บทที่ 2

ทฤษฎีการหล่อโลหะเบื้องต้นต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการหล่อโลหะ

2.1.1 คุณสมบัติของน้ำโลหะ

2.1.1.1 ความแตกต่างระหว่างน้ำโลหะและน้ำ

น้ำโลหะเป็นของเหลวเช่นเดียวกับน้ำ แต่แตกต่างจากน้ำในประเด็นต่างๆ ดังนี้

ประการแรก ความเหลว (Fluidity) ของโลหะขึ้นกับอุณหภูมิเป็นอย่างมาก น้ำโลหะจะเป็นของเหลวเต็มที่ที่อุณหภูมิสูง แต่จะไกลจากการเป็นของเหลวอุณหภูมิต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เกิดมีจุดเริ่มต้นการตกผลึก (Crystal Nuclei)

ประการที่สอง น้ำโลหะมีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1.0 g/cm^3 แต่ของอะลูมิเนียมเท่ากับ 2.7 g/cm^3 ดังนั้นลักษณะการไหลของน้ำและของโลหะจะต่างกันมาก การไหลของโลหะจะมีความเฉื่อย (inertia) มากกว่าและทำให้เกิดแรงกระแทกสูงกว่า

ประการที่สาม น้ำนั้นทำให้ผิวของภาชนะเปียก แต่น้ำโลหะไม่ทำให้เปียก ดังนั้นเมื่อน้ำโลหะไหลผ่านผิวแบบทราย มันจะไม่ซึมเข้าไปในทรายถ้าระยะระหว่างเม็ดทรายน้อยพอ

ความแตกต่างดังกล่าวทำให้การไหลของน้ำโลหะในแบบหล่อต่างจากการไหลของน้ำ

2.1.1.2 ความหนืด (Viscosity) ของน้ำโลหะ

การไหลของน้ำโลหะขึ้นกับความหยาบของผิวแบบหรือขึ้นกับวัสดุที่ใช้ทำผิวแบบและขึ้นกับความหนืดของน้ำโลหะมากกว่าอย่างอื่น ความหนืดขึ้นกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงความหนืดจะต่ำ และเมื่ออุณหภูมิต่ำความหนืดจะสูง เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนค่าสูงสุดของความหนืด 2 - 3 เท่าของค่าต่ำสุดของความหนืด ถ้าน้ำโลหะเย็นพอจะเกิดมีจุดเริ่มต้นการตกผลึก (Crystal Nuclei) และความหนืดจะเพิ่มขึ้นมาก ทั้งนี้ขึ้นกับจำนวนของจุดเริ่มต้น (Nuclei) ในช่วงที่จุดเริ่มต้นการตกผลึกยังต่ำกว่า 20% โดยปริมาตร ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาตรของจุดเริ่มต้น แต่เมื่อจุดเริ่มต้นมีเกิน 30% ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก เช่น มากเป็น 10 เท่าของความหนืดเดิม ความหนืดสูงจะทำให้โลหะเสียความสามารถในการไหล (Flowability)

ความหนืดขึ้นกับชนิดของโลหะ ตารางที่ 2.1 แสดงค่าของความหนืดของโลหะต่างๆ ที่หลอมเหลวโดยสมบูรณ์เทียบกับความหนืดของน้ำ ตารางนี้แสดงให้เห็นว่าโลหะบางชนิดมีความหนืดเท่ากับหรือต่ำกว่าน้ำ เช่น อะลูมิเนียมและดีบุก และโลหะบางชนิดมีความหนืดสูง เช่น ทองแดงและเหล็ก แต่สำหรับสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นคิเนเมติค (Kinematic viscosity) ซึ่งเท่ากับความหนืดหารด้วยความหนาแน่นนั้น ของน้ำจะสูงกว่าของโลหะทุกชนิด

ตาราง 2.1 แสดงสัมประสิทธิ์ความหนืดและความตึงผิวของโลหะ

ชนิดของสาร	จุดหลอมละลาย (°C)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	สัมประสิทธิ์ของความหนืด (g/cm.sec)	สัมประสิทธิ์ของความหนืดคิเนเมติค (cm^2/sec)	ความตึงผิว (dyne/cm)	ความตึงผิว/ความหนาแน่น (cm^2/sec^2)
น้ำ	0	0.9982	0.010046	0.010064	72	72
ปรอท	- 38.9	13.56	0.01547	0..00114	465	34.5
ดีบุก	232	5.52	0.01100	0.00199	540	97.8
ตะกั่ว	327	10.55	0.01650	0.00156	450	42.6
สังกะสี	420	6.21	0.03160	0.00508	750	120
อะลูมิเนียม	660	2.35	0.0055	0.00234	520	220
ทองแดง	1083	7.84	0.0310	0.00395	581	74
เหล็ก	1537	7.13	0.0400	0.00560	970	136
เหล็กหล่อ	1170	6.9	0.0160	0.00230	1150	167

2.1.1.3 การไหลของน้ำโลหะ

สมมุติว่าของเหลวในภาชนะไหลออกจากรูข้างภาชนะ ให้ h เป็นความสูงของผิวของเหลวนับจากระดับของจุดศูนย์กลางรู ความเร็วของการไหลจะแทนได้ด้วยสมการข้างล่าง

$$v = C\sqrt{2gh}$$

โดยที่ g คือความเร่งที่เกิดจากความถ่วง (Gravity) และ C คือสัมประสิทธิ์ของความเร็ว

ในกรณีที่ทางออกเป็นท่อแทนที่จะเป็นรู จะมีแรงต้านทานการไหลซึ่งเกิดจากแรงความฝืดที่ผิวในของท่อ ดังนั้นท่อที่ยาวและมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กจะทำให้ความเร็วของการไหลออกจากภาชนะลดลง

ถ้าท่อโค้งความเร็วของการไหลก็จะลดลง เพราะพลังงานของของเหลวจะเสียไปเนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางของการไหล ค่า C ในสูตรข้างบนจะลดลง การเปลี่ยนแปลงค่า C นี้ไม่ขึ้นกับชนิดของโลหะ ถ้าโลหะอยู่ในสภาพที่หลอมเหลวโดยสมบูรณ์ ดังนั้นไม่จำเป็นคิดถึงน้ำหนักจำเพาะ (หรือความหนาแน่น) และไม่ต้องคิดว่าเป็นโลหะชนิดใด เราอาจใช้สูตรเดียวที่ใช้กับน้ำได้

ถ้าของเหลวที่ไหลออกจากภาชนะนั้นวิ่งเข้าชนกำแพงซึ่งตั้งฉากกับทิศทางของความเร็ว v ให้ Q แทนอัตราการไหล γ แทนน้ำหนักจำเพาะของของเหลว และ g แทนอัตราความเร่งเนื่องจากความถ่วง จะได้ P ซึ่งเป็นแรงที่กำแพงได้รับดังนี้

$$P = \frac{\gamma}{g} Qv$$

จะเห็นว่า แรง P ของโลหะจะสูงกว่าน้ำ เพราะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาแน่น ในการไหลตรงๆ ให้โค้งนั้นต้องใช้แรงซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักจำเพาะ ดังนั้นเมื่อจะคิดเรื่องแรงที่เกิดจากการที่น้ำโลหะวิ่งเข้าชนกำแพงของแบบ จะต้องคิดถึงน้ำหนักจำเพาะ (ความหนาแน่น) ของโลหะด้วย

เมื่อน้ำโลหะวิ่งผ่านช่องว่างภายในแบบนั้น ไม่จำเป็นว่าโลหะจะต้องเป็นของเหลวทั้งหมด ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวมากๆ จะไม่มีโลหะที่แข็งตัวติดกับผิวของแบบ แต่ถ้าอุณหภูมิใกล้จุดหลอมเหลวหรือถ้าแบบรับความร้อนจากโลหะได้ดี ส่วนที่ติดกับผิวของแบบจะแข็งตัว และช่องที่โลหะไหลผ่านก็จะแคบลง นอกจากนั้นน้ำโลหะที่ไหลผ่านจะพาผลึกที่เกิดจากการแข็งตัวต่อไปด้วย ทำให้ความสามารถในการไหลลดลง และเมื่อช่องสำหรับที่น้ำโลหะจะไหลผ่านก็แคบลงด้วย บางครั้งน้ำโลหะจะถึงกับต้องหยุดไหล

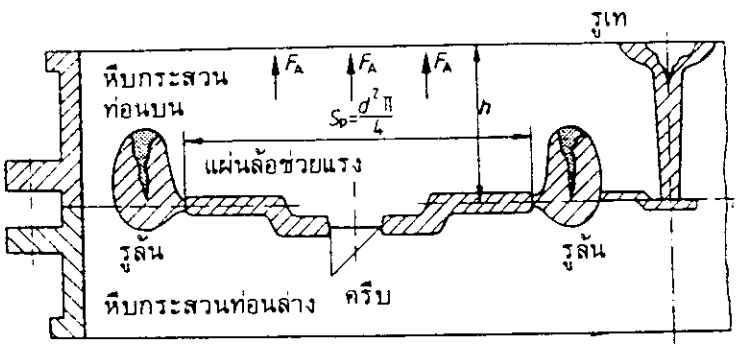
2.1.1.4 ความตึงผิว (Surface Tensile) ของน้ำโลหะ

เมื่อผิวของของเหลวอยู่ตามลำพังจะเกิดปรากฏการณ์ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับเยื่อบางๆ มาหุ้มของเหลวนั้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ความตึงผิว ตาราง 2.1 แสดงความตึงผิวของน้ำโลหะ ความตึงผิวของน้ำโลหะมีค่าสูงกว่าความตึงผิวของน้ำ นอกจากนั้นน้ำจะเกาะติดกำแพงโตยง่าย แต่โลหะจะไม่เกาะติดกำแพงและจะกลายเป็นเม็ดกลม ดังนั้นเมื่อน้ำโลหะสัมผัสแบบทรายจะมีแรงต้านไม่ให้น้ำโลหะซึมผ่านผิดกับน้ำ

2.1.1.5 แรงยกตัวของหีบกระสวนจากน้ำโลหะ

ในการเทน้ำโลหะลงในกระสวน จะเกิดจากความดันจากน้ำโลหะที่แพร่กระจายไปในทุกๆ ด้านอย่างสม่ำเสมอ ในกระสวนที่แบ่งตามแนวนอน เช่น หีบกระสวนหล่อ ในโรงทำกระสวนเครื่องจักรกล จะต้องมีการใช้แรงกดบนกระสวนท่อนบนก่อนเสมอ เพื่อป้องกันการยกตัวของหีบกระสวน

แรงที่ทำให้หีบกระสวนท่อนบนยกตัว คือ แรง F_A



รูปที่ 2.1 แผ่นล้อช่วยแรง หล่อขึ้นรูปในหีบกระสวนที่ไม่มีไส้แบบ
แสดงภาคตัด เพื่อช่วยในการคำนวณแรงยกหีบกระสวน F_A โดยคร่าวๆ

แรงยกหีบกระสวน $F_A = 9.81 \times S_P \times h \times \rho$

เมื่อ S_p = พื้นที่ฉายของชิ้นงานหล่อ (mm^2)

h = ความสูงของหีบกระสวนท่อนบน (mm)

ρ = ความหนาแน่นของน้ำโลหะ (kg/mm^3)

สำหรับงานหล่อที่ต้องมีไส้แบบ จะเกิดแรงยกหีบกระสวนเพิ่มสูงขึ้นอีก แรงยกกระสวนจากไส้แบบ กำหนดให้เป็น แรง F_K ดังนั้น แรงยกหีบกระสวนรวมจะมีค่าดังนี้

$$\Sigma F = F_A + F_K$$

2.1.2 การแข็งตัวของโลหะ

2.1.2.1 การแข็งตัวของโลหะบริสุทธิ์

เมื่อน้ำโลหะบริสุทธิ์ค่อยๆ เย็นตัวลง จะเกิดการแข็งตัวขึ้นที่อุณหภูมิหนึ่งและการแข็งตัวจะเสร็จสิ้นลงที่อุณหภูมินั้น เราเรียกอุณหภูมินี้ว่าจุดแข็งตัว ซึ่งจะค่อยต่างกันสำหรับโลหะต่างๆ เช่น อะลูมิเนียมแข็งตัวที่ 660°C เป็นต้น

กระบวนการแข็งตัวของโลหะมีดังนี้

ในอันดับแรกจะเกิดมีจุดเริ่มต้นการตกผลึก แล้วผลึกก็จะโตขึ้นจากจุดเริ่มต้น ในขณะเดียวกันจุดเริ่มต้นใหม่ๆ ก็จะเริ่มเกิดขึ้น ในที่สุดน้ำโลหะทั้งหมดก็จะกลายเป็นเม็ดผลึก (Grain) และจะมีขอบคั่นระหว่างเม็ดผลึก เรียกว่าขอบเม็ดผลึก (Grain boundary)

ขนาดของเม็ดผลึกขึ้นอยู่กับอัตราเพิ่มของจุดเริ่มต้น และอัตราโตขึ้นของผลึก ถ้าอัตราการโตชนะอัตราการเพิ่มก็จะเกิดเม็ดผลึกขนาดใหญ่ และถ้าอัตราการเพิ่มชนะอัตราการโตก็จะเกิดเม็ดผลึกขนาดเล็ก

2.1.2.2 การแข็งตัวของโลหะผสม

เมื่อโลหะผสมที่ประกอบด้วยธาตุมากกว่า 1 ชนิดเย็นตัวลงจากสภาพของเหลว เม็ดผลึกที่เกิดขึ้นจะต่างจากเม็ดผลึกของโลหะบริสุทธิ์ ถ้าโลหะผสมประกอบด้วยธาตุ A และธาตุ B แข็งตัว เม็ดผลึกที่เกิดขึ้นจะไม่ใช่เม็ดผลึก A และเม็ดผลึก B แยกกันอยู่ แต่จะเป็นเม็ดผลึกซึ่งประกอบด้วย A และ B ผสมกัน เมื่อศึกษาละเอียดลงไป จะพบว่ามีกรณีที่ A ถูกดูดกลืนเข้าไปใน B หรือ B ถูกดูดกลืนเข้าไปใน A และกรณีมีทั้ง A และ B อยู่ค่อนข้างมาก สองกรณีแรกคือสารละลายของแข็ง (Solid solution) และกรณีหลังคือ สารประกอบระหว่างโลหะ (Intermetallic compound)

สารละลายของแข็ง คือโลหะในสภาพที่อะตอมของ B เข้าไปแทนที่บางอะตอมของ A หรือที่อะตอมของ B เข้าไปแทรกอยู่ในโครงสร้างของ A สารละลายของแข็งจึงหมายถึงสิ่งที่มีการผสมกันในระดับอะตอมไม่ใช่เป็นกันผสมกันทางกล

สารประกอบโลหะประกอบด้วยอะตอมของ A และของ B แต่ระบบของอะตอมในผลึกจะต่างจากทั้งระบบของ A และของ B

นอกจากสารละลายและสารประกอบระหว่างโลหะแล้วยังมีที่กรณีนานๆ จะมีสักครั้ง คือกรณีที่ A หรือ B หรือทั้ง A และB ปรากฏเป็นก้อนผลึกในสภาพบริสุทธิ์

โครงสร้างของโลหะผสมแยกออกเป็น 3 ประเภท คือ สารละลายของแข็ง สารประกอบระหว่างโลหะและโลหะบริสุทธิ์ ถ้าเพิ่มจำนวนธาตุที่ผสมอยู่ในโลหะผสมก็จะมีผลึกมากชนิดขึ้น และโครงสร้างจะซับซ้อน

ในวิชาโลหะวิทยาแต่ละส่วนที่มีโครงสร้างเหมือนกันเรียกว่า สภาพ (phase) ดังนั้นโลหะผสมจะประกอบด้วยสภาพซึ่งเป็นสารละลายของแข็ง สารประกอบระหว่างโลหะและโลหะบริสุทธิ์ สำหรับเหล็กหล่อของผสมที่สำคัญคือ เหล็ก คาร์บอนและซิลิกอน และมีสภาพต่างๆ ดังนี้ สารละลายของแข็งซึ่งประกอบด้วยเหล็กเป็นส่วนใหญ่ สารประกอบ Fe_3C เรียกว่า ซีเมนไตท์ (Cementite) และกราไฟท์บริสุทธิ์

2.1.2.3 การแข็งตัวของชิ้นงานหล่อ

การแข็งตัวของชิ้นงานหล่อเริ่มจากส่วนของน้ำโลหะที่สัมผัสแบบหล่อเมื่อความร้อนจากน้ำโลหะถูกแบบหล่อดึงไป และโลหะตรงส่วนนั้นๆ เย็นลงจนถึงจุดแข็งตัว และจุดเริ่มต้นของการตกผลึก (crystal nuclei) โตขึ้น ภายในของชิ้นงานหล่อก็จะเย็นลงด้วย แต่เย็นช้ากว่าภายนอก ผลึกจะขยายจากจุดเริ่มต้นซึ่งอยู่ริมนอกเข้าสู่ภายใน ทำให้ผลึกมีลักษณะยาวเรียว (columnar) เรียกว่า โครงสร้างเสาเข็ม (columnar structure) จะเกิดโครงสร้างประเภทนี้อย่างชัดเจน ถ้ามีความแตกต่างในอุณหภูมิมากจากผิวภายใน เช่นการหล่อที่ใช้แบบหล่อโลหะ การใช้แบบหล่อทรายจะทำให้มีความแตกต่างในอุณหภูมิน้อยดังนั้นจะไม่เกิดโครงสร้างเสาเข็มประเภทที่เห็นได้ชัด

บริเวณตรงกลางของชิ้นงานหล่อจะมีการเปลี่ยนแปลงในอุณหภูมิน้อย และจะเกิดเป็นรูปผลึกรูปหลายเหลี่ยมที่ไม่แสดงการโน้มเอียงไปในทิศทางหนึ่ง

ในระหว่างที่น้ำโลหะกำลังเย็นตัว และบางส่วนของโลหะเย็นตัวไปแล้วถ้าเทโลหะที่ยังไม่แข็งตัวออก จะเห็นว่าผิวหน้าของส่วนที่แข็งแล้วมีลักษณะแยกออกได้เป็นสองแบบ คือแบบเรียบและแบบขรุขระ ถ้าเป็นโลหะที่มีช่วงอุณหภูมิระหว่างการแข็งตัวแคบ ผิวหน้าจะเรียบ และถ้าช่วงอุณหภูมิดังกล่าวกว้าง ผิวหน้าจะขรุขระ

นอกจากนั้นแบบหล่อที่เป็นโลหะจะทำให้เกิดผิวหน้าที่เรียบและแบบทรายหล่อทำให้เกิดผิวหน้าที่ขรุขระ ในกรณีที่ช่วงอุณหภูมิแข็งตัวกว้าง จะเกิดผลึกที่มีลักษณะเป็นกิ่งไม้ (dendritic crystal) เติบโตขึ้นจากจุดเริ่มต้น และในที่สุดการแข็งตัวจะสิ้นสุดลง เมื่อบรรดาโครงสร้างกิ่งไม้มาบรรจบกัน

การที่พบว่าผิวหน้าขรุขระหลังจากที่เทน้ำโลหะที่ยังไม่ทันแข็งตัวออกนั้น ก็เพราะว่าน้ำโลหะที่อยู่ระหว่างโครงสร้างรูปกิ่งไม้ไหลออกมา ทำให้เห็นโครงสร้างรูปใบไม้ที่แข็งตัวแล้ว ผิว

หน้าจึงดูขรุขระ บรอนซ์และเหล็กหล่อมีช่วงอุณหภูมิการแข็งตัวกว้าง ดังนั้นผิวหน้าที่เห็นหลังจากเทน้ำโลหะออกจึงขรุขระ อะลูมิเนียมบริสุทธิ์แข็งตัวที่อุณหภูมิคงที่ แต่ความร้อนแฝงที่ได้รับการปล่อยออกในระหว่างการแข็งตัวมีมากจนทำให้ผิวขรุขระ ทั้งนี้สำหรับการหล่อที่ใช้แบบทราย

การแข็งตัวของชิ้นงานโลหะค่อยๆ เริ่มจากผิวนอกไปจนถึงตรงกลาง เวลาทั้งหมดในระหว่างการแข็งตัวจากผิวนอกจนถึงตรงกลางเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ V/S อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของชิ้นงาน V และพื้นที่ผิวนอก S ซึ่งเป็นส่วนของชิ้นงานที่สงความร้อนให้สิ่งแวดล้อม

เพราะฉะนั้นไม่ว่ารูปร่างของชิ้นงานจะเป็นอย่างไร เช่น เป็นสี่เหลี่ยม,สามเหลี่ยม หรือทรงกระบอก เวลาที่ต้องใช้ในการแข็งตัวจะเท่ากัน ถ้าค่า V/S เท่ากัน

ชิ้นส่วนที่มีรูปร่างเป็นกากะบาด มีพื้นที่หน้าตัดใหญ่ แต่มีพื้นที่ให้ความร้อนออกน้อย ยิ่งไปกว่านั้นแบบหล่อของชิ้นส่วนรูปร่างนี้จะร้อน ทำให้อัตราการดึงความร้อนออกจากงานหล่อต่ำ ดังนั้นเวลาที่ทั้งหมดในระหว่างการแข็งตัวจึงมาก แสดงว่าเวลาการแข็งตัวขึ้นอยู่กับรูปร่าง

อัตราการเติบโตของชั้นที่แข็งตัว (Solidified layer) ของโลหะจะสูงสำหรับส่วนที่อยู่ติดกับผิวนอกและจะต่ำสำหรับส่วนที่อยู่ภายใน แต่ถ้าใช้ไส้แบบจะไม่เป็นดังที่ว่านี้ ถ้าใช้ไส้แบบที่เล็กตัวไส้แบบเองจะร้อนจัดและไม่สามารถดึงความร้อนออกไปจากโลหะ ดังนั้นการแข็งตัวจะเริ่มจากผิวนอกและต่อไปจนถึงไส้แบบ

2.2 คุณสมบัติของโลหะที่ใช้

2.2.1 คุณสมบัติทั่วไป

โลหะที่จะใช้ในการหลอมหล่อในที่นี้ คือ ทองเหลือง (Brasses) ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงและสังกะสี โดยสังกะสีสามารถละลายได้ในทองแดงให้สารละลายของแข็ง (Solid Solution) ปริมาณของทองแดงที่ละลายได้สูงถึง 39% และถ้าผสมสังกะสีมากกว่านี้ จะได้สารประกอบเชิงโลหะระหว่างทองแดงกับสังกะสีอีกหลายชนิด ซึ่งมีผลทำให้ความแข็งแรง ความแข็ง ความเหนียว และคุณสมบัติทนการกัดกร่อน ตลอดจนสีของทองเหลืองเปลี่ยนไป ตามปริมาณของสังกะสีที่ผสม

ในอุตสาหกรรมผลิตทองเหลืองทั่วๆ ไป จะแยกมาตรฐานออกไปสองกลุ่ม คือ ประเภทรีดเป็นแท่ง หรือเป็นแผ่น (Wrough copper alloys) กับอีกกลุ่มหนึ่งจะเป็นประเภทหล่อ (Cast copper alloys) ซึ่งทั้งสองกลุ่มจะแยกชั้นคุณภาพตามปริมาณของสังกะสีที่ผสม ซึ่งไม่สามารถนำรายละเอียดมาอธิบายในที่นี้ได้เพราะมีมากมายหลายคุณภาพ ซึ่งสามารถหารายละเอียดได้จากคู่มือของ ASTM หรือ JIS ในการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติเชิงกล มักจะกล่าวถึงชื่อทองเหลืองที่รู้จักและใช้งานอยู่เป็นประจำ ซึ่งมีอยู่ไม่มากนัก ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชนิดและส่วนผสมทางเคมีของโลหะผสมทองแดงและสังกะสี

ชื่อเรียกทางการค้า	ปริมาณของทองแดง (%)	ปริมาณของสังกะสี (%)	ลักษณะและประโยชน์
Gliding metal	95	5	ใช้ทำเหรียญ
commercial bronze หรือ บรอนซ์	90	10	ความจริงเป็นทองเหลือง การใช้งานคล้ายกับ Gliding metal
Jewelry bronze	87.5	12.5	ทองเหลืองทำเครื่องประดับ
Red brass	85	15	ทองเหลืองแดง
Low brass	80	20	
Cartridge brass	70	30	ใช้ทำปลอกกระสุนปืนหรือท่อที่ต้องอาศัยการขึ้นรูปอัด (Extrusion)
Yellow brass	65	35	ทองเหลืองที่มีสีค่อนข้างจัด การใช้งานใกล้เคียงกับ Cartridge brass
Muntz metal	60	40	

สังกะสีมีบทบาทที่สำคัญในการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลของทองเหลือง โดยเพิ่มทั้งความแข็งแรง ความเหนียว และความแข็งให้กับทองแดง ในช่วงที่สังกะสีสามารถละลายให้สารละลายของแข็งในทองแดง แต่เมื่อเลยพิกัดการเป็นสารละลานของแข็งไปแล้ว สังกะสีจะให้สารประกอบเชิงโลหะกับทองแดง ซึ่งมีความแข็งและความเปราะ ในช่วงนี้ความแข็งแรงและความเหนียวจะค่อยๆ ลดลง คงจะเพิ่มแต่ความแข็งเท่านั้น

จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล พบว่า เมื่อผสมสังกะสีประมาณ 40-45% จะได้ความแข็งแรงสูงสุดในสภาพภายหลังการรีด และความเหนียวซึ่งวัดได้โดยการหาค่าอัตราการยืดตัว (% elongation) จะขึ้นสูงสุดเมื่อทองเหลืองมีส่วนผสมสังกะสี 25-30% ถ้าเลยขอบเขตอันนี้ ความเหนียวจะลดลงอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลตามปริมาณสังกะสีทำให้ต้องเลือกให้ถูกลักษณะของโลหะผสมในการใช้งานและทองเหลืองที่ได้เรียกชื่อต่างกันไป ก็เพราะคุณสมบัติเชิงกลที่ต่างกัน

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของโลหะและโลหะผสม

WROUGHT ALLOYS

MATERIAL	FORM	COMPOSITION, %				TENSILE STRENGTH, 1,000 PSI		YIELD STRENGTH 0.5% OFFSET 1,000 PSI		ELONGATION, % IN 2 IN		HARDNESS, ROCKWELL B	
		Cu	Zn	Sn	OTHERS	HARD	SOFT	HARD	SOFT	HARD	SOFT	HARD	SOFT
Copper	Sheet	99.9 +	...	..	...	55	32	48	...	4	50	58	
Gilding metal	Sheet	95.0	5.0	...	...	55	35	45	11	5	38	68	7
Commercial bronze	Sheet	90.00	10.0	...	..	67	37	53	11	3	40	75	10
Red brass	Sheet	85.0	15.0	...	...	80	45	55	15	4	43	85	10
Low brass	Sheet	80.0	20.0	...	...	85	43	65	15	4	50	86	11
	Rod	80.0	20.0	...	...	80	45	60	15	5	50		
Spring brass	Sheet	75.0	25.0	...	...	80	47	60	15	5	45	87	15
Brass	Sheet	70.0	30.0	...	...	86	45	65	15	4	50	87	.
Cartridge brass	Sheet	69.0	31.0	...	...	85	46	65	15	4	58	87	22
Yellow brass	Sheet	65.0	35.0	...	...	90	45	70	15	5	60	85	30
Muntz metal	Sheet	60.0	40.0	...	..	80	57	60	15	9	48	87	42
Phosphor bronze	Sheet	96.0	...	4.0	0.25 P	90	45	75	18	4	50	90	30
	Sheet	92.0	...	8.0	+ P	110	60	85	25	3	55	99	45
Aluminum brass	Tube	76.0	22.0	...	2 Al	83	62	75	16	17	52	86	33
Aluminum bronze	...	92.0	...	...	8 Al	134	76	100	30	13	55	99	69
Manganese bronze	Rod	68.0	29.0	...	1 Al, 1 Mn, 1 Fe	85	60	50	20	45	90	25	
Admirally metal	Tube	71.0	21.0	1.0	...	100	53	98	18	3	60	95	13
Naval brass	Rod	60.0	39.0	0.75	0.25 Pb	62	54	39	15	30	40	55	
Silicon brass	...	78.0	20.0	...	2.0 Si	110	55	83	12	4	60		
Tin brass	...	88.0	10.0	2.0	...	85	...	..	..	3	...	86	

ตารางที่ 2.4 โลหะผสมที่ใช้หล่อ

MATERIAL	COMPOSITION, %				TENSILE STRENGTH, 1,000 PSI	YIELD STRENGTH, 1,000 PSI	ELONGATION, %	BHN, 500 kg, 10 mm
	Cu	Zn	Sn	OTHERS				
Cond. copper	99.85	...	...	...	30	17	45	40
Brass	70.0	30.0	...	...	28	16	22	65
Tin brass	63.0	36.0	1.0	...	30	18	18	75
Silicon brass	81.0	15.0	...	4 Si	90	45	16	
Aluminum brass	63.0	32.5	...	2.5 Al	62	35	18	120
Bronze	88.0	...	12.0	+ P	40	22	11	70
	81.0	...	19.0	+ P	35	25	12	135
Gear bronze	88.0	4.0	5.5	2.5 Ni	42	17	32	75
Leaded red brass	85.0	5.0	5.0	5 Pb	34	17	25	60
	80.0	...	10.0	10 Pb	35	17	20	65
Silicon bronze	95.0	1.0	...	4 Si	55	22	35	90
	93.0	4.0	...	2.5 Si, 0.5 Fe	50	18	20	
Aluminum bronze	89.0	...	...	10 Al, 1 Fe	67	32	15	140
	88.0	...	...	9 Al, 3 Fe	80	35	25	140
Manganese bronze	68.0	20.0	...	4 Mn, 5 Al, 2.5 Fe	110	70	15	
	64.0	24.0	...	4 Mn, 5 Ml, 3 Fe	115	70	15	210
Nickel silver	60.0	20.0	...	20 Ni	45	20	35	55
Cupronickel	70.0	...	...	30 Ni	64	33	35	120

*From S.L. Hoyt, "Metal Data", Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1952.

2.2.2 ธาตุผสมอื่นๆ

นอกจากทองเหลืองที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีทองเหลืองที่มีชื่อแตกต่างออกไปอีกหลายชนิด ตามลักษณะทางการค้า และการผสมธาตุอื่นๆ นอกจากสังกะสี เช่น

ตะกั่ว อาจแปลกปนเข้าในทองเหลือง เนื่องจากติดเข้ามากับสังกะสีที่ใช้ผสมกับทองแดง ปกติพวกนี้จะไม่เกิน 0.5% โดยน้ำหนัก และเรียกโลหะนี้ว่า ทองเหลืองที่ไม่มีตะกั่ว (non leaded brasses) แต่ถ้าปริมาณตะกั่วมีมากกว่า 0.5% จะเรียกโลหะนี้ว่า ทองเหลืองที่มีตะกั่ว (leaded brasses)

ตะกั่วในทองเหลืองช่วยให้คุณสมบัติการไหลของทองเหลืองดีขึ้น ทองเหลืองนี้จะง่ายต่อการหลอมหล่อ ดังนั้นในชิ้นงานหล่อของทองเหลืองทั่วไปจึงมีตะกั่วผสมอยู่มาก ตะกั่วยังเพิ่มคุณสมบัติการกลึงไสให้กับทองเหลืองได้มากด้วยจนมีชื่อเรียกว่า ทองเหลืองกลึงไสเสรี (free-cutting brass,58 Cu -39 Zn -2 Pb) อย่างไรก็ตาม สมบัติการต้านแรงดึงและความเหนียวของทองเหลืองจะลดลงเมื่อปริมาณตะกั่วเพิ่มจำนวนขึ้นมาก ด้วยเหตุนี้ชิ้นงานขึ้นรูปของทองเหลืองจึงมักมีตะกั่วผสมอยู่ไม่มากเหมือนในชิ้นงานหล่อ

ดีบุก จะมีประมาณไม่เกิน 6% เพราะถ้ามีมากดีบุกจะให้ผลสึบเนื่องต่อโลหะมากกว่าผลสึบเนื่องต่อสังกะสีที่มีต่อทองเหลือง ซึ่งถ้าเป็นกรณีเช่นนี้ เราจะไม่เรียกโลหะว่าเป็นทองเหลือง แต่จะเรียกว่าบรอนซ์แทน

ดีบุกช่วยเพิ่มสมบัติด้านต้านแรงดึง พิกัดการคืนรูป (elastic limit) รีไซเลียน (resilience) ด้วย สมบัติการทนทานต่อการล้าให้กับทองเหลือง นอกจากนี้ดีบุกยังช่วยเพิ่มสมบัติการไหลของโลหะ ทำให้โลหะหลอมหล่อได้ง่าย และยังมีความทนทานต่อการผุกร่อนในน้ำทะเลได้ดีขึ้น สามารถใช้ทำชิ้นส่วนต่างๆ ที่ต้องสัมผัสน้ำทะเลได้ เช่น Naval brass (60 Cu- 39 Zn- 0.75 Sn) และAdmiralty brass (71 Cu- 28 Zn- 1 Sn)

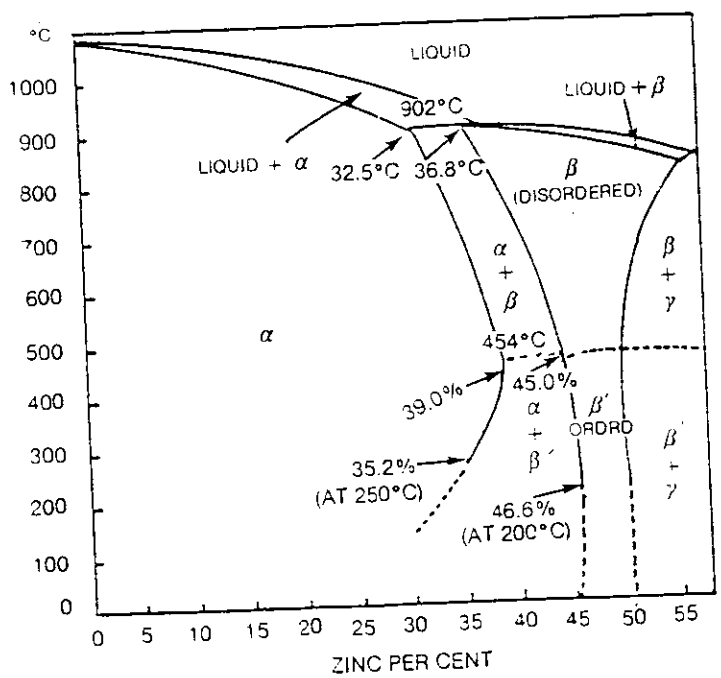
นิกเกิล มีผลทำให้เพิ่มกำลังวัสดุและความทนทานต่อการผุกร่อนให้กับทองเหลืองได้อย่างดีมาก เช่น ทองเหลืองนิกเกิล (Nickel brass, 65 Cu- 18 Ni- 17 Zn) แต่เมื่อผสมนิกเกิลจำนวนมากและเพียงพอกับปริมาณของสังกะสี จะมีผลทำให้โลหะเปลี่ยนสีขาวคล้ายเงิน เรียกว่า นิกเกิลเงิน (Nickel Silver, 20-25% Ni) ใช้ทำเครื่องตกแต่งและเครื่องดนตรี

อะลูมิเนียม แมงกานีส ซิลิคอน และเหล็ก ธาตุเหล่านี้มักจะถูกผสมร่วมเข้าในทองเหลือง ๖อาจไม่ครบทั้ง 4 ธาตุ) ทั้งนี้เพื่อเพิ่มกำลังวัสดุของทองเหลืองให้สูงขึ้นได้มาก จัดเป็นกลุ่มที่มีเทนไซล์สเตร้งสูง

ธาตุเหล่านี้ยังทำให้ของเกรนของทองเหลืองละเอียดและเพิ่มความทนทานต่อการผุกร่อน ส่งเสริมให้ทองเหลืองมีสมบัติเชื่อมต่อกันได้ง่าย ปกติปริมาณของธาตุเหล่านี้ในทองเหลืองมีรวมกันอยู่ระหว่าง 2-7% ส่วนผสมของแต่ละธาตุสักจะใกล้เคียงกัน ยกเว้นแมงกานีส แมงกานีสจำนวนเล็กน้อยจะเพิ่มกำลังวัสดุของทองเหลืองได้มาก จนถึงกับเรียกทองเหลืองที่มีแมงกานีสผสมอยู่ว่า บรอนซ์แมงกานีส ส่วนคุณสมบัติเชิงกลของทองเหลืองจะปรากฏในตารางที่ 2.2, 2.3

2.2.3 โลหะวิทยาของทองเหลือง

การนำทองเหลืองไปใช้งานโดยไม่จำเป็นต้องทราบคุณสมบัติเชิงกลของทองเหลือง ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณของสังกะสี และลักษณะโครงสร้างจุลภาค ในการศึกษาจึงต้องอาศัยแผนภูมิสมดุลของทองแดงกับสังกะสีเป็นพื้นฐานการทำความเข้าใจบทบาทของสังกะสีในทองแดง ซึ่งจะปรากฏในแผนภูมิสมดุลดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนภูมิสมดุลของทองแดงกับสังกะสี

จากแผนภูมิสมดุลที่นำมาแสดงจะปรากฏเพียงแค่ 60% สังกะสีเท่านั้น เพราะในงานวิศวกรรมจะใช้ทองเหลืองที่มีส่วนผสมสังกะสีไม่เกิน 45% ถ้าทองเหลืองที่มีสังกะสีสูงกว่านี้ จะ

เปราะแตกหักง่าย ไม่เหมาะกับงาน สังกะสีสามารถละลายในทองแดงและให้สารละลายของแข็งได้สูงสุด 39% ที่อุณหภูมิ 454°C ซึ่งสารละลายของแข็งนี้เรียกเฟสแอลฟา (α) มีระบบผลึกเป็น F.C.C. มีระยะห่างระหว่างอะตอม 3.61-3.69 A° มีความเหนียวสูงสามารถขึ้นรูปเย็นได้ง่าย จากแผนภูมิสมดุล จะพบว่าเฟสแอลฟามีปริมาณสังกะสี 32.5% ที่ 902°C และเพิ่มขึ้นจนสูงสุด 39% ที่ 454°C และกลับลดลงเหลือ 35.2% ที่ 250°C เฟสแอลฟาจะมีสีแดงจนถึงเหลืองเหมือนทองคำเมื่อมีปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้นจาก 10% จนถึง 20% และจะกลับสีจางลงเมื่อมีปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้นจนถึง 30%

เมื่อผสมสังกะสีเพิ่มขึ้นจะปรากฏเฟสเบต้า (β) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเปริเตคติคระหว่างเฟสแอลฟากับโลหะทองเหลืองหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 902°C เฟสเบต้ามีระบบผลึกเป็นแบบ BCC มีระยะห่างอะตอม 2.945 A° ที่อุณหภูมิ 454°C อะตอมของสังกะสีจะเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (Disordered) แต่เมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า 454°C การเรียงตัวของอะตอมสังกะสีในทองแดงจะเป็นระเบียบ (Ordered) เรียกเฟส β' ในหนังสือบางเล่มจะระบุว่าเฟส β และ β' เป็นสารประกอบซึ่งมีสูตร CuZn มีความแข็งสูงกว่าเฟส α และมีความเหนียวน้อยลง ไม่สามารถขึ้นรูปร้อนได้เฟส β' ที่อุณหภูมิปกติ α จะมีสีเหลืองอ่อนคล้ายกับเฟส α ที่มีสังกะสีผสม 30%

เฟสแกมมา (γ) จะเกิดปฏิกิริยาเปริเตคติค ครั้งที่สองระหว่างเฟส β กับโลหะทองเหลืองหลอมเหลวที่เหลือ ให้เฟส γ ที่อุณหภูมิ 834°C (จากแผนภูมิสมดุลไม่ปรากฏปฏิกิริยานี้ชัดเจน) เฟส γ เป็นสารประกอบเชิงโลหะมีสูตร Cu_5Sn_8 มีระบบผลึกเป็นระบบลูกบาศก์เชิงซ้อน (Complex Cubic) มีความแข็งสูง และเปราะแตกหักง่าย มีสีค่อนข้างไปทางขาวมากกว่าเหลือง

นอกจากเฟสที่กล่าวมาแล้วหลายประเภทที่ปรากฏในแผนภูมิสมดุล แต่ถ้าปริมาณสังกะสีสูงกว่า 68% จะปรากฏเฟส ε ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงโลหะ มีระบบผลึกเป็นหกเหลี่ยมเชิงซ้อน (Complex hexagonal) มีคุณสมบัติคล้ายกับเฟส γ จากแผนภูมิสมดุลทางด้านสังกะสีสูงจะปรากฏเฟส η ที่เป็นสารละลายของแข็งทองแดงในสังกะสีมีระบบผลึกเป็นรูปหกเหลี่ยมซนิด Close packed มีสีขาวปนน้ำเงิน มีความเหนียวปานกลางสามารถขึ้นรูปเย็นได้

2.3 เตาหลอม

การหลอมโลหะทำได้โดยใช้เตาหลอมหรือใช้ก๊าซเผา เพื่อที่จะทำให้เกิดการหลอมเหลวได้ ซึ่งอาจใช้เตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ (Low Frequency Induction Furnace) แต่ตามธรรมดานั้นมักจะหลอมละลายโดยใช้เตาคิวโบลา แต่การใช้ไฟฟ้าหลอมละลายกำลังแพร่หลายมากขึ้นในอุตสาหกรรม การใช้ไฟฟ้าหลอมละลายมีข้อได้เปรียบ ดังนี้

ก. ควบคุมส่วนผสมและอุณหภูมิได้ง่าย

ข. มีการสูญเสียโลหะน้อย

ค. อาจใช้โลหะคุณภาพต่ำได้

ง. ลดจำนวนผู้ปฏิบัติงาน

จ. สภาพการทำงานดีขึ้น ผู้ปฏิบัติงานสะดวกและสบายขึ้น

ลักษณะของเตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ เตาเหนี่ยวนำที่ใช้ในการค้าส่วนใหญ่ใช้ความถี่ 50 - 60 Hz แต่เมื่อเร็ว ๆ นี้มีเตาที่ใช้ความถี่เป็น 3 เท่า คือ 150 - 180 Hz เตาเหนี่ยวนำแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ตามหลักการทำงานและรูปร่างลักษณะ ชนิดหนึ่งคือ เตาเบ้า (Crucible Type Furnace) หรือเตาแบบไม่มีแกน (Coreless Furnace) และอีกชนิดหนึ่งคือเตาช่อง (Channel Type Furnace)

เตาเบ้า (Crucible Type Furnace) เตาชนิดนี้มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เตาไม่มีแกน (Coreless Type Furnace) ส่วนของเตาที่ใช้เก็บน้ำโลหะมีลักษณะคล้ายเบ้า มีขดลวดปฐมภูมิ ซึ่งหล่อเย็นด้วยน้ำอยู่รอบเบ้าและภายนอกของขดลวด มีแผ่นรูปแอก (Yoke) หลายชั้นทำหน้าที่เบนฟลักซ์แม่เหล็กเข้าด้วยกัน และทำหน้าที่ยึดขดลวด เตาประเภทนี้มีข้อได้เปรียบตรงที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อน ใช้วัสดุทนไฟประเภทกรดซึ่งราคาต่ำและส่วนเก็บน้ำโลหะนั้นสร้างง่าย แต่ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าเตาช่อง ในตอนเริ่มต้นใช้เตาจะต้องมีแท่งโลหะ (Ingot) ขนาดใหญ่ทำหน้าที่ช่วยเริ่มติดเตา หรือใช้น้ำโลหะแทนก็ได้ ส่วนบนของเตาเปิดกว้าง ดังนั้นจึงบรรจุวัสดุได้สะดวกเตาประเภทนี้เหมาะสำหรับหลอมละลายโลหะจากอุณหภูมิห้อง

คุณลักษณะของการหลอมโลหะโดยวิธีนี้ต่างจากการหลอมโลหะโดยคิวโปลาอย่างเห็นเด่นชัด คือการกระเพื่อมของน้ำโลหะ แรงที่เกิดในเตาเหนี่ยวนำที่ทำให้เกิดการกระเพื่อมเป็นสัดส่วนกลับกับความถี่กำลังหนึ่งส่วนสองและเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานไฟฟ้าที่เตาใช้ แรงนี้ทำให้ผิวส่วนกลางของน้ำโลหะในเตาปูดขึ้น เนื่องจากการกระเพื่อมนี้เอง ส่วนผสมของน้ำโลหะจะเหมือนกันทั่วทุกส่วนของน้ำโลหะ และโลหะผสมที่เติมเข้าไปจะกลืนเข้ากับน้ำโลหะอย่างรวดเร็วและทั่วถึง

การใช้เตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ เช่น ผนัง การเลือกใช้ผนังเตาเป็นเรื่องที่สำคัญที่สุดสำหรับการหลอมโลหะ โดยใช้เตาเหนี่ยวนำ คุณสมบัติที่ต้องการใช้ทำผนังเตามีดังนี้

ก. ทนความร้อนได้ดี

ข. ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำโลหะและขี้ตะกรัน

ค. ทนต่อการสึกหรอที่อาจจะเกิดจากการบรรจุและการเทน้ำโลหะ

ง. เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี

จ. กระทุ้งและอัดเข้ารูปได้สะดวก

การหลอมแข็ง (Sintering) ของผิวเตา สำหรับวิธีแห้งที่ใช้กับเตาเบ้านั้น หลังจากที่ผิวเตาเสร็จแล้วก็ส่งกระแสไฟฟ้าเข้าเตาทำการหลอมละลายเพื่อหลอมแข็งผิวเตา ขั้นแรกใส่ก้อนโลหะที่ใช้เริ่มการทำงานของเตา แล้วจึงเปิดสวิทซ์และเพิ่มอุณหภูมิผิวเตาขึ้น ในที่สุดโลหะที่ใช้จะเริ่มละลาย รักษาอุณหภูมิไว้สูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลว 100°C แล้วเทน้ำโลหะออกหลังจากที่ได้รักษาไว้ที่อุณหภูมิที่หลอมเหลวเห็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือกว่านั้น การหลอมแข็งก็จะเกิดขึ้นจากกระบวนดังกล่าว เพื่อให้ผนังเตาแข็งแรงไปจนถึงระดับขี้ตะกรัน ควรจะใช้ปริมาณน้ำโลหะสูงกว่าปกติในการทำการหลอมแข็ง

2.4 การหลอมโลหะผสมทองแดง (Melting of Copper-Base Alloys)

2.4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการหลอม (Charge)

มีหลายชนิดที่จะนำมาใช้หลอม ที่สำคัญ ได้แก่

ก. โลหะบริสุทธิ์ (virgin metal) หมายถึงโลหะที่ได้มาจากการถลุงแร่ เช่น ทองแดง, สังกะสี, ดีบุก,และตะกั่ว โลหะเหล่านี้ยังไม่ได้ผ่านการหล่อหลอม หรือผสมกับโลหะอื่นๆ ส่วนใหญ่จะมีปริมาณของโลหะสูง มีสารมลทินเจือปนบ้างไม่มากนัก ที่เรียกว่า โลหะบริสุทธิ์มิได้หมายถึง จะต้องมีเนื้อโลหะร้อยเปอร์เซ็นต์ เพียงแต่มีสารมลทินเจือปนอยู่น้อยมาก มักจะเรียกว่า โลหะบริสุทธิ์ทางการค้า (Commercial pure)

ข. โลหะที่มาจากแหล่งอื่น หรือจากร้านค้าเศษโลหะ ซึ่งถ้าเป็นเศษโลหะที่ดีมีคุณภาพจะต้องเป็นเศษโลหะที่รู้ส่วนผสมแน่นอน สามารถจัดเก็บไว้เป็นที่เป็นทางที่แน่นอนไม่ปะปนกันจนไม่รู้ว่าเป็นเศษโลหะประเภทใด อันเป็นการยากที่จะควบคุมส่วนผสมในขณะทำการหลอม

ค. เศษโลหะที่ได้จากโรงงาน (foundry scrap) ซึ่งส่วนใหญ่จะได้แก่ พวกรูเท รูล้น และพวกงานหล่อที่เสียมีตำหนิ (gate, runner, riser, rejects) เช่นเดียวกันจะต้องแยกประเภทได้อย่างดีไม่ควรปล่อยให้ปะปนกัน

ง. โลหะปรับส่วนผสม (hardener) ส่วนใหญ่จะเป็นโลหะที่สั่งซื้อมาจากต่างประเทศเป็นโลหะที่ทราบส่วนผสมที่แน่นอน และมีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ เช่น ทองแดง-แมงกานีส (27% Mn) ทองแดง-ซิลิกอน (16% Sn) และทองแดง-ดีบุก (50% Sn) เป็นต้น

2.4.2 การเตรียมโลหะสำหรับการหลอมหล่อ (preparation of material for the charge)

โดยทั่วไปจะใช้โลหะที่จะนำมาหลอมหล่อเป็นสัดส่วนดังนี้

โลหะบริสุทธิ์	ประมาณ 50-60 %
เศษโลหะจากโรงหล่อ	ประมาณ 25-30 %
เศษโลหะจากภายนอก	ประมาณ 20-10 %
โลหะปรับส่วนผสม	ประมาณ 5 %

เศษโลหะจะต้องมีขนาดพอเหมาะกับเตาหลอม ถ้ามีขนาดใหญ่เกินไปจะต้องตัดให้เล็กลง และถ้าใช้เศษโลหะที่มีขนาดเล็กมาก เช่น เศษโลหะที่ได้จากโรงกลึง จะต้องนำมาอัดให้เป็นก้อนพอเหมาะกับขนาดของเตาหลอม ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสูญเสียในขณะทำการหลอม

2.4.3 เตาที่ใช้ในการหลอม (furnace)

เตาที่ใช้ในการหลอมโลหะผสมทองแดงมีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับปริมาณของโลหะที่จะหลอม ได้แก่ เตาอาร์คไฟฟ้า (electric arc furnace), เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (induction furnace), เตานอน (reverberatory furnace), เตาครูซ์ซิเบิล (crucible furnace)

เตาไฟฟ้าทั้งสองชนิดและเตานอนส่วนใหญ่จะใช้หลอมโลหะทองแดงผสมปริมาณมากๆ ซึ่งในประเทศไทยยังมีใช้น้อยเพียงไม่กี่โรงงานที่ใช้เตาไฟฟ้า ถ้าเป็นการหลอมปริมาณน้อยๆ จะใช้เตาครูซ์ซิเบิล ซึ่งมีใช้ทั้งน้ำมัน, ถ่านโค้ก และแก๊สเป็นเชื้อเพลิง

2.4.4 การสูญเสียโลหะขณะทำการหลอม (melting losses)

การสูญเสียโลหะเป็นแฟคเตอร์หนึ่งที่สำคัญมากในการหลอมโลหะผสมทองแดง เพราะจะทำให้การควบคุมส่วนผสมให้แน่นอนได้ยาก ส่วนใหญ่โลหะจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนกลายเป็นออกไซด์และลอยอยู่ที่ผิวของโลหะหลอมเหลวทำให้ต้องหาทางกำจัดโลหะออกไซด์ไม่ให้ไหลเข้าแบบหล่อ เรียกออกไซด์นี้ว่า Dross ส่วนใหญ่โลหะผสมทองแดงเกือบทุกชนิดรวมกับออกซิเจนได้ดี จึงเป็นการยากที่จะทำการป้องกัน แม้ว่าจะใช้ฟลักซ์เข้าช่วยก็ตาม การสูญเสียก็ยังคงมีอยู่แม้จะไม่สูงมากก็ตาม ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงประมาณ 1-3%

ในการคิดปริมาณของโลหะที่จะนำมาหลอม จึงต้องคิดเผื่อการสูญเสียไว้ด้วย เพื่อส่วนผสมของโลหะทองแดงภายหลังการเย็นตัว จะได้ใกล้เคียงกับที่ต้องการ เช่น

ในการทดลอง ต้องการหลอมโลหะผสมทองแดงชนิดหนึ่ง มีปริมาตร 150 cm^3 และโลหะผสมทองแดงนี้มีส่วนผสม ทองแดง 85% และสังกะสี 15% โดยน้ำหนัก

วัตถุดิบที่ใช้ในการหลอมหล่อเป็นโลหะบริสุทธิ์ทั้งหมด

ทองแดงมีความหนาแน่น 7.84 g/cm^3 และสังกะสีมีความหนาแน่น 6.21 g/cm^3

ถ้าต้องการโลหะผสมจำนวน 100 กรัม

มีปริมาณทองแดง 85 กรัม ซึ่งมีปริมาตร $\frac{85}{7.84} = 10.84\ cm^3$

มีปริมาณสังกะสี 15 กรัม ซึ่งจะมีปริมาตร $\frac{15}{6.21} = 2.42\ cm^3$

หรือมีปริมาตรรวม $10.84 + 2.42 = 13.26\ cm^3$

ถ้าต้องการปริมาตร $150\ cm^3$

จะต้องใช้ปริมาณโลหะผสม = $\frac{150}{13.26} \times 100 = 1131.3$ กรัม หรือ 1.13 กิโลกรัม

จะต้องใช้ปริมาณทองแดง $= 1.13 \times 85\% = 0.96$ กิโลกรัม

จะต้องใช้ปริมาณสังกะสี $= 1.13 \times 15\% = 0.17$ กิโลกรัม

คำนวณหาปริมาณน้ำหนักการสูญเสีย ซึ่งมีอัตราการสูญเสีย 20%

ทองแดง = $0.96 \times 20\% = 0.192$ กิโลกรัม

สังกะสี = $0.17 \times 20\% = 0.034$ กิโลกรัม

ตารางที่ 2.5 การคำนวณหาปริมาณน้ำหนักของโลหะที่จะต้องใช้ (กิโลกรัม)

ความต้องการต่างๆ	ทองแดง	สังกะสี	รวม
ส่วนผสมเฉลี่ย (Average Chemical Composition of alloy)	85%	15%	100%
น้ำหนักของโลหะต่อ 100 กรัม(Weight per 100 g. of charge)	85	15	100
ปริมาณโลหะบริสุทธิ์ที่จะต้องใช้ (Amount in virgin materials)	0.96	0.17	1.13
การสูญเสีย (losses %)	0.192	0.034	0.226
ปริมาณโลหะบริสุทธิ์ที่จะต้องใช้รวมทั้งหมด (Total virgin materials)	1.152	0.204	1.356

ดังนั้นต้องการใช้ปริมาณทองแดง 1.152 kg สังกะสี 0.204 kg และมีน้ำหนักรวมทั้งหมด 1.356 kg

2.4.5 ปัญหาการละลายของแก๊ส (Problem of Gas)

ในการหลอมโลหะผสมทองแดง ไม่ว่าจะใช้เตาหลอมประเภทใด ย่อมหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะไม่ให้โลหะสัมผัสกับแก๊ส (expose to gases) ซึ่งแก๊สเหล่านี้อาจเป็นแก๊สที่ติดมากับอากาศ หรือที่เกิดจากการเผาไหม้ เมื่อแก๊สเกิดการเผาไหม้ย่อมเกิดไอน้ำ และไอน้ำที่อุณหภูมิสูง ณ จุดหลอมเหลวของโลหะ ย่อมแตกตัวอะตอมของ H_2 และ O_2 สำหรับออกซิเจนอาจรวมตัวกับโลหะเกิดเป็นโลหะออกไซด์ ทั้งโลหะออกไซด์และอะตอม H_2 สามารถละลายได้ในโลหะหลอมเหลว นอกจาก O_2 และ H_2 แล้ว พวกแก๊สคาร์บอน (carbon gases) ที่เกิดจากการเผาไหม้ก็มีโอกาสที่จะละลายใน

โลหะได้เหมือนกัน ยิ่งอุณหภูมิของโลหะหลอมเหลวสูงมากขึ้นเท่าใด โอกาสที่แก๊สจะละลายได้ก็ยิ่งมีมากเท่านั้น

ยิ่งโลหะทองแดงมีความบริสุทธิ์มากย่อมเปิดโอกาสให้แก๊สต่างๆละลายได้มากโดยเฉพาะออกซิเจนละลายได้ดีในทองแดงบริสุทธิ์ แต่ถ้าเป็นโลหะผสมทองแดง โดยมีดีบุก, สังกะสีและตะกั่ว อัตราการละลายของแก๊สออกซิเจนจะลดลง แต่สำหรับแก๊สไฮโดรเจนแล้วละลายได้ดีมาก

สำหรับแก๊สไนโตรเจนไม่ละลายในโลหะผสมทองแดง ส่วนพวกคาร์บอนแก๊สละลายได้แต่อยู่ในขอบเขต เช่นเดียวกับแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

ผลที่เกิดจากการละลายของแก๊สต่อคุณภาพของงานหล่อ เราทราบว่าอัตราการละลายของแก๊สในโลหะหลอมเหลวจะมีมากกว่าโลหะที่อยู่ในสภาพแข็งตัว (large solubility) ดังนั้นเมื่อโลหะเริ่มเย็นตัวลงก็จะพยายามไล่หรือผลักอะตอมของแก๊สที่แทรกอยู่ออกไป ซึ่งแก๊สอาจจะหนีไป แต่ในบางกรณีอะตอมของแก๊สอาจจะไปรวมตัวกันอยู่ในโลหะที่หลอมเหลวที่อยู่ตรงกลาง ทำให้โลหะที่ยังไม่แข็งตัวมีปริมาณแก๊สสูงขึ้น ในกรณีที่เกิดได้เสมอ คือ อะตอม H_2 และ O_2 เกิดมารวมตัวกันใหม่กลายเป็นไอน้ำ และถ้าความดันของไอน้ำมีค่าสูงกว่าความดันเทียบเป็นความสูงของโลหะ (metal head) สูงกว่าความดันบรรยากาศ มันจะดันออกมาทางรูเท (sprue) หรือทางรูล้น (riser) ซึ่งเรามักจะเรียกอาการนี้ว่า Puring, mushrooming หรือ blowing

แต่ถ้าความดันของไอน้ำที่เกิดมีค่าน้อยใกล้ๆ กับความดันบรรยากาศ ก็จะเกิดรูพรุนของแก๊ส (Gas hole) ขึ้นในบริเวณรูเทหรือด้านบน (cope side) ของงานหล่อ

ในโลหะผสมทองแดงที่มีดีบุกเป็นส่วนผสม (tin bronze) ซึ่งเป็นโลหะผสมที่มีช่วงการแข็งตัวยาว (long freezing range) จะเกิดมีแก๊สอยู่ระหว่าง dendrite ที่เกิดการแข็งตัวตอนสุดท้าย และจะมีรูพรุนของแก๊สกระจัดกระจายอยู่ทั่วไป ถ้าเป็นโลหะผสมที่มีช่วงการแข็งตัวสั้น (short freezing) เช่น โลหะทองแดงผสมอะลูมิเนียมหรือแมงกานีสจะปรากฏว่ามีรูพรุนของแก๊สขนาดใหญ่เกิดอยู่ตามบริเวณที่ชิ้นงานหล่อเกิดแข็งตัวในช่วงสุดท้าย

2.4.6 วิธีการป้องกันแก๊สในโลหะผสมทองแดง (Copper Base Alloys)

เป็นการดีที่สุดในการปฏิบัติคือการป้องกันไม่ให้แก๊สละลายเข้าไปในโลหะหลอมเหลว ดีกว่าที่จะใช้วิธีไล่แก๊สออกในตอนหลัง แต่ในทางปฏิบัตินั้นทำได้ยากในการป้องกัน วิธีที่จะไล่แก๊สออกมีวิธีที่ใช้กันอยู่ 4 วิธี คือ

1. หลอมโลหะผสมเสียครั้งหนึ่งก่อน แล้วหล่อเป็นแท่งไว้ ในตอนที่เราปล่อยให้เย็นแก๊สจำนวนมากจะหนีไป นำโลหะที่ทิ้งไล่แก๊สออกไปแล้วนำมาหลอมใหม่ แต่ถ้าในการหลอม

ครั้งที่สองการป้องกันทำได้ไม่ดีพอก็จะไม่เกิดประโยชน์ เพราะแก๊สจะละลายกลับเข้าไปอีก ทำให้เสียเวลาและแรงงานรวมทั้งเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการหลอมทั้งสองครั้ง

2. ใช้วิธีไล่แก๊สไฮโดรเจน (Flush out) ด้วยแก๊สเฉื่อย (Inert gas) เช่น ไนโตรเจน หรืออากาศแห้ง(dry air) โดยวิธีเป่าแก๊สนี้ให้ผ่านโลหะหลอมเหลวซึ่งจะเป็นตัวพาแก๊สH_2ขึ้นมาด้วย

3. ใช้สารที่เป็นตัวไล่แก๊สออกซิเจน (deoxidiser) เพื่อแยกออกซิเจนและพวกโลหะออกไซด์ (metal oxide) ออก ซึ่งวิธีนี้ใช้กันอยู่ทั่วๆ ไป ข้อที่ควรระวังก็คือ อย่าให้สารที่เป็นตัวไล่แก๊สเหลืออยู่ในเนื้อโลหะเพราะจะทำให้คุณสมบัติของงานหล่อเสียไป ดังเช่นการใช้ฟอสฟอรัส ถ้าเหลืออยู่ในโลหะมากจะทำให้ความเหนียวของโลหะผสมลดลง

4. ใช้หลักสูญญากาศ (vacuum treatment) เพื่อดึงเอาแก๊ส H_2 และ O_2 หรือแก๊สอื่นๆ ออกไปแต่ในทางปฏิบัติเกี่ยวกับทองเหลือง (Brass) บรอนซ์ (Bronze) จะใช้ไม่ค่อยได้ผลดี เพราะ นอกจากอุปกรณ์ที่ใช้จะมีราคาแพงแล้ว จะมีการสูญเสียธาตุผสมบางตัวที่ระเหยได้ง่าย เช่น สังกะสี และตะกั่ว ซึ่งจะทำให้ส่วนผสมของโลหะผสมผิดไป

2.4.7 ระบบรูเทและรูล้น (Gate & Risering System)

เนื่องจากโลหะผสมทองแดงและโลหะผสมอะลูมิเนียมมีลักษณะการแข็งตัวที่แตกต่างกันเป็น 2 ลักษณะ คือ มีลักษณะการแข็งตัวช่วงสั้น (narrow range solidification) และช่วงการแข็งตัวยาว (long range solidification) ในทางปฏิบัติจึงแยกโลหะผสมออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มที่มีช่วงการแข็งตัวสั้น ได้แก่

โลหะทองแดงบริสุทธิ์

ทองแดง - โครเมียม ทองแดง - เทลลูเลียม

ทองแดง - แคดเมียม ทองแดง - เบอร์ลิเลียม

โลหะผสม

แมงกานีส - บรอนซ์ อะลูมิเนียม - บรอนซ์

ซิลิกอน - บรอนซ์ นิกเกิล - บรอนซ์

ทองเหลือง (25-40% Zn)

2. กลุ่มที่มีช่วงการแข็งตัวยาว ได้แก่

บรอนซ์ตีบุก ทองเหลือง (7-15% Zn)

บรอนซ์ตะกั่ว

2.4.7.1 การออกแบบระบบรูเท

มีหลักการพิจารณาเช่นเดียวกับเหล็กกล้าและเหล็กหล่อ แต่เนื่องจากโลหะผสมทองแดงเป็นโลหะผสมที่ไวต่อการดูดทั้งแก๊สและอากาศ ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของงานหล่อ ดังนั้นการออกแบบรูเทจะต้องพยายามไม่ให้เกิดการดูดแก๊สและอากาศในระบบรูเท ต้องทำรูเทเป็นเทปเปอร์ (Taper Sprue) และต้องพยายามให้เกิดการไหลวน (Turbulence) น้อยที่สุด การตัดทางวิ่งให้มีลักษณะการเกิดไหลวน เช่นการเปลี่ยนทิศทางหรือเปลี่ยนขนาดของทางวิ่งจะมีผลต่อคุณภาพของงานหล่อ ในทางปฏิบัติจะใช้ระบบรูเทและทางวิ่งของน้ำโลหะเป็นระบบไม่มีความดัน (non pressure rised) คือมีอัตราส่วนของฐานรูเท (bottom of tapered sprue) :พื้นที่ทางวิ่ง (runner): พื้นที่ของทางเข้า (gates): เท่ากับประมาณ 1:2:2

2.4.7.2 การใช้ Chokes

คือลักษณะการทำทางวิ่ง ให้คอดบริเวณที่ใกล้กับฐานของรูเท ทั้งนี้ก็เพื่อช่วยให้อัตราการไหลของโลหะหลอมเหลวจากรูเทไปยังทางวิ่ง และทางเข้า ถูกกั้นไว้ เป็นการควบคุมการไหลของโลหะหลอมเหลวในระบบทางวิ่ง ทำให้โลหะในรูเทจะเต็มอยู่ตลอดเวลาเพื่อช่วยให้เศษแสลกที่ติดมาลอยตัว ไม่อาจลอยเข้าไปในแบบหล่อได้ ทำให้โลหะที่ไหลเข้าแบบสะอาด แต่การติด chokes จะทำให้เกิดการไหลอลวนบริเวณ chokes ขึ้นได้ ดังนั้นการจึงต้องทำ chokes ให้ติดกับฐานรูเท เพื่อให้การไหลวนหมดไปเมื่อโลหะไหลไปถึงทางเข้าแบบหล่อในทางปฏิบัติจะทำให้พื้นที่ตรงบริเวณ chokes โตไม่เกิน 3/4 ของพื้นที่รูเท

2.4.7.3 การใช้ Screen และ Strainer

เพื่อความประสงค์ให้งานหล่อมีคุณภาพสูง ไม่มีเศษสแลกติดฝังอยู่ในเนื้องาน หล่อนิยมใช้ Screen ที่ทำด้วยใยแก้ว โลหะทนความร้อน ไมก้า หรือใช้วัสดุทนความร้อนซึ่งจะเรียกว่า Strainer วางไว้ตรงตำแหน่งที่ทางเข้าตัดกับทางวิ่ง เพื่อทำหน้าที่กันไม่ให้เศษสแลกหลุกติดเข้าไปยังบริเวณช่องแบบทราย ถ้าการออกแบบระบบทางวิ่งและรูเทกระทำได้ผลดี การใช้ Screen และ Strainer จะไม่มีความจำเป็นเพราะจะทำให้ราคาของงานหล่อเพิ่มขึ้น

2.4.7.4 การออกแบบรูล้น (Riser)

ไม่ว่าโลหะผสมจะมีการแข็งตัวในลักษณะใด เพื่อให้ชิ้นงานหล่อมีคุณภาพปราศจากรูพรุน อันเกิดมาจากการหดตัวของโลหะ จำเป็นอย่างยิ่งที่มีต้องให้ชิ้นงานหล่อมีการแข็งตัวอย่างมีทิศทาง คือจากบริเวณของชิ้นงานไปยังตำแหน่งของไรเซอร์ หรือฟีดเดอร์ ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถที่จะกระทำได้โดยการติดไรเซอร์ให้มีขนาดพอเหมาะและการใช้ซีลเข้าช่วยในบางตำแหน่งที่ไม่สามารถจะติดไรเซอร์ได้สะดวก

สำหรับโลหะผสมทองแดงในกลุ่มที่หนึ่ง ไม่สู้จะมีข้อยุ่งยากประการใด เพราะการแข็งตัวของโลหะจะเริ่มจากผิวเข้าสู่ใจกลาง การคำนวณขนาดของไรเซอร์ จะใช้สูตรจากค่าโมดูลัสของการเย็นตัวของไรเซอร์โตกว่าของงานหล่อประมาณ 1.1 - 1.2 เท่า ซึ่งน้อยกว่าเหล็กกล้า ทั้งนี้เพราะอัตราการหดตัวต่ำกว่าเล็กน้อย

สำหรับโลหะผสมที่อยู่ในกลุ่มที่สอง ซึ่งการแข็งตัวจะมีลักษณะข้นเหนียว จะมีข้อยุ่งยากอยู่บ้างสำหรับโลหะจากไรเซอร์ไปยังจุดที่จะเกิดการหดตัว ทั้งนี้เพราะโลหะที่แข็งตัวเป็นผลึกจะกระจัดกระจายไปทั่ว จะขัดขวางการไหลของโลหะที่ยังไม่แข็งตัว ทำให้เกิดปัญหารูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นตามตำแหน่งที่อยู่ไกล งานหล่อในสภาพเช่นนี้จะสูญเสียคุณสมบัติเชิงกล และถ้าเป็นกรณีที่ต้องใช้งานกับความดันสูงจะเกิดรูรั่วได้ เพราะรูเล็กๆ (Micro Porosity) ที่กล่าวถึงนี้จะต่อเนื่องกันตามช่องว่างระหว่างเกรน ที่เกิดอยู่เสมอจะได้กับโลหะประเภท Gun Metal ในทางปฏิบัติเพื่อขจัดปัญหานี้ให้ลดน้อยจะต้องใช้ซีลช่วยบังคับให้เกิดการแข็งตัว เกิดลักษณะที่เป็นทิศทางอย่างชนิดที่เรียกว่า แรงกว่าประเภทแรก (Large thermal gradient and progressive) โดยการใช้ซีลที่เป็นลักษณะ Tapered

กล่าวโดยสรุป ในการกำหนดขนาดของรูล้นทั้งโลหะผสมทองแดงเส้นผ่าศูนย์กลางของไรเซอร์ควรจะโตกว่าความหนาหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของส่วนที่จะแก้การหดตัวประมาณ 15-20% ความสูงของไรเซอร์ควรจะอยู่ระหว่าง 1.5-0.5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของไรเซอร์

2.4.8 หัวข้อปฏิบัติสำหรับงานหล่อโลหะผสมทองแดง

เนื่องจากโลหะผสมทองแดงสำหรับงานหล่อมีมากมายหลายประเภท โดยเฉพาะส่วนผสมของโลหะผสมที่แตกต่างกันออกไป ทำให้คุณสมบัติด้านหลอมหล่อ มีลักษณะพิเศษแต่ละโลหะผสม ดังนั้นการที่จะกำหนดหลักในการปฏิบัติในลักษณะรวมๆ กันไปจะทำให้ไม่ประสบผลดีในด้านปฏิบัติ แต่จะกล่าวโดยละเอียดในที่นี้เป็นการยาก ทางที่ดีควรต้องศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมจากหนังสือคู่มือการปฏิบัติเป็นการเฉพาะแต่ละกรณีจะเป็นการดีที่สุด แต่เพื่อให้เป็นทางในการปฏิบัติงานด้านหล่อหลอมโลหะผสมทองแดง จึงนำหัวข้อที่ควรปฏิบัติสำหรับงานหล่อที่สำคัญมากล่าวไว้พอสังเขปดังนี้

โลหะผสมทองแดง-สังกะสี (Copper-Zinc Alloys) ทั่วไปถ้าผสมสังกะสีน้อยกว่า 20% จะเรียกว่า Gliding metal หมายถึงโลหะที่มีสีทองใช้ทำเหรียญกษาปณ์ และเมื่อผสมสังกะสีเกินกว่า 20% จะจัดกลุ่มเรียกว่า ทองเหลือง (Brasses) ซึ่งจะจำแนกออกไปได้อีกหลายชนิดตามลักษณะของส่วนผสมและสีที่เปลี่ยนไปดังเช่น Red brass,yellow brass silicon brass เป็นต้น เมื่อเพิ่มปริมาณของสังกะสีขึ้นไป สังกะสีจะมีผลทำให้ความแข็งแรง (Strength) และความแข็ง

(Hardness) เพิ่มขึ้นแต่ความเหนียว (%Elongation) จะลดลงตามปริมาณของสังกะสีที่เพิ่มขึ้น ทางด้านโครงสร้างจุลภาค เช่นเดียวกันจะมีการเปลี่ยนแปลง สังกะสีสามารถละลายได้มากที่สุดในทองแดงและให้เฟสแอลฟา (α) ที่ปริมาณสังกะสี 33.7% เมื่อปริมาณสังกะสีเพิ่มขึ้นจะปรากฏเฟสเบต้า (β) เป็นเฟสที่สอง และเมื่อปริมาณสังกะสีผสมในทองแดงสูงถึง 46% โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสม จะปรากฏเฟส β ชนิดเดียว ช่วงที่จะปรากฏเฟส β เพียงเฟสเดียว จะอยู่ระหว่าง 46-51% ถ้าเพิ่มสังกะสีขึ้นเป็น 51% จะเกิดเฟสแกมมา (γ) ซึ่งเป็นเฟสเดียวที่มีความแข็งสูง เปราะแตกง่าย ซึ่งจะไม่นำมาใช้ในงานอุตสาหกรรม ถ้าโลหะผสมมีปริมาณสังกะสีสูงเกินกว่า 50% จะมีใช้บ้างในงานบัดกรี (Brazing) โลหะผสมทองแดง-สังกะสีอาจจะถูกจำแนกประเภทตามลักษณะโครงสร้างจุลภาคได้ตามปริมาณสังกะสี เช่น ทองเหลืองα ผสมสังกะสีต่ำกว่า 34% ทองเหลือง α- β ผสมสังกะสีระหว่าง 34-36% และทองเหลือง γ ผสมสังกะสี 46-51%

2.4.8.1 เทคนิคการหลอมหล่อ

การหลอมโลหะผสมทองแดง-สังกะสี นิยมใช้เตาหลอมประเภท Crucible ซึ่งใช้เชื้อเพลิงทั้งน้ำมันและแก๊ส ถ้าเป็นการหลอมจำนวนมากจะใช้เตาไฟฟ้ากระแสเหนี่ยวนำ อุณหภูมิหลอมเหลวของโลหะผสมจะอยู่สูงกว่าจุดกลายเป็นไอของสังกะสี (913°C) ดังนั้นความดันไอของสังกะสีจะช่วยป้องกันการละลายของแก๊สไฮโดรเจนได้ดี การควบคุมบรรยากาศของเตาหลอม จึงมีความสำคัญน้อยลง แต่ถ้าเป็นเตาที่ใช้น้ำมันหรือแก๊สจะควบคุมการเผาไหม้ให้เป็นกลางหรือรีดิวซิ่งเล็กน้อย แต่ไม่ควรควบคุมให้การเผาไหม้เป็นบรรยากาศออกซิไดซิง คือมีออกซิเจนมากเกินไปจะทำให้มีการสูญเสียสังกะสีมาก ควรใช้ฟลักซ์ใส่คลุมผิวหน้าของโลหะผสมหลอมเหลวไว้ ฟลักซ์ที่ใช้จะเป็นพวกบอแรกซ์ผสมกับฟลูออไรท์ ฟลักซ์จะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวป้องกันไม่ให้สังกะสีหนีออกและรวมตัวกับออกซเจนเป็นออกไซด์

การหลอมจะต้องทำให้เร็ว และไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไป เพราะถ้าการหลอมใช้เวลานานจะทำให้มีการสูญเสียสังกะสีมาก เมื่ออุณหภูมิถึงจุดที่ต้องการแล้วจะเติมสังกะสีลงไปอีกประมาณ 1% เพื่อชดเชยจากการสูญเสีย จากนั้นไล่ก๊าซออกซิเจนจากการหลอมเหลวด้วยทองแดง-ฟอสฟอรัสหรือ ทองแดงฟอสไฟด์ประมาณ 0.2% จะทำให้โลหะหลอมเหลวมีคุณสมบัติด้านการหล่อดีขึ้น เหมาะสำหรับงานที่บางมากๆ และช่วยให้อินคลัสชั่นลอยตัวเป็นตระกรันได้ง่ายขึ้น

2.4.8.2 การทำแบบทราย (Molding practice)

โลหะผสมทองแดง-สังกะสี จะหดตัวในสภาพของแข็ง (Solid contraction) ประมาณ 1.3% การทำแบบหล่อ (pattern) จะต้องเผื่อการหดตัวด้วย และการหดตัวในสภาพหลอมเหลว (Liquid shrinkage) อยู่ระหว่าง 6-7% โดยปริมาตร

งานหล่อโลหะผสมทองแดง-สังกะสี สามารถใช้ทรายแบบได้ทั้งประเภทชื้น(green) และประเภทแห้ง (dry sand) แต่นิยมใช้ทรายแบบประเภทแห้งเฉพาะงานหล่อขนาดใหญ่ คุณสมบัติของทรายแบบ จากหนังสือ Copper-base alloys foundry practice ของ A.F.S. กำหนดคุณสมบัติไว้เป็นพอเป็นแนวทาง ดังนี้

ความละเอียดของเม็ดทราย A.F.S No	75-180
ปริมาณดินเหนียว (Clay content)%	5-20
ความโปร่งอากาศ (Permeability)	10-60
ความต้านทานแรงอัด(Green compressive strength)psi	7-18(0.5-1.3 kg/cm^2)
ปริมาณความชื้น (Moisture content) %	3-7

การออกแบบทางวิ่ง (Gates & Runner) โลหะผสมทองแดง-สังกะสีจะมีปัญหาเรื่องการเป็นไอหนีไปของสังกะสีในขณะโลหะหลอมเหลวไหลเข้าโพลงแบบ ดังนั้นจะต้องเทโลหะให้เต็มโพรงแบบในเวลาสั้น ทางวิ่งจึงควรออกแบบให้มีขนาดโต และจะต้องทำให้การไหลของน้ำโลหะไม่เกิดการไหลอลวนรุนแรง (Excessive turbulence) ระบบการระบายแก๊สบริเวณปลายสุดของโพลงแบบมีความสำคัญเพื่อไม่ให้เกิดการดันกลับ (back pressure) เพื่อให้โลหะหลอมเหลวไหลเข้าโพรงแบบได้ดี นอกจากนี้จะต้องเพิ่มส่วนปลายของทางวิ่ง (Extrusion) เพื่อให้เศษทรายและพวกออกไซด์ไปรวมตัวกันบริเวณปลายสุดของทางวิ่ง งานหล่อจึงจะปลอดจากอินคลัสชั่น และมีคุณภาพผิวเรียบ การใช้สีทาแบบ (coating) จะช่วยเพิ่มคุณภาพของผิวงานหล่อ โดยไม่ต้องใช้ทรายผิวแบบ (Facing sand) เข้าช่วย