูรณ์ไม่บิดงอ และขั้นตอนการหล่อลื่นแม่พิมพ์ ซึ่งถ้าใช้จำนวนไม่เหมาะสมก็จะส่งผลถึงคุณภาพขึ้นงาน



### 2.2.3 การอัดน้ำโลหะเข้าสู่แม่พิมพ์

ระบบการอัดน้ำโลหะเข้าสู่แม่พิมพ์นั้น ในปัจจุบันพัฒนาให้มีระบบการฉีด 3 ขั้นตอน คือ

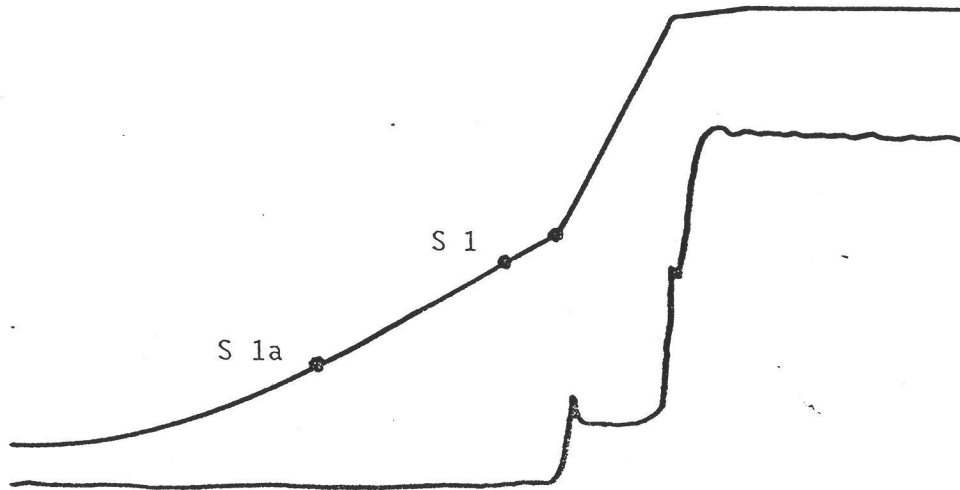
1. ขั้นตอนการอัดแบบเคลื่อนที่ช้า จุดมุ่งหมายคือต้องการให้น้ำโลหะที่อยู่ใน ครอบอก (Sleeve) เคลื่อนที่มารวมกันอยู่ที่ปากทางเข้าของแม่พิมพ์ และเป็นการเคลื่อนที่แบบไม่ เกิดคลื่น (Turbulence) เพื่อไม่ให้มีฟองอากาศ สะสมอยู่ในน้ำโลหะ เวลาที่ใช้ประมาณ 1 - 3 วินาที
2. ขั้นตอนการอัดน้ำโลหะเข้าสู่แม่พิมพ์จนเต็มแบบ ด้วยความเร็วสูง ซึ่งจะ ใช้เวลา ประมาณ 0.01 - 0.6 วินาที
3. ขั้นตอนการอัดความดันในช่วงของการแข็งตัว ภายใต้ความดันประมาณ 400-1000 บาร์ ในช่วงเวลา 0.01 - 0.2 วินาที



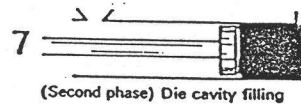
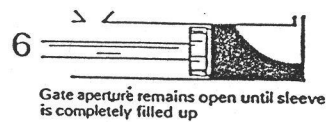
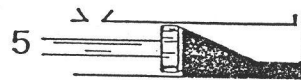
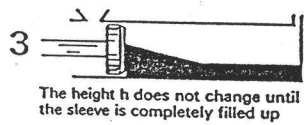
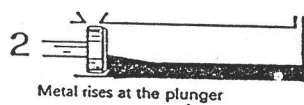
รูปที่ 2.18 แสดงตำแหน่งของลูกสูบที่เคลื่อนที่ในแต่ละขั้นตอน

### 1. ขั้นตอนการอัดแบบเคลื่อนที่ช้า (PARASHOT)

ลูกสูบจะเคลื่อนที่โดยปราศจากการกระชาก โดยความเร็วจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะพยายามไม่ให้เกิดน้ำไหลวนในกระบอบอก (Sleeve) ช่วงนี้จะสิ้นสุดเมื่อน้ำโลหะเต็มกระบอบอก (Sleeve) ก่อนที่จะเข้าสู่แม่พิมพ์



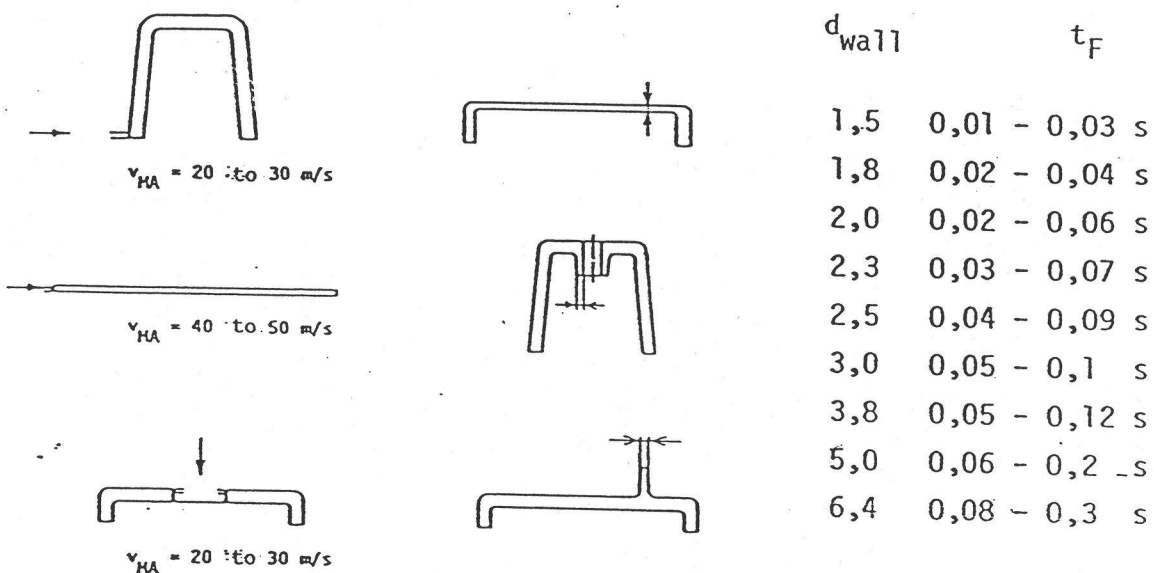
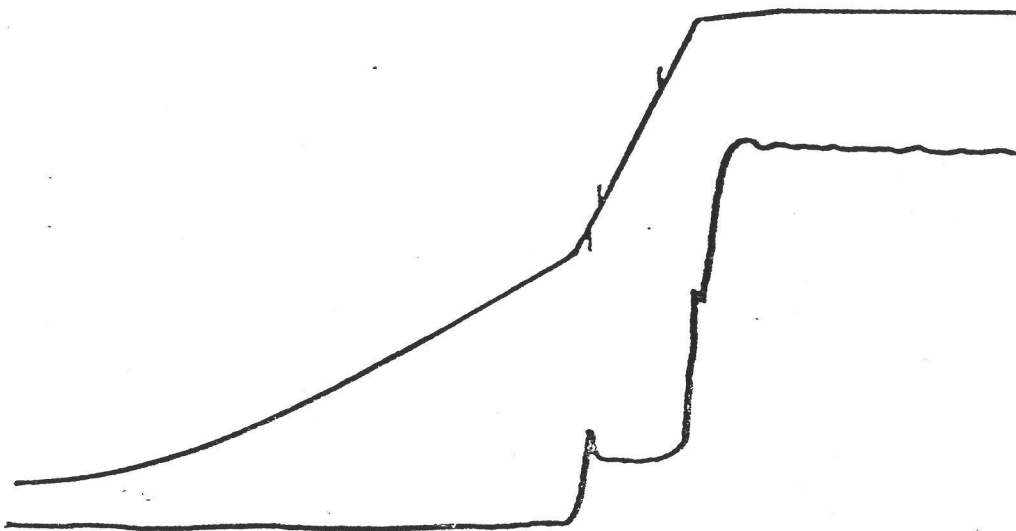
PARASHOT



รูปที่ 2.19 แสดงกราฟและรูปของคลื่นในการเคลื่อนที่ของลูกสูบในช่วงที่ 1

2. ขั้นตอนการอัดแบบการเคลื่อนที่เร็ว (FAST SHOT)

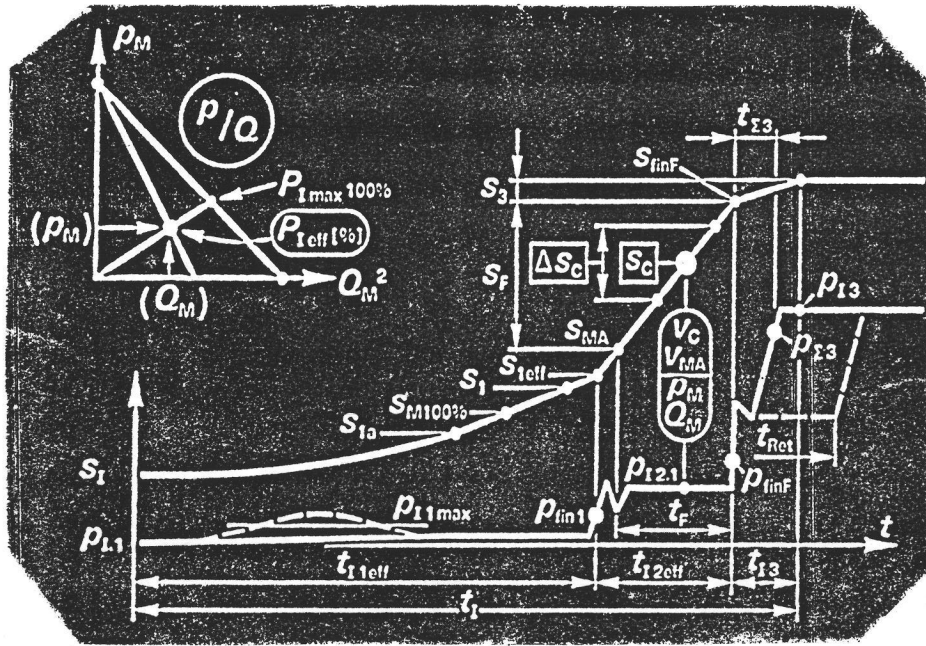
ในช่วงการฉีดน้ำโลหะเหลวจะเข้าสู่แบบของแม่พิมพ์ ซึ่งสภาพการฉีดที่จะต้องคำนึงถึงในช่วงนี้คือ ความเร็วที่ปากทางเข้าน้ำโลหะ  $V_{MA}$  และเวลาในการฉีดเต็มแบบ  $t_f$



รูปที่ 2.20 แสดงกราฟและตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการเคลื่อนที่ของลูกสูบในขั้นตอนการเคลื่อนที่เร็ว

3. ขั้นตอนการอัดความดันในระหว่างแข็งตัว

ขั้นตอนนี้จะเป็นการชดเชยส่วนที่เกิดการหดตัวของชิ้นงานในขณะที่เปลี่ยนจากน้ำโลหะเหลวมาเป็นโลหะซึ่งแข็งตัว ซึ่งโดยทั่วไปจะหดตัวไปประมาณ 4 - 7 %



รูปที่ 2.21 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของระยะลูกสูบ ความดัน กับเวลา ในแต่ละช่วงการเคลื่อนที่

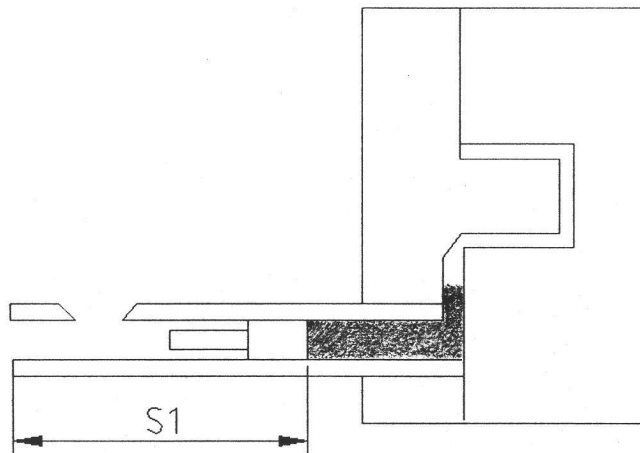
## 2.2.4 ปัจจัยที่มีต่อการควบคุมเครื่องฉีด

ปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมเครื่องฉีด มีมากมายซึ่งการที่จะทำให้คุณภาพของงานที่ได้ ออกมาดี จำเป็นจะต้องควบคุมปัจจัยทั้งหมดให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม โดยที่สภาพที่เหมาะสมนั้น โดยทั่วไปของงานฉีดจะคล้ายคลึงกันจะต่างกันบ้างเล็กน้อย ความเข้มงวดในการควบคุม จะขึ้นกับ ระดับของคุณภาพที่ยอมรับ

ในการควบคุมปัจจัยใดๆทั่วไปจะเน้นเฉพาะกับตัวแปรที่มีผลอย่างเด่นชัดซึ่งสามารถ แจกแจงได้ดังนี้คือ

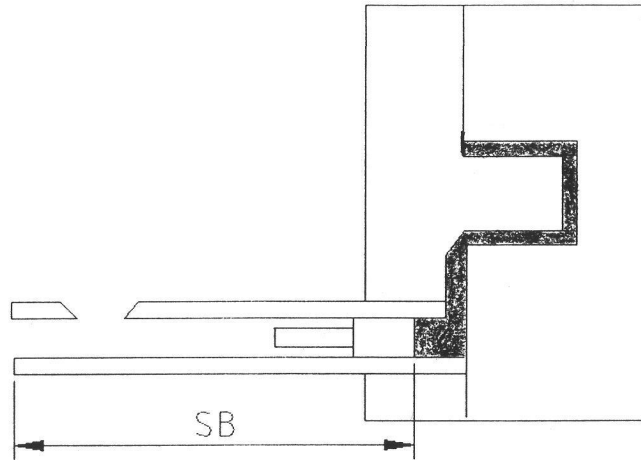
### 1. ระยะในการเคลื่อนที่ของลูกสูบ

ก. ระยะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ในขั้นตอนการอัดแบบเคลื่อนที่เข้าไปในที่นี่จะใช้สัญลักษณ์ S1 แทนระยะที่เคลื่อนที่ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร ระยะที่กล่าวถึงนี้โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีระยะเท่ากับ การทำให้น้ำโลหะในกระบอก ( Sleeve ) รวมตัวกันจน ไม่มีช่องว่างของอากาศและหยุด อยู่ที่ บริเวณปากทางเข้าของชิ้นงาน



รูปที่ 2.22 แสดงระยะการเคลื่อนที่ S1

ข. ระยะที่ลูกสูบเคลื่อนที่จนสุดช่วงของการฉีด ในที่นี่จะใช้ สัญลักษณ์ SB แทนระยะที่เคลื่อนที่ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ระยะที่กล่าวถึงนี้คือระยะรวมทั้งหมดในการเคลื่อนที่ นับตั้งแต่ตำแหน่ง ที่ลูกสูบหยุดนิ่งก่อนการฉีด จนกระทั่งอยู่ในระยะที่อัดน้ำโลหะเข้าไปจนเต็ม แบบระยะนี้ในแต่ละแม่พิมพ์จะต่างกันเนื่องจากน้ำหนักของชิ้นงาน ต่างกัน



รูปที่ 2.23 แสดงระยะการเคลื่อนที่ SB

## 2. ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบ

ก. ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบในช่วงการอัดแบบเคลื่อนที่ช้าใช้สัญลักษณ์  $V_1$  แทน ซึ่งจะมีหน่วยเป็น เมตร/วินาที โดยที่ค่าที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยเนื่องจากการเปลี่ยนแปลง ความเร็วเป็นแบบ Parashot

ข. ความเร็วในการเคลื่อนที่ ของลูกสูบในช่วงการอัดแบบการเคลื่อนที่เร็วใช้สัญลักษณ์  $V_c$  แทน ซึ่งจะมีหน่วยเป็น เมตร/วินาที

## 3. ความดันของลูกสูบที่ใช้

ก. ความดันที่ใช้ในการอัดในช่วงของการแข็งตัวของชิ้นงาน ใช้สัญลักษณ์  $PI_3$  มีหน่วยเป็น บาร์ ค่าความดันนี้จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความสำคัญของชิ้นงาน ซึ่งมีค่าแนะนำ ดังนี้

การประยุกต์ใช้งาน	ความดันที่ใช้(Bar)
งานมาตรฐานทั่วไป	ถึง 400
งานทางด้านเทคนิค	400 - 600
งานที่ใช้รับความดัน	800 - 1000

ตารางที่ 2.8 แสดงค่าความดันฉีด สำหรับงานอลูมิเนียมไดแคสติ้ง

#### 4. เวลาในการฉีด

ก. เวลาที่ใช้ในการทำให้น้ำโลหะเต็มแบบในช่วงการอัดแบบเคลื่อนที่เร็วใช้สัญลักษณ์  $t_F$  ซึ่งมีหน่วยเป็นวินาที ซึ่งค่าของเวลาในการเต็มแบบ นี้จะขึ้นอยู่กับความหนาของผนังชิ้นงานเฉลี่ย

ค่าความหนาเฉลี่ยของชิ้นงาน ( มิลลิเมตร)	เวลาที่เต็มแบบ ( $t_F$ ) (วินาที)
1.5	0.01 - 0.03
1.8	0.02 - 0.04
2.0	0.02 - 0.06
2.3	0.03 - 0.07
2.5	0.04 - 0.09
3.0	0.05 - 0.10
3.8	0.05 - 0.12
5.0	0.06 - 0.20
6.4	0.08 - 0.30

ตารางที่ 2.9 แสดงค่าแนะนำเวลาในการเต็มแบบที่ความหนาชิ้นงานต่างๆ

ค่าเวลาการเต็มแบบ จะสัมพันธ์กับค่าอื่นๆ ซึ่งจะเป็นตัวใช้ในการคำนวณขนาดของทางเข้าน้ำโลหะในแม่พิมพ์

ข. เวลาที่ใช้ในการเย็นตัวของชิ้นงานในแม่พิมพ์ (Consolidation Time )

สัญลักษณ์แทนด้วย  $t_2$  มีหน่วยเป็น วินาที ค่าของเวลาที่ใช้จะขึ้นอยู่กับขนาดและความหนาบางของชิ้นงาน ถ้าตั้งเวลาน้อยเกินไปอาจมีผลให้ชิ้นงานบิดเบี้ยวเวลาถอดงานออกจาก แม่พิมพ์ ถ้าตั้งเวลาไว้นานเกินไปอาจจะทำให้การถอดแบบยาก ซึ่งอาจทำให้ชิ้นงานเกิดการฉีกขาดได้

## 5. อุณหภูมิ

### ก. อุณหภูมิของแม่พิมพ์ในระหว่างการฉีด

อุณหภูมิของแม่พิมพ์เป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมาก เนื่องจากจะส่งผลถึงคุณภาพของงานฉีด ในระหว่างการฉีดอุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง ประมาณ  $180^{\circ}\text{C}$  -  $230^{\circ}\text{C}$  นอกจากจะมีผลเรื่องคุณภาพของชิ้นงานแล้ว ยังมีผล กระทบถึงอายุของแม่พิมพ์อีกด้วย เนื่องจากการเกิดความร้อนจากความเครียดจากความร้อน ซึ่งเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในระหว่างการฉีด นับจากตั้งแต่เมื่อน้ำอลูมิเนียมวิ่งเข้าสู่แม่พิมพ์จนกระทั่งชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ดังนั้นจะต้องควบคุมให้ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ค่อนข้างคงที่

### ข. อุณหภูมิของน้ำโลหะที่ใช้

ในงานฉีดอลูมิเนียมไดแคสติ้ง อุณหภูมิของน้ำอลูมิเนียมเหลวที่เหมาะสมกับการใช้งานจะอยู่ในช่วง  $665^{\circ}\text{C}$  -  $700^{\circ}\text{C}$



## 2.2.5 ข้อบกพร่องของงานฉีดแบบไดแคสติ้ง

งานฉีดแบบไดแคสติ้งมีส่วนประกอบในการผลิตอยู่หลายส่วนดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น การทำงานฉีดจะได้คุณภาพนั้นจำเป็นต้องควบคุมตัวแปรทุกอย่างตัวให้อยู่ในค่าที่เหมาะสม ดังนั้นการบันทึกค่าควบคุมต่างๆในระหว่างการผลิตเพื่อใช้เปรียบเทียบผลกับค่าควบคุมที่ทำให้ได้คุณภาพที่ดีนั้นจะช่วยให้การหาสาเหตุของของเสียง่ายขึ้น

ประเภทของข้อบกพร่อง ในงานฉีดสามารถจำแนกได้เป็น

- ความบกพร่องที่สามารถสังเกตได้จากสายตา
- ความบกพร่องที่เกิดขึ้นภายใน
- ความบกพร่องทางด้านขนาดรูปทรง

### 1. ความบกพร่องที่สามารถสังเกตได้ด้วยสายตา

ความบกพร่องในลักษณะนี้ มักจะเป็นขึ้นบ่อยครั้งในการผลิต ซึ่งการแก้ไขสามารถทำได้ในทันทีถ้ามีการตรวจพบ การตรวจสอบข้อบกพร่องในลักษณะนี้ทางผู้ผลิตมักจะให้พนักงานที่ประจำอยู่ในจุดผลิตนั้นตรวจสอบด้วยตนเอง เนื่องจากสามารถตรวจพบได้จากการดู และในบางครั้งก็จะใช้การสุ่มตรวจสอบจากพนักงาน ในส่วนของการตรวจสอบคุณภาพ ข้อบกพร่องนี้ในบางกรณีสามารถซ่อมแก้ไขได้ถ้าชิ้นงานนั้นไม่เน้นทางด้านรูปทรงหรือขนาดมากนัก และทางลูกค้ายินยอม ตัวอย่างของเสียที่สามารถสังเกตได้จากสายตา เช่น

- ชิ้นงาน ไม่สมบูรณ์ ( Not completely filled )
- ผิวงานมีรอยบุดพอง ( Blisters )
- ผิวงานมีรอยครูด ( Stretcher strains )
- ผิวงานมีรอยหมุนวน ( Turbulence )
- รอยแตกที่ผิว ( Cracks )
- ผิวงานมีรอยดำ ( Discoloured casting surfaces )
- ผิวงานมีเนื้อไม่ประสาน ( Cold laps , flow lines )
- ผิวงานหยาบ ( Scale, rough surfaces )
- ผิวงานเกาะติดแม่พิมพ์ ( Metallizing )
- อื่นๆ

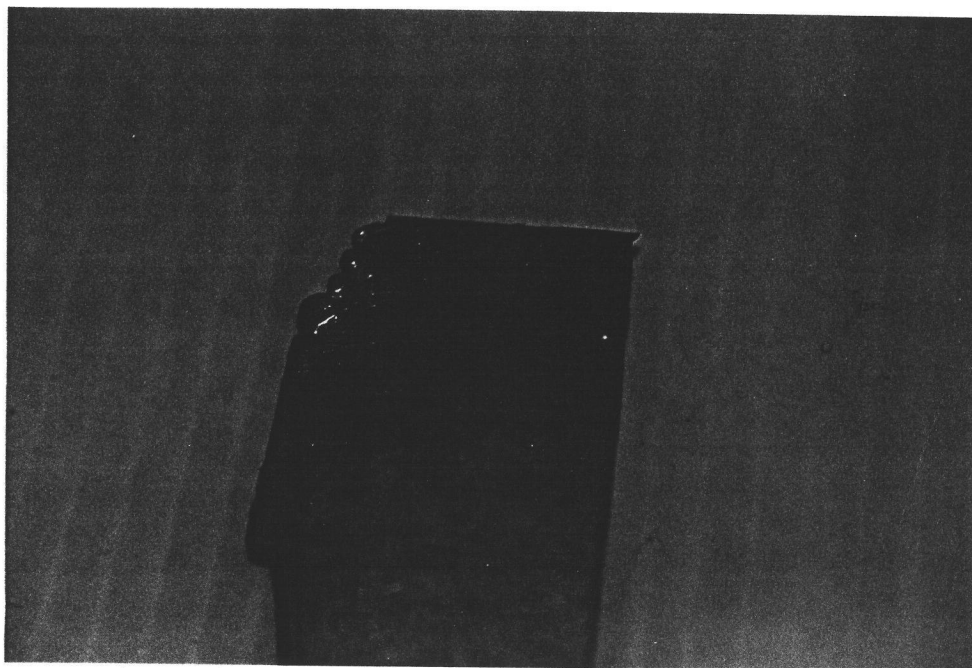
## 2. ความบกพร่องที่เกิดขึ้นภายใน

ข้อบกพร่องลักษณะนี้มักจะสร้างความสูญเสียให้กับผู้ผลิตเป็นมูลค่ามาก เนื่องจากการตรวจสอบทำได้ยาก ต้องใช้ค่าใช้จ่ายมาก จึงไม่สามารถทำการตรวจสอบได้ในปริมาณมาก การตรวจสอบที่ทำคือการตัดชิ้นงานมาดูข้อบกพร่องด้านใน การใช้รังสี การตรวจสอบคุณสมบัติทางกล ชนิดของข้อบกพร่องในลักษณะนี้ก็คือ

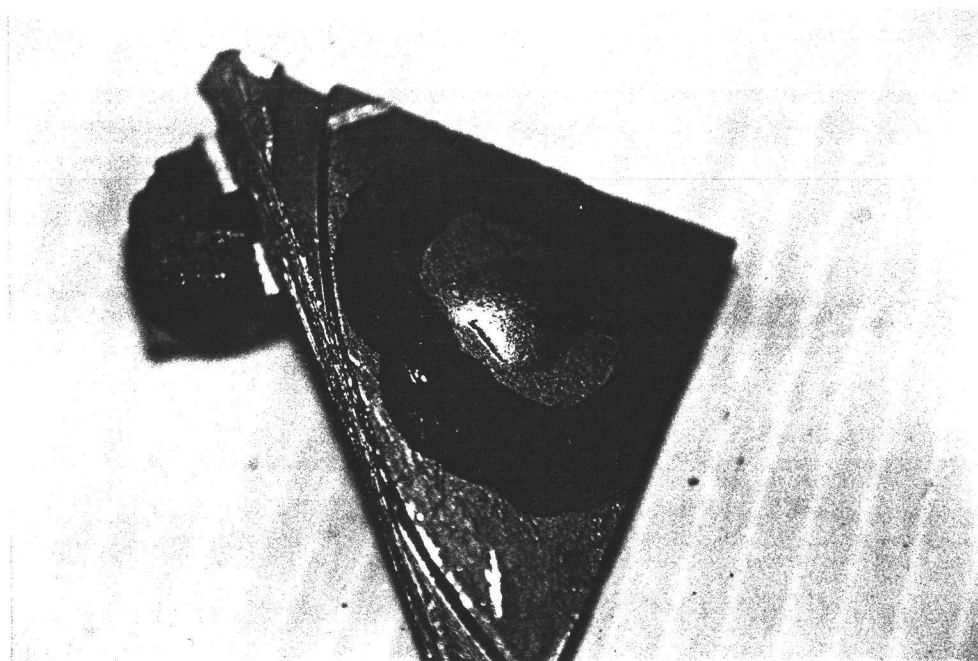
- โพรงภายในที่เกิดจากอากาศ หรือ การหดตัว
- รอยแตกภายใน
- อื่นๆ

## 3. ความบกพร่องของขนาดและรูปทรง

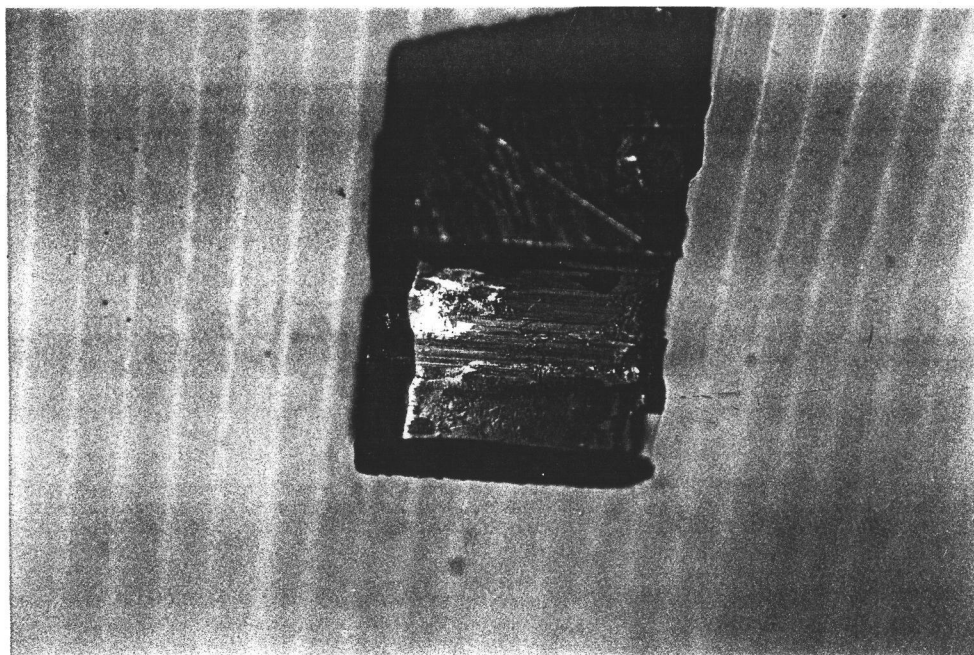
ความบกพร่องลักษณะนี้สืบเนื่องจากความบกพร่องที่เกิดภายนอก แต่ในบางครั้งไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยสายตา จำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดเข้ามาทำการตรวจสอบ แต่เนื่องจากงานนี้เป็นงานที่ต้องนำไปใช้ในขบวนการผลิตต่อไป การตรวจสอบขนาดรูปทรงจึงต้องคำนึงถึงความจำเป็นในการผลิตในขั้นตอนขบวนการผลิตต่อไป



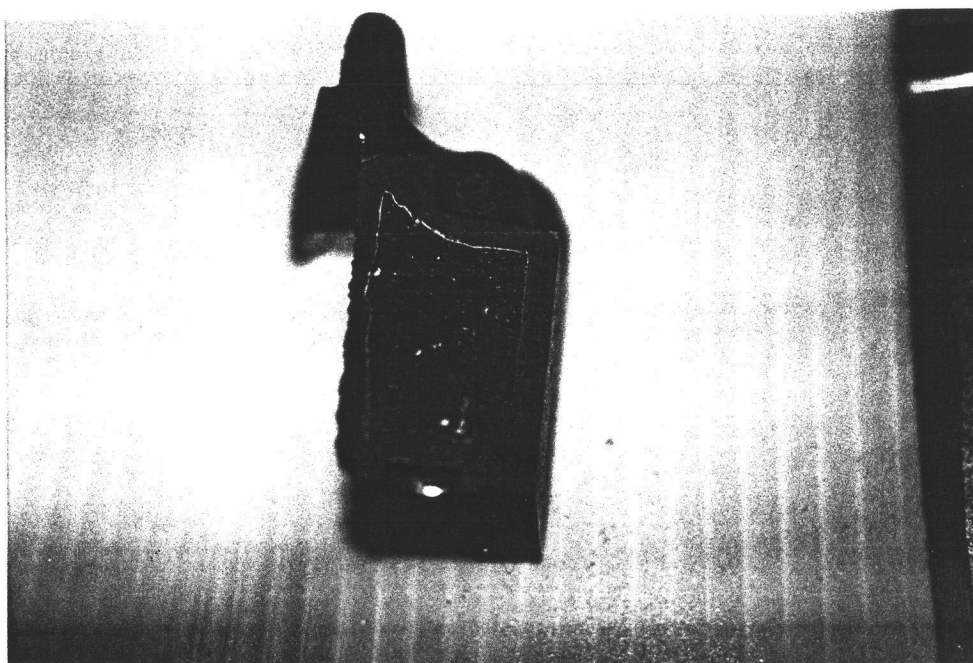
รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะของชิ้นงานไม่สมบูรณ์



รูปที่ 2.25 แสดงผิวหนังปูดพอง



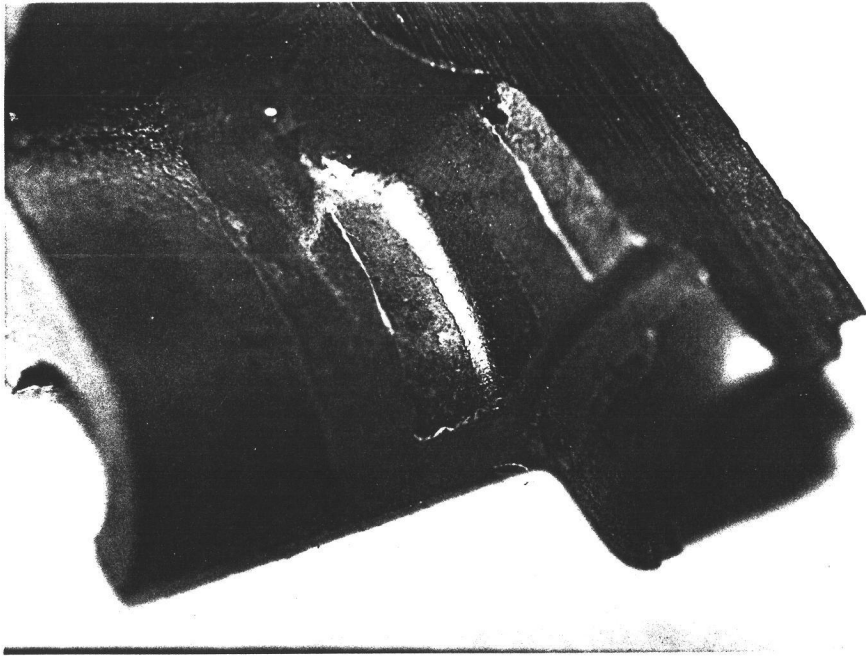
รูปที่ 2.26 แสดงผิวหนังรูด



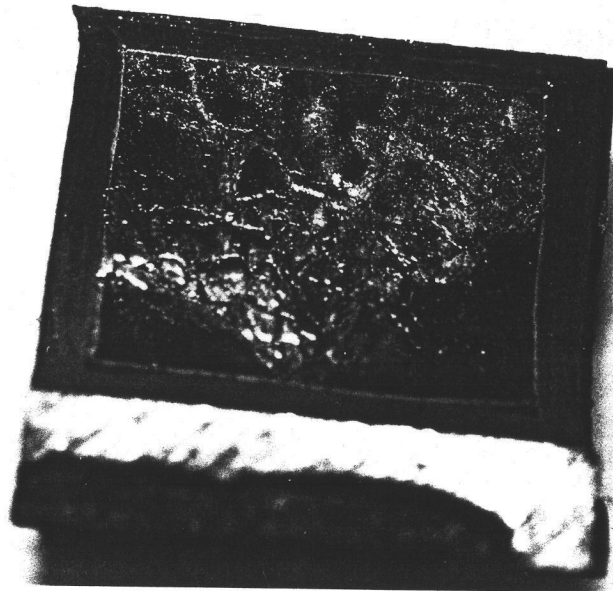
รูปที่ 2.27 แสดงโพรงภายในจากอากาศหรือการหดตัว



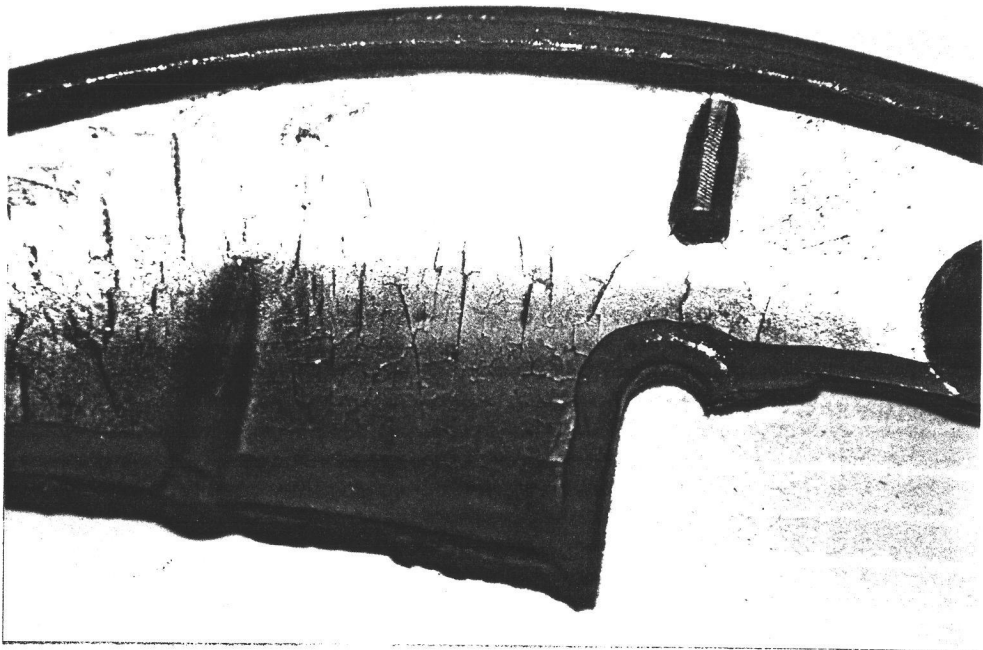
รูปที่ 2.28 แสดงรอยหมุนวนของน้ำโลหะ



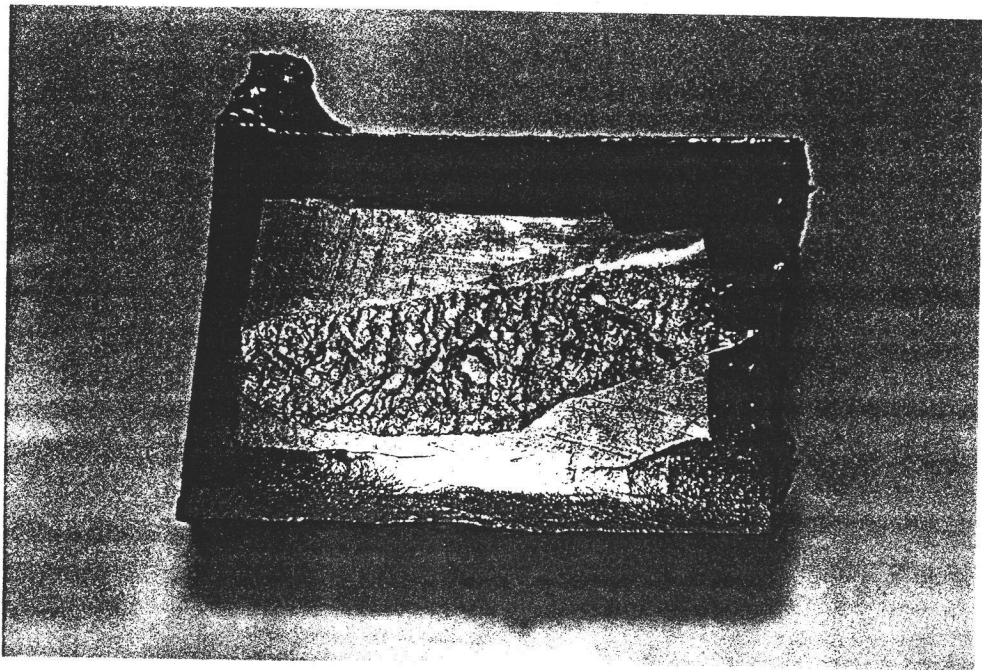
รูปที่ 2.29 แสดงรอยแตกของชิ้นงาน



รูปที่ 2.30 แสดงผิวชิ้นงานไม่ประสาน



รูปที่ 2.31 แสดงผิวงานหยาบ



รูปที่ 2.32 แสดงโลหะเกาะติดพิมพ์

ตารางแสดงปัญหาและสาเหตุ

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ชิ้นงานไม่เต็ม</li> <li>2. รอยบุตพอง</li> <li>3. รอยสี รอยครูด</li> <li>4. ชิ้นงานบิดเบี้ยว</li> <li>5. ไฟรงวางในจากอากาศหรือหดตัว</li> <li>6. รอยหมุนวนของน้ำโลหะ</li> <li>7. งานโค้งจากภาระทั้ง</li> <li>8. รอยแตก</li> <li>9. สีสีงานผิดปกติ</li> <li>10. น้ำโลหะแข็งเกินชิ้นงาน</li> <li>11. เกิดร่องจากควมตึงภายใน</li> <li>12. ผิวงานไม่ประสาน</li> <li>13. ผิวงานแข็ง</li> <li>14. ผิวงานหยาบ</li> <li>15. โลหะเกาะติดพิมพ์</li> </ol>	ผลจากเครื่องฉีด	ผลจากแม่พิมพ์	ผลจากน้ำโลหะ	ผลจากส่วนประกอบอื่นๆ
				<ul style="list-style-type: none"> <li>• ความดันในการฉีดน้อยเกินไป</li> <li>• ความดันในการฉีดสูงเกินไป</li> <li>• ความเร็วในการฉีดเฟส 2 ต่ำเกินไป</li> <li>• ความเร็วในการฉีดเฟส 2 เร็วเกินไป</li> <li>• ตรวจสอบความดันช่วงเปลี่ยนเฟส</li> <li>• ตรวจสอบระยะเคลื่อนที่ของลูกสูบ</li> <li>• อัตราส่วนน้ำโลหะในกระบอกต่ำเกินไป</li> <li>• เวลาในการเย็นตัวในแม่พิมพ์น้อยเกินไป</li> <li>• เวลาการเย็นตัวในแม่พิมพ์ยาวเกินไป</li> <li>• แรงดันในการกระทุ้งงานออกสูงเกินไป</li> <li>• แรงบิดแม่พิมพ์น้อยเกินไป</li> </ul>
				<ul style="list-style-type: none"> <li>• แม่พิมพ์เย็นเกินไป</li> <li>• แม่พิมพ์ร้อนเกินไป</li> <li>• ทางหนีของอากาศไม่เพียงพอ</li> <li>• การออกแบบทางเข้าและทิศทางของน้ำโลหะไม่ดีพอ</li> <li>• น้ำโลหะเกิดการเกาะตัว</li> <li>• ระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์รั่ว</li> <li>• พิมพ์แม่พิมพ์ไม่ดี</li> <li>• มุมถอดชิ้นงานไม่เพียงพอ</li> <li>• หน้าแม่พิมพ์ไม่สะอาด</li> </ul>
				<ul style="list-style-type: none"> <li>• น้ำโลหะเย็นเกินไป</li> <li>• น้ำโลหะร้อนเกินไป</li> <li>• น้ำโลหะไม่บริสุทธิ์</li> <li>• ตรวจสอบส่วนผสม</li> </ul>
				<ul style="list-style-type: none"> <li>• ให้พิมพ์การหล่อคืนแม่พิมพ์</li> <li>• ให้ลดการหล่อคืนแม่พิมพ์</li> <li>• ให้เจือจางสารหล่อคืนแม่พิมพ์</li> <li>• ตรวจสอบสารหล่อคืนแม่พิมพ์ที่ใช้</li> <li>• ตรวจสอบระบบอุ่นและหล่อเย็นแม่พิมพ์</li> <li>• ตรวจสอบระบบการหล่อคืนแม่พิมพ์</li> <li>• ตรวจสอบระบบหล่อคืนลูกสูบ</li> <li>• ตรวจสอบระเคาเท ตรวจสอบปริมาณน้ำโลหะในการฉีด</li> <li>• ตรวจสอบเตาอุ่น</li> <li>• จังหวะการทำงานไม่สม่ำเสมอ</li> </ul>

ตารางที่ 2.10 แสดงปัญหาและสาเหตุ

### 2.3 ตำราผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชัชวาลย์ ตันตระกูล และ อานาจ เสดสุวรรณ ( 2532 )

ศึกษาถึงการไล่ก๊าซออกจากน้ำโลหะอลูมิเนียม ( Degassing Aluminium )

การไล่ก๊าซออกจากน้ำโลหะอลูมิเนียมผสม โดยการไล่ก๊าซ ในการวิจัยนี้จะสนใจอิทธิพลของสารไล่ก๊าซที่มีผลต่อฟองก๊าซในอะลูมิเนียม ในสภาพหล่อเสร็จและคุณสมบัติทางกล ซึ่งการวิจัยนี้ใช้สารไล่ก๊าซ 2 ตัว คือ Ashland No.13 และ Foseco Degasser 190 ผลการวิจัยสรุปได้ว่า Ashland No.13 สามารถไล่ก๊าซสมบูรณ์ได้ที่ปริมาณ 2.4 % และ Foseco Degasser 190 ไล่ก๊าซสมบูรณ์ได้ที่ปริมาณ 1.8 %

Mc CARTY, E.D and HACKNEY, S.A ( 1994 )

ได้ศึกษาถึงเรื่อง The Morphological Stability of Lateral Growth in Solid

Solid Phase Transformation During Thin - Film Interdiffusion in Al / Cu Bimetal Films

เป็นการอธิบายปรากฏการณ์ของการเกิดโครงสร้าง Solid - Solid Phase ที่ถาวร โดยการเปลี่ยนแปลงจากการกระจายเป็นแผ่นบางๆซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการตกตะกอน ซึ่งการทดลองนี้จะสร้างสมมติฐานเพื่อทดสอบและสรุปผลที่เกิดขึ้น

RATNAPARKHI, P.L. and HOWE, J.M. ( 1994 )

ได้ศึกษาถึงเรื่อง Characterization of a Diffusion - Bonded Al - Mg Alloy/ Sic Interface by High Resolution and Analytical Electron Microscopy

โครงสร้างการรวมตัวของ Al - 4.55 โดยมี Mg/Sic แทรกอยู่สามารถตรวจสอบได้โดยใช้กล้อง Transmission Electron Microscopy การรวมตัวของ  $Mg_2Si$  ,  $MgO$  และ  $Al_2MgO_4$  จะถูกพิจารณาในการศึกษานี้ โครงสร้างแบบ Monoclinic ของ  $MgO$  และ  $Al_2MgO_4$  จะถูกรวมตัวโดยการแทรกตัวของ  $Mg_2Si/Al$  การรวมตัวของ Phase เหล่านี้จะสามารถทำนายได้ โดยใช้เงื่อนไขทาง Thermodynamic พื้นฐาน



**NARAYANAN L. ANANTHA , SAMUEL, F.H. and GRUZLESKI , J.E. ( 1994 )**

ได้ศึกษาถึงเรื่อง Crystallization Behavior of Iron - Containing Intermetallic Compounds in 319 Aluminum Alloy

เป็นการศึกษาของผลที่เกิดจาก การรวมตัวของธาตุเหล็กในผลึกของอลูมิเนียม เกรด 319 โดยการศึกษา จากการเปลี่ยนแปลงทางด้านความร้อนและทางโครงสร้างใน Absence ของ Manganese การรวมตัวของธาตุเหล็กจะเป็น  $\beta$  Phase ที่ทุกๆอัตราการเย็นตัวจาก  $0.1^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$  การให้อุณหภูมิการหลอม  $750^{\circ}\text{C}$  เมื่อมีการให้ความร้อนสูงประมาณ  $200 - 300^{\circ}\text{C}$  เหนือกว่า จุดหลอมเหลว โครงสร้างของเหล็กในผลึก จะเปลี่ยนเป็น  $\alpha$  ที่อัตราการเย็นตัวสูงๆ

**TSZENG, T.C. and CHU, Y.L. (1994)**

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

เนื้อหาของการศึกษา คือ การหาค่าของตัวแปรที่เหมาะสม เพื่อให้อากาศเข้าไปผสมในอลูมิเนียมในช่วงการฉีดแรก ( Slow Shot Phase ) น้อยที่สุด โดยการคำนึงถึงผลของความเร็วของลูกสูบ, ความเร่งอัตราส่วนเริ่มต้นของน้ำอลูมิเนียมใน Shot Sleeve ขนาดความโตของลูกสูบ ซึ่งในการศึกษานี้จะศึกษาถึงผลของรูปคลื่นที่เกิดขึ้นใน Shot Sleeve สำหรับจุดประสงค์การศึกษาคือ ต้องการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการทำนายผลของรูปคลื่นที่เกิดขึ้นใน Shot Sleeve โดยพยายามหาจุดที่เหมาะสมของความเร็วที่ทำให้เกิดอากาศแทรกภายในน้อยที่สุด

**JIEN - WEI YEH and SHAGN - HAW JONG ( 1994 )**

ได้ศึกษาถึงเรื่อง The Cast Structure of a 7075 Alloy Produced by a Water-Cooling Centrifugal Casting Method

กรรมวิธีการหล่อแบบหล่อเหวียง โดยใช้หล่อเย็นด้วยน้ำสำหรับการหล่อ AL - 7075 จะให้โครงสร้างของผลึกที่ละเอียดกว่าการหล่อด้วยกรรมวิธีแบบเดิม ได้มีการศึกษาผลของสภาพการหล่อ ตัวอย่างเช่น ความเร็วในการหมุน, อุณหภูมิการเท, อัตราการไหลเวียนของน้ำ เพื่อศึกษาถึงสภาพการหล่อที่เหมาะสม ซึ่งค่าที่ได้จากการศึกษาปรากฏว่า จะได้โครงสร้างที่ดี ที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ  $650^{\circ}\text{C}$  และมีน้ำหล่อเย็นอย่างเพียงพอ

**DUTTA, I. , HARPER, C.P. and DUTTA, G. (1994 )**

ได้ศึกษาถึงเรื่อง Role of AL 203 Particulate Reinforcement of Precipitation in 2014

AL - Matrix Composites

เป็นการศึกษาถึงอลูมิเนียมอัลลอยด์ 2014 ที่มีและไม่มีอนุภาคที่เสริมความแข็งแรง ศึกษาโดยใช้เครื่องมือทดสอบความแข็ง, เครื่องมือวัดความต้านทานทางด้านไฟฟ้า เครื่อง Scanning Calorimetry (DSC) และ Transmission Electron Microscopy ขั้นตอนการตกผลึกของ AL 2014 คือ  $\alpha_{ss} \rightarrow \alpha + GPZ \rightarrow \alpha + \lambda \rightarrow \alpha + \lambda + \theta \rightarrow \alpha + \lambda + \theta + \lambda (AlCuMgSi) + \theta (CuAl_2)$  อนุภาคที่เติมเข้าไปเพื่อเสริมแรงจะลดเวลาในการถึงจุดที่มีความแข็งแรงสูงสุดในขณะเดียวกันก็จะลดจุดสูงสุดของความแข็งในระดับจุลภาคของโครงสร้าง

**PARK, D. and MORRIS, J.G ( 1994 )**

ได้ศึกษาถึงเรื่อง The Tensile Deformation Behavior of AA 3004 Aluminium Alloy

เป็นการศึกษาอลูมิเนียมอัลลอยด์เกรด AA 3004 ในเรื่องของการไหลแบบสลับไปมา (Serrated Flow) ที่สัมพันธ์กับกราฟของ Stress - Strain ที่อุณหภูมิห้อง การไหลแบบ Serrated จะเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับ Dynamic Strain Aging และ ค่า Yield จะขึ้นอยู่กับ Flow Stress การเกิดของการไหลเวียนแบบ Serrated Flow จะมีผลจาก Flow Stress ซึ่งเป็นที่รู้กันว่าเป็นขอบเขตการเปลี่ยนแปลงรูปของวัสดุจำนวนมาก ในการศึกษานี้จะให้ความสนใจในเรื่องของคุณลักษณะของการไหลแบบ Serrated Flow รวมทั้ง Flow Stress บนกราฟการเปลี่ยนแปลงของ ค่า Strain และอุณหภูมิการเปลี่ยนรูป ในเชิงของพฤติกรรมทางกล

**ROBERT A. RAPP and XUEJIN ZHENG ( 1991 )**

ได้ศึกษาถึงเรื่อง Thermodynamic Consideration of Grain Refinement of Aluminum Alloys by Titanium and Carbon

การปรับปรุงสภาพของอลูมิเนียมอัลลอยด์ ได้มีการศึกษาค้นคว้ากันเป็นเวลายาวนาน โดยที่ Titanium ได้ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการปรับปรุงเกรนของอลูมิเนียมอัลลอยด์ ถ้าใช้ Boron หรือ Carbon เป็นจำนวนน้อย ๆ กับ Titanium จะได้คุณสมบัติของเกรนที่ดีขึ้น ซึ่งใน การศึกษานี้จะได้อธิบายถึงการวิเคราะห์ผลทาง Thermodynamics ในการปรับปรุงเกรนด้วย Ti - C