บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการ semi solid metal casting ตั้งอยู่บนรากฐานของการควบคุมเวลา และการควบคุมอุณหภูมิในห้องเครื่อง (chamber die casting machine) การหล่อแบบ semi solid metal casting ประสบความสำเร็จเมื่อประยุกต์ใช้ Al Alloy และ Mg Alloy โดยส่วนผสมที่เริ่มใช้ น.น. 11.5 kg (25 pounds)

การหล่อแบบ semi solid metal พิจารณาถึงชิ้นส่วนที่มีคุณภาพสูง ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพโดยการ heat treatment T5 - T6 ในกรณีของ Al Alloy มีความเป็นไปได้ที่สามารถตัดน้ำโลหะ semi solid ได้ด้วยมือเปล่า ที่เตรียมเสร็จแล้วใน chamber die casting machine

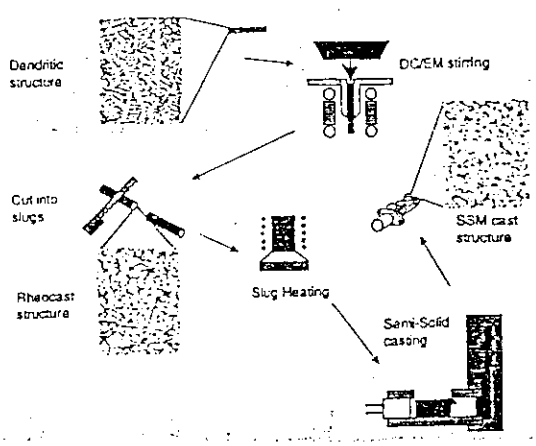
semi solid metal เป็นกรณีศึกษาเพื่อใช้ในอนาคต ซึ่งมีความเป็นไปได้สำหรับวัตถุดิบและการนำกลับมาใช้ใหม่ และการเรียนรู้อย่างลึกซึ้งสามารถนำกลับไปใช้ได้ใหม่อีก

semi solid metal ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง ดั้งเดิมมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยายนต์ได้ semi solid metal ขณะนี้กำลังทำการผลิตอย่างในทั้ง USA และ Europe อย่างไรก็ตามขณะนี้ในอุตสาหกรรมชนิดอื่นๆ เริ่มต้นหันมาใช้ semi solid metal บ้างแล้ว

เป็นเวลามากกว่า 10 ปี ที่ Buhler ได้พัฒนากระบวนการทำ semi solid metal โดยใช้เครื่องมือที่มีความรวดเร็วแม่นยำ เครื่องจักรขนาด 600 ton สามารถผลิตชิ้นส่วนได้เพียงไม่กี่ปอนด์ เครื่องจักรขนาด 2000 ton สามารถผลิตชิ้นส่วนได้ถึง 15 ปอนด์ หรือมากกว่า

การเลือกใช้ semi solid metal ขึ้นอยู่กับว่าจะคุ้มกับการลงทุนหรือไม่

ดังได้กล่าวไว้แล้ว semi solid metal รูปที่ 2.1 แสดงถึงขั้นตอนพื้นฐาน ในกระบวนการทำ



รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนพื้นฐานในการหล่อแบบ SSM

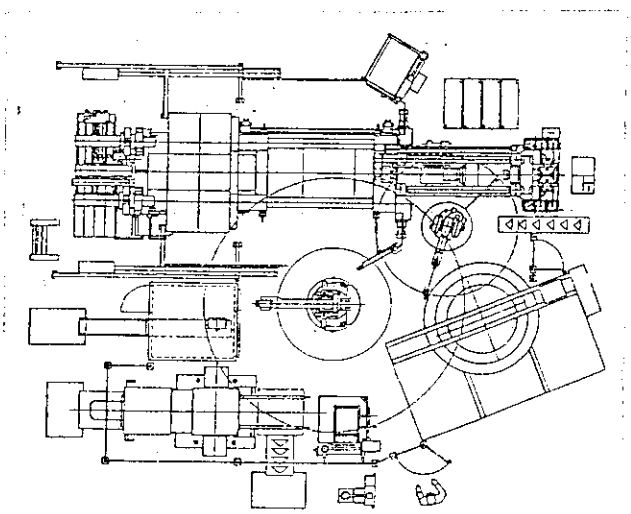
ในกรณีของ Aluminum alloy พิจารณา Al-Si (Al Si7 Mg , A356 , A357) ซึ่งเป็นส่วนผสมในการนำมาทำ semi solid metal และเพื่อผลในการนำไปใช้งาน

2.2 Raw Material

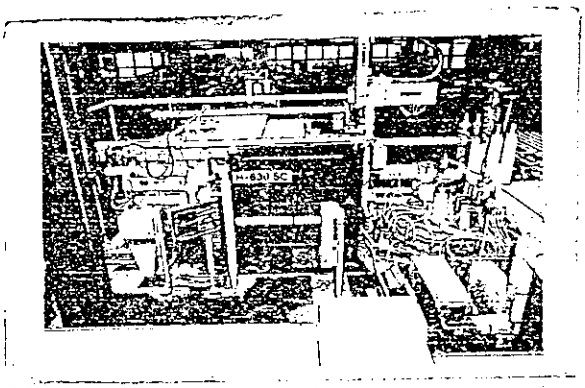
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Ti	Others Each	Others Total
A356	balance	6.5-7.5	0.20	0.20	0.10	0.25-0.45	—	—	0.10	—	0.20	0.05	0.15
357	balance	6.5-7.5	0.15	0.05	0.03	0.45-0.6	—	—	0.05	—	0.20	0.05	0.15
AZ91D	9.0				0.13				0.7			*	*

* = Fe, Ni, Cu ≤ 0.004

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนผสมของธาตุต่างๆใน A356 และ A357



รูปที่ 2.2 แสดง Semi Solid Metal Casting Cell ของการหล่อแบบ SSM



รูปที่ 2.3 แสดงภาพจริงของเครื่องกดอัดสำหรับการหล่อแบบ SSM

2.3 semi solid metal heating station

หลักการสำคัญ คือ การออกแบบอุปกรณ์การส่ง semi solid slugs เพื่อป้อนเข้าสู่แม่พิมพ์ สำหรับ Aluminum alloy A356 , 357 ใช้อุณหภูมิ 580 $^{\circ}$ C ซึ่งจะมีของเหลว 40% (the eutectic fraction is melted) จากรูปที่ 2.2 และ 2.3 heating station ประกอบด้วยระบบเตาอินดักชั่นเอนกประสงค์ (multiple induction heating coil)

การทำงานขั้นแรก coil อันแรก ยกขึ้นและกดระดับลงใน synchronisation แล้ว coil อีกอันหนึ่งก็จะทำงานอย่างรวดเร็ว จนได้ อุณหภูมิ 530° C (1000°F) (130 calories/gm) ซึ่ง alloy ยังคงเป็นของแข็ง ในขั้นตอนนี้ heat flux อาจลดลงต้องให้ความร้อนอีก (50 calories/gm) เป็นอุณหภูมิ 580°C (1080°C) และยังคงให้ความร้อนต่อไปอีกเพื่อให้มีความร้อนเท่ากันทั่วทั้งชิ้นงาน

ขั้นที่สอง เอาลูกสูบมากระทุ้ง (thumb)ประมาณ 6 นาทีก็จะได้ออกมาเป็นชิ้นงานแล้วก็ต้องนำมา heat treatment

2.4 Heat treatment

การหล่อแบบ SSM เป็นการหล่อแบบพิเศษ ซึ่งต้องเตรียมขบวนการโดยเฉพาะโลหะที่จะนำมาหล่อ ต้องอยู่ในสภาวะที่เป็นทั้งของแข็งและของเหลวจึงจะให้ผลในการหล่อออกมาดี สำหรับโลหะผสมที่ใช้เป็นตัวอย่างทดลองและให้ผลชัดเจนก็คือ A 356 , A 357 ซึ่งได้ผลทางโลหะวิทยาออกมาเป็นเฟสไดอะแกรมแสดงให้เห็นว่า ที่อุณหภูมิ 580°C โครงสร้าง solid solution ของอะลูมิเนียม จะมีความแข็งมากกว่าโครงสร้างปกติ ดัง T6 ที่ช่วงอุณหภูมิ 520-540 $^{\circ}$C ซึ่งคุณสมบัตินี้เป็นลักษณะเด่นสำหรับโลหะผสมชนิดนี้ ส่วน alloy 6061 ที่นำมาเป็นตัวอย่างทดลองกลับไม่เป็นตามที่คาดหวัง

จากความรู้ทางโลหะวิทยาเมื่อทำการ Heat treatment ตัวอย่าง A 356 และ A 357 alloy หลังจากทำการหล่อแบบ ssm ทำให้ได้ค่าต่างๆออกมาดัง T5 และ T6 ซึ่งเป็นผลที่น่าพอใจ

ตารางที่ 2.1 แสดงรายการต่างๆที่เป็นไปได้ของการ อบชุบตามปัจจัยที่แปรเปลี่ยนของ alloy A356 และ A357 จะเห็นว่าการ heat treatment แบบ T5 จะทำได้ง่ายกว่าแบบ T6

และใช้ต้นทุนน้อยกว่าแบบ T6 ทั้งยังหลีกเลี่ยงปัญหาของการเสียรูปร่างเนื่องจากความร้อนซึ่งจะทำให้อนุภาคเกิดการจับตัวกันโตๆเป็นกลุ่มอยู่อย่างกระจัดกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบ อย่างไรก็ตาม การ heat treatment แบบ T5 นี้ก็ทำไม่ได้ในบริเวณที่เหนือจุดยูเตกติคขึ้นไป ทำให้มีคุณสมบัติที่ทนแรงดึงได้น้อยกว่า แต่จะมีความเหนียวมากกว่าแบบ T6 สำหรับรูปที่ 5 เป็นรูปแสดงโครงสร้างของการ heat treatment แบบ T6 เพื่อใช้อ้างอิง ซึ่งทั้งสองแบบนี้จะแตกต่างกันทั้งในด้านต้นทุนและกำไร ดังนั้นจึงต้องพิจารณาเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียเป็นส่วนๆไป

สำหรับการ heat treatment แบบ T5 หรือ T6 นี้ในภาวะสุดท้ายถือว่าคงสภาพและกลายเป็นคุณสมบัติที่ช่วงอุณหภูมิไม่มากเท่าไร ประมาณ 160 - 180 $^{\circ}$C ในระหว่าง กระบวนการนี้ ความแข็งและความเค้นค่อยๆเพิ่มขึ้นตามเวลาจนถึงจุดสูงสุดจากนั้นค่อยลาดโค้งลง ดังภาพประกอบที่ 6 และ 7 ซึ่งเส้นโค้งเหล่านี้ จะแสดงให้เห็นถึงเงื่อนไขต่างๆที่สามารถปรับค่าให้เพิ่มหรือลดความแข็งลงได้ตามต้องการถึงแม้ว่าค่าความแข็งนั้นจะไม่น่าเชื่อถือเท่าไร เนื่องจากความผิดพลาดจากการวัด แต่ค่าความแข็งนี้ ก็ช่วยอธิบายให้ทราบถึงจุดยิว และจุดเตกหักเมื่อนำค่าความแข็งเหล่านี้ไปพลอตจะได้เส้นโค้งออกมาซึ่งเป็นเส้นโค้งที่ยังอยู่ในรูปทั่วไป ถ้าจะใช้กับ alloy ที่เจาะจงลงไปก็สามารถปรับค่าไปตามอัตราส่วนตามความเหมาะสมต่อไป

2.5 The SC Casting Machine

ระบบการทำงานของ SC Machine จะเป็นดังนี้คือ ในการหล่อแบบ ssm นั้นหุ่นยนต์จะวาง semi solid alloy ลงในร่องกระบอกยิง แล้วอัดออกมาเป็นชิ้นงานหล่อซึ่งจะมีแม่พิมพ์รอรับsemi solid ที่ถูกอัดเข้ามา จนออกมาเป็นชิ้นงานได้เลย จึงทำให้ประหยัดเวลากว่าการหล่อแบบธรรมดา ในส่วนของกระบอกยิงนั้นจะใช้น้ำมันหรือแกสเป็นตัวหล่อลื่นและยังช่วยปกป้องความร้อนของ semi solid ไม่ให้สูญเสียความร้อนหรือเสียความร้อนน้อยมากและรวมทั้งตัวรองรับ semi solid นั้นก็เปรียบเสมือนฉนวนที่ห่อหุ้มไม่ให้ไฟฟ้ารั่วเหตุผลคล้ายๆกัน แต่ตัวรองรับที่เป็นตัวนำความร้อนเราจะไม่ใช้เพราะจะทำให้เกิดปัญหาอย่างร้ายแรงต่อแท่ง semi solid ของเรา ในการทำความสะอาดแม่พิมพ์แต่ละครั้งสามารถที่จะทำให้ผิวของฐานจับยึดชิ้นงานสะอาดไปด้วย ซึ่งจะช่วยให้แท่ง semi solid เลื่อนไหลได้ดีในร่องยิง

ข้อควรระวังคือต้องปรับระยะห่างกระบอกสูบกับลูกสูบให้มีช่องว่างเพื่อความแน่ใจว่าจะใช้งานได้อย่างราบรื่น

โดยทั่วไป การหล่อแบบ ssm จะใช้ผลิตชิ้นส่วนที่มีคุณภาพสูงและใช้เทคโนโลยีที่มีตัว sensor เป็นหลักสำคัญเพื่อให้แน่ใจว่าขบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์มีความน่าเชื่อถือทำให้ลูกค้าเกิดความมั่นใจ หลักการทำงานคือเมื่อโลหะมาอยู่ในตำแหน่งด้านหน้าของตัว sensor มันจะได้รับสัญญาณจากวัสดุที่อยู่ด้านหน้า ซึ่งมันจะมีความไวต่อวัตถุที่อยู่ตรงหน้า ดังนั้นเมื่อวางแท่ง

2.7 การใช้งานโลหะอะลูมิเนียม

เนื่องจากโลหะอะลูมิเนียม มีความต้านทานต่อการเป็นสนิม อันเนื่องมาจากฟิล์มของ Al_2O_3 ที่เกิดจากการรวมตัวของอะลูมิเนียมกับออกซิเจน มีความหนาแน่นทึบมากช่วยป้องกันมิให้ออกซิเจนสามารถแทรกซึมลงไปทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมใต้ฟิล์มของAl_2O_3ได้ ทำให้อะลูมิเนียมเกิดภูมิต้านทานต่อการเป็นสนิมด้วยตัวเอง (Passive state) และคุณสมบัติที่ยืดตัวได้ง่ายของอะลูมิเนียมมีขอบเขตกว้างขวางมาก เช่นใช้ทำขอบประตูหน้าต่าง ทำท่อ ทำเป็นเส้นลวดแทนลวดทองแดง เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี ปกติอะลูมิเนียมที่ใช้กันถึงแม้จะอยู่ในประเภทบริสุทธิ์ก็ตาม แต่ในทางปฏิบัติจะยอมให้มีได้ไม่เกิน 0.5 % ซึ่งธาตุเจือปนเหล่านี้มีผลทำให้คุณสมบัติทางด้านความเหนียวและความต้านทานต่อการกัดกร่อนลดลง และผ่านงานขึ้นรูปเย็นมีผลทำให้ความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นแต่จะทำให้ความเหนียวลดลง

2.8 การจำแนกประเภทของโลหะผสมอะลูมิเนียม

โลหะอะลูมิเนียมสามารถผสมกับโลหะอื่นๆได้หลายชนิด เช่น โลหะผสมอะลูมิเนียมทองแดง อะลูมิเนียม - ซิลิคอน อะลูมิเนียม-แมกนีเซียม อะลูมิเนียม-สังกะสี หรืออาจมีโลหะผสมอะลูมิเนียมกับหลายๆธาตุรวมกัน ดังเช่น

อะลูมิเนียม-ทองแดง-ซิลิคอน และแมกนีเซียม ซึ่งโลหะผสมแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน สามารถเลือกใช้งานได้อย่างกว้างขวางโลหะผสมอะลูมิเนียมจำแนกออกเป็นสองประเภทคือ

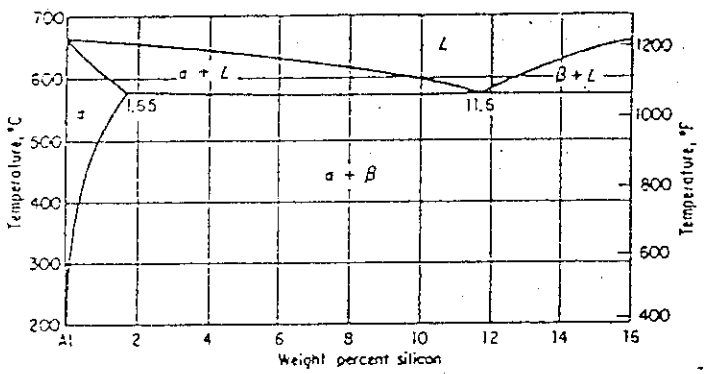
1. โลหะผสมประเภทขึ้นรูปเย็น Wrought เป็นโลหะผสมที่ผ่านการขึ้นรูปโดยการรีด การอัดขึ้นรูปออกมาเป็นแผ่น หรือเป็นแท่ง ซึ่งจะมีทั้งที่สามารถอบชุบแข็งด้วยความร้อนได้ (Heat treatment) และที่อบชุบแข็งไม่ได้ ส่วนใหญ่จะมี ทองแดง ซิลิกอน และแมกนีเซียมเป็นธาตุผสม

2. โลหะผสมประเภทหล่อหลอม (Castable) เป็นโลหะที่มีคุณสมบัติพิเศษมีความสามารถในการไหลดี ช่วยให้การหล่อเป็นรูปพรรณกระทำได้ง่าย ส่วนใหญ่โลหะผสมประเภทนี้สามารถอบชุบแข็งด้วยความร้อนได้ โลหะผสมที่สำคัญได้แก่ซิลิกอน ซึ่งเป็นโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนประมาณ 10-12 % โดยมีชื่อทางการค้าว่า Silumin รายละเอียดของโลหะผสมอะลูมิเนียม และลักษณะการใช้งานจะปรากฏดังตาราง 2.1

2.9 โลหะผสมอะลูมิเนียม - ซิลิคอน

เนื่องจากซิลิคอน มีคุณลักษณะหลายประการที่แตกต่างกับอะลูมิเนียม โดยเฉพาะโครงสร้างระบบผลึก และจุดหลอมเหลว ดังนั้นการรวมตัวระหว่างอะลูมิเนียมกับซิลิคอนจึงมีขอบเขตจำกัดมากโดยซิลิคอน จะละลายให้สารละลายของแข็งกับอะลูมิเนียมได้สูงสุด 1.65 % ที่อุณหภูมิ 577°C ให้เฟส K และปริมาณของซิลิคอนจะละลายในเฟส K ได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงกว่า 544°Cจะเหลือปริมาณของซิลิคอนในเฟส K เพียง 0.1 % ที่อุณหภูมิ 200°C

จากแผนภูมิสมดุลของอะลูมิเนียม จะมีลักษณะเด่นชัดที่ซิลิคอนแยกตัวไม่ละลายในอะลูมิเนียม โดยให้ปฏิกิริยายูเทคติคที่อุณหภูมิ 577°



รูปที่2.4 แสดงเฟสไดอะแกรมที่ใช้กับโลหะผสม Al - Si