

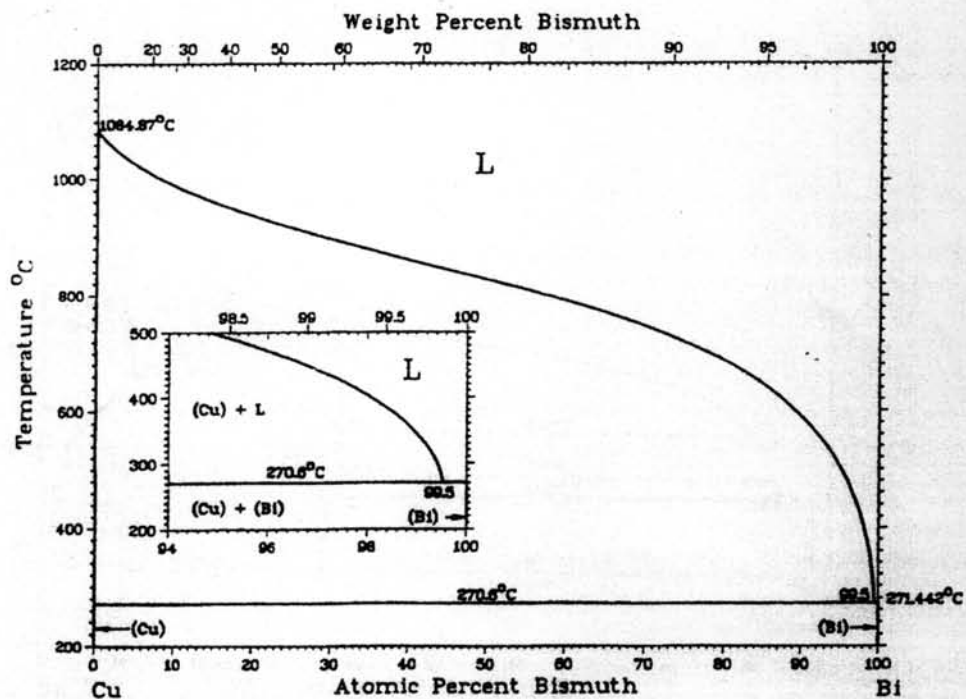
บทที่ 2

การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

2.1 ธาตุบิสมัท²

เลขอะตอม	83
มวลอะตอม	208.9804 g.mol ⁻¹
ความหนาแน่น	9.8 g.cm ⁻³
จุดหลอมเหลว	271 °C
จุดเดือด	1420 °C
สัมประสิทธิ์การขยายตัว	13.45 C ⁻¹

ธาตุบิสมัทนั้นถูกนำไปใช้ในงานหลายด้านเช่น เมื่อนำไปผสมในโลหะอื่นนั้นจะทำให้โลหะมีค่าความสามารถในการกลึง, ไส, กัด, เจาะ (machinability) ที่ดีขึ้นอันเนื่องมาจากธาตุ บิสมัท มีความสามารถเป็น สารหล่อลื่นของแข็ง จากรูปที่ 2.1 แสดงแผนภูมิสมมูลของ Cu-Bi จะเห็นได้ว่าเป็นปฏิกิริยาแบบ eutectic ซึ่งเมื่อสิ้นสุดการแข็งตัวเราจะได้เฟสของบิสมัทบริสุทธิ์อยู่ที่ขอบเกรนของทองแดง ซึ่งทำหน้าที่เป็น สารหล่อลื่นของแข็ง

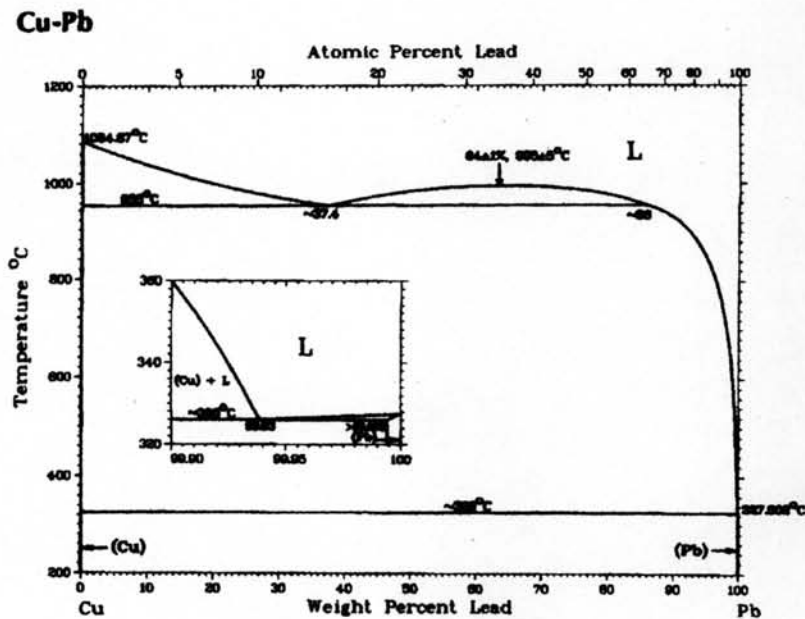


รูปที่ 2.1 แสดงแผนภูมิสมมูลระบบ ทองแดง - บิสมัท³

2.2 ธาตุตะกั่ว²

เลขอะตอม	82
มวลอะตอม	207.2 g.mol ⁻¹
ความหนาแน่น	11.34 g.cm ⁻³ 20°C
จุดหลอมเหลว	327 °C
จุดเดือด	1755 °C
สัมประสิทธิ์การขยายตัว	28.9 C ⁻¹

ตะกั่วถูกนำไปใช้ในงานหลายด้านเช่น เมื่อนำไปผสมในโลหะต่างนั้นจะทำให้โลหะมีค่าความสามารถในการกลึง, โส, กัด, เจาะ ที่ดีขึ้นอันเนื่องมาจากธาตุ ตะกั่ว มีความสามารถเป็น สารหล่อลื่นของแข็ง หรือมักจะถูกนำไปทำ สารบัดกรี เนื่องจาก มีจุดหลอมเหลวต่ำ แต่ปัจจุบันธาตุ ตะกั่วถูกจัดว่าเป็นสารพิษต่อร่างกายมนุษย์ทำให้เกิดความพยายามที่จะลดปริมาณหรือไม่ใช้ธาตุ ตะกั่วในสิ่งของเครื่องใช้ที่มนุษย์ใช้สำหรับการอุปโภคบริโภคซึ่งธาตุตะกั่วจะสามารถผ่านเข้าสู่ร่างกายได้ รูปที่ 2.2 แสดงแผนภูมิสมมูลของ Cu-Pb จะเห็นได้ว่า เป็นปฏิกิริยาแบบ monotectic ต่อด้วย eutectic ซึ่งเมื่อสิ้นสุดการแข็งตัวจะเกิดธาตุตะกั่วบริสุทธิ์ตามขอบเกรนของทองแดง ที่จะทำหน้าที่สารหล่อลื่นของแข็ง



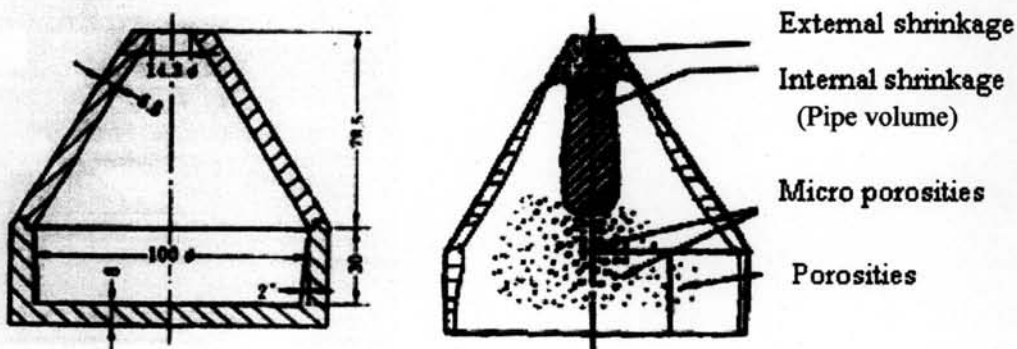
รูปที่ 2.2 แสดงแผนภูมิสมมูลระบบ ทองแดง - ตะกั่ว⁴

2.3 พฤติกรรมการหดตัวของวัสดุ (Shrinkage Behavior)

การหดตัวที่เกิดขึ้นในการแข็งตัวของน้ำโลหะจะแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ

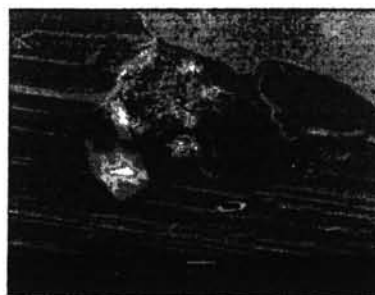
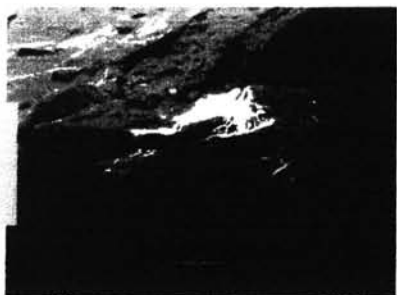
- 1) การหดตัวของโลหะหลอมเหลวขณะหล่อเหลวเย็นตัวลง ซึ่งไม่ส่งผลกระทบกับคุณภาพงานหล่อ
- 2) การหดตัวของน้ำโลหะในช่วงเกิดการแข็งตัว ช่วงนี้ของเหลวจะเริ่มจับตัวกันเป็นของแข็งซึ่งทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในเนื้อโลหะซึ่งแข็งตัวเป็นส่วนสุดท้ายซึ่งเกิดเป็นสองลักษณะคือ การหดตัวภายในและ รูพรุน (Internal shrinkage and Porosity) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง และการหดตัวภายนอก (External shrinkage) ซึ่งมีผลต่อคุณภาพการผลิตในการผลิตงานหล่อ
- 3) การหดตัวภายนอก (External Shrinkage) เกิดจากการหดตัวของโลหะแข็งตัวเมื่ออุณหภูมิลดลงซึ่งในการผลิตงานหล่อ เราจะใช้วิธีการเพิ่มขนาดชิ้นงานหล่อเมื่อการหดตัว

การเย็นตัวในช่วงที่หนึ่งและสามเป็นช่วงที่ไม่สำคัญมากนักสามารถแก้ไขจนยอมรับได้ ในช่วงที่สองนั้นจะมีผลสำคัญต่อกระบวนการผลิตอย่างมาก เราสามารถศึกษาการหดตัวในช่วงนี้ได้โดยใช้ Tatur mold ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการจำแนกการหดตัวใน แบบหล่อแบบ Tatur⁵

Surface section



Cross section



รูปที่ 2.5 แสดงการกระจายตัวของสารตะกั่วบนพื้นผิวของวัสดุ ก่อนและหลังการทำกรรมวิธีแบบ PLSC⁶

2.4.1 การนำธาตุอื่นมาผสมแทนการใช้ ธาตุตะกั่ว

ปัจจัยที่เราเติม ธาตุตะกั่วลงในโลหะทองแดงผสมนั้นเพื่อการเพิ่มคุณสมบัติการกลึง ไส้กัดเจาะ ดังนั้นแนวคิดพื้นฐานคือการหาธาตุอื่นมาทดแทนโดยธาตุดังกล่าวต้องมีคุณสมบัติ คล้ายกับธาตุตะกั่ว เช่น Bi, Se เป็นต้น ซึ่งได้มีการคิดค้นทดลองและจัดเป็นสิทธิบัตรต่าง โดยมี กลุ่มหลักๆ ดังนี้

1. กลุ่มที่ผสมธาตุ Bi เช่น Joy alloy , C89320
2. กลุ่มที่ผสมธาตุ Bi - Se เช่น Safe – alloy , Keepalloy , C89520
4. กลุ่มที่ผสมธาตุ Si เช่น Ecobrass

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของโลหะทองแดงผสมที่ไร้สารตะกั่ว⁶

Alloy	Composition								
	Cu	Sn	Zn	Bi	Se	Pb	Sb	Si	P
Joy alloy	82-87	3.5-5.5	5-9	1.5-4		<0.2	<0.25		
Safe alloy	85-89	4-6	4-7	1.5-3	0.1-0.3	<0.25	<0.2		
Keep alloy	84-89	3.5-6	4-9	0.8-2.5	0.1-0.95	<0.2			
Aquabronze	Rem.	3-6	5-9	1.5-6		<0.2	<0.25		
Ecobrass	74-78		Rem.			<0.1		2.7-3.4	0.01

ตารางที่ 2.2 แสดงส่วนผสมทางเคมีของโลหะทองแดงผสมที่ไร้สารตะกั่ว ในระบบ ASTM⁶

Copper Alloy No.		C89320	C89325	C89510	C89520	C89831	C89833	C89835	C89837	C89844	C89940	C89550	C87850	
Element	Cu	87-91	84-88	86-88	85-87	87-91	87-91	85-89	84-88	83-86	64-68	58-64	74-78	
	Sn	5-7	9-11	4-6	5-6	2.7-3.7	4-6	6-7.5	3-4	3-5	3-5	1.2	.3	
	Pb	.09	.10	.25	.25	.10	.10	.10	.10	.20	.01	.10	.10	
	Zn	1	1	4-6	4-6	2-4	2-4	2-4	6-10	7-10	3-5	32-38	Rem.	
	Fe	.2	.15	.2	.2	.3	.3	.2	.3	.3	.7-2	.5	.10	
	Sb	.35	.5	.25	.25	.25	.25	.35	.25	.25	.25	.10	.05	.10
	Ni	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	20-23	1.0	.10
	P	.3	.10	.05	.05	.05	.05	.01	.05	.05	.1-1.15	.01	.05-2	
	Bi	4-6	2.7-3.7	.5-1.5	1.6-2.2	2.7-3.7	1.7-2.7	1.7-2.7	.7-1.2	2-4	4-4.5	.6-1.2	-	
	Se	-	-	.35-.75	.8-1.1	-	-	-	-	-	-	.01-1.0	-	
	S	.08	.08	.08	.08	.08	.08	.08	.08	.08	.08	.05	.05	-
	Al	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.1-6	-
	Si	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.15	.25	2.7-3.4

จากงานวิจัยของ L.V Whiting⁷ และคณะ ได้ทำการศึกษากลกระทบบของการเติม Bi และ Se กับการไหลของน้ำโลหะ โดยมีส่วนประกอบทางเคมีดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงส่วนผสมทางเคมีของโลหะทองแดงผสม

Alloy	Cu	Sn	Zn	P	Bi	Se
0Bi-0Se	89.8	4.8	5.4	0.014	-	-
2Bi	88.8	4.7	4.5	<0.006	1.98	-
0.9Se	91.4	4.8	4.0	0.012	-	0.81
1Bi-1Se	88.1	4.9	4.9	0.015	1.10	1.00
1.5Bi-1Se	88.4	5.0	4.0	0.018	1.58	1.02
2Bi-1Se	87.4	4.8	4.7	0.010	2.03	0.93
2.5Bi-1Se	87.9	4.8	3.9	0.014	2.44	1.00

ทำการทดลองที่ 1175 °C พบว่าคุณสมบัติการไหลตัวของน้ำโลหะ ไม่ได้รับผลกระทบจากการเติมธาตุ Bi และ Se

จากงานวิจัยของ L.V Whiting⁸ และคณะ ได้แสดงผลของการเติม Bi ลงใน C83600 ซึ่งพบว่าเพียงเติม บิสมาท 1% ทำให้ ค่าความเค้นแรงดึง ลดลงจาก 262 ไปเป็น 224 MPa

จากงานวิจัยของ M. Sadayappa⁹ และคณะ ได้มีการนำเสนอโลหะทองแดงผสมไร้ธาตุตะกั่ว ที่มีส่วนผสมดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงส่วนผสมทางเคมี ของโลหะทองแดงผสมไร้ธาตุตะกั่ว⁹

Element	EnviroBrass I	EnviroBrass II	EnviroBrass III
Zn	4-6	4-6	32-38
Sn	4-6	5-6	0-1.2
Bi	0.5-1.5	1.6-2.2	0.6-1.2
Se	0.35-0.75	0.8-1.1	0.01-0.1
Fe	0.2 max.	0.2 max.	0.5 max.
Pb	0.25 max.	0.25 max.	0.1 max.
Ni	1.0 max.	1.0 max.	1.0 max.
Other	Sb-0.25 max. P-0.05 max.	Sb-0.25 max. P-0.05 max.	Al-0.1-0.6

และได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลได้ค่าดังตารางที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า เมื่อนำมาเทียบกับค่า มาตรฐาน JIS สำหรับ CAC406 (C83600) ที่กำหนด ค่าความเค้นแรงดึง ≥ 195 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว $\geq 15\%$ ก็ จะเห็นได้ว่า ไม่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติทางกลของโลหะทองแดงไร้ธาตุตะกั่ว⁹

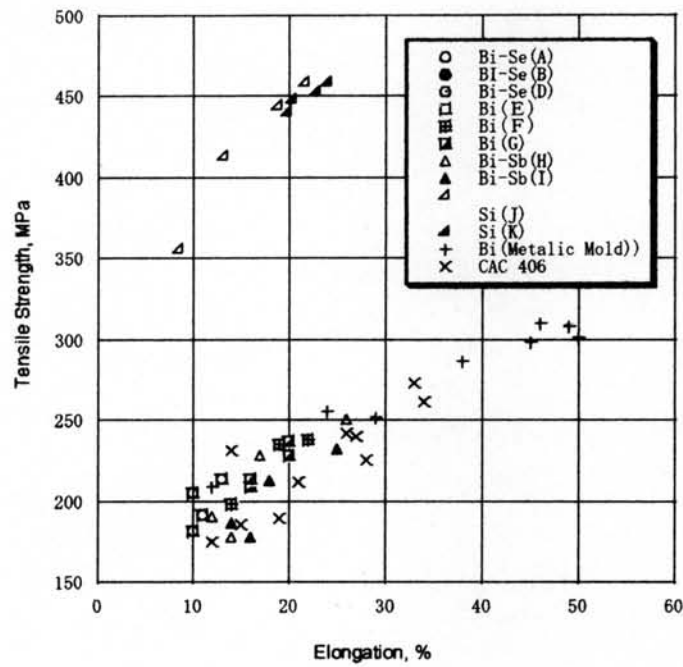
Alloy	UTS (MPa)	0.5% YS (MPa)	Elongation (%)
EnviroBrass I (C89510)	209	136	12
EnviroBrass II (C89520)	210	146	10
EnviroBrass III (C89550)	330	200	8
C83600	255	117	30
C84400	234	103	26
C85800 (typical)	330	192	9

จากการรายงานวิจัย T. Okane⁶ และคณะ แสดงส่วนผสมทางเคมี และกรรมวิธีการผลิตดังตารางที่ 2.6 ให้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 2.6 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าทดสอบแรงดึง และ ค่าการยืดตัวของโลหะผสมทองแดงแบบไม่เจือธาตุตะกั่ว จะเห็นว่า โลหะผสมทองแดงแบบไม่เจือธาตุตะกั่ว แบบที่เติม Bi นั้น มีบางส่วนที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน JIS ของโลหะทองแดงผสม CAC406 และค่าที่ได้มีการกระจายสูงเนื่องจากถูกทดลองในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน และในรูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถไหล (Fluidity) กับอุณหภูมิที่ใช้เทน้ำโลหะ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโลหะทองแดงผสมมีความสามารถไหลใกล้เคียงกับ CAC406

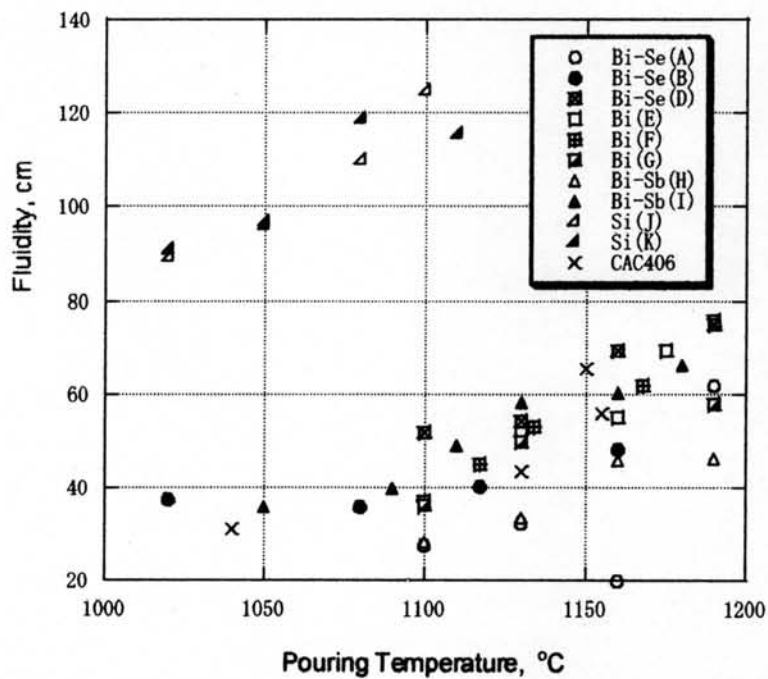
ตารางที่ 2.6 ตารางแสดงส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานโลหะทองแดงผสมและกรรมวิธีการผลิต¹

Sample Name	alloy	furnace	melting weight kg	pouring temp. °C	melting time Min	phosphorus copper added %	Cu %	Sn %	Zn %	Se %	Bi %	Pb %	Sb %	P %
A	Bi-Se	500kg oil Furnace	200	1300	60	0.25	87.95	4.74	4.10	0.99	1.90	0.02	Tr.	0.036
B	Bi-Se	450kg gas Furnace	200	1230	90	0.225	88.11	4.28	5.12	0.16	2.12	0.06	Tr.	0.035
D	Bi-Se	15kg induction furnace (3KH ₂)	12	1250	30-45	0.25	86.03	5.42	4.90	0.90	2.14	0.09	Tr.	0.025
E	Bi	50kg gas Furnace	40	1240	70	0.2	86.15	4.29	7.15	Tr.	2.08	0.03	Tr.	0.02
E	Bi	50kg gas Furnace	40	1240	70	0.2	86.01	4.32	7.35	Tr.	1.98	0.03	Tr.	0.022
E	Bi	50kg gas Furnace	45	1240	70	0.2	86.29	4.25	7.15	Tr.	1.97	0.04	Tr.	0.017
F	Bi	850kg induction furnace (300H ₂)	500	1210	45	0.2	85.42	4.07	7.61	Tr.	2.61	0.03	Tr.	0.0095
G	Bi	250kg oil Furnace	200	1210			rem.	4.63	7.60		2.42	0.08	0.008	0.016
H	Bi-Sb	600kg induction furnace (500H ₂)	450	1230	45	0.2	86.89	4.35	5.28	Tr.	3.19	0.03	0.21	0.0305
I	Bi	100kg induction furnace (3KH ₂)	100	1250	60	0.5	85.58	4.35	6.62	Tr.	3.34	0.02	Tr.	0.059
J	Si	450kg gas Furnace	200	1130	60	-	76.31	0.03	rem.	<0.01	<0.01	0.04	0.02	0.09
K	Si	100kg gas Furnace	100	1140	50	-	75.69	0.02	rem.	<0.01	<0.01	0.03	0.02	0.10

Tr. : Se, Bi&Sb <0.01%



รูปที่ 2.6 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าทดสอบแรงดึงและ ค่าการยืดตัวของโลหะผสมทองแดง แบบไม่เจือธาตุดตะกั่ว¹



รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถไหล (Fluidity) กับอุณหภูมิที่ใช้เทน้ำโลหะ (Pouring Temperature)¹

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นทำให้เราทราบว่าบิสมัทมีผลทำให้คุณสมบัติทางกลลดลง และเพิ่มค่าความสามารถการกลึงได้กัดเจาะ รวมไปถึงคุณสมบัติการไหลตัวของน้ำโลหะที่ใกล้เคียงกับโลหะทองแดงผสมเกรด CAC406 ที่ผลิตอยู่ในสายการผลิต ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะถูกนำมาผลิตเพื่อทดแทน โลหะทองแดงผสมเกรด CAC406 เดิม แต่จากข้อมูลเบื้องต้นที่ได้ศึกษามาเราจะพบว่าข้อมูลที่ได้นั้น มาจากหลายแหล่งในแต่ละช่วงของการเติมบิสมัท รวมถึงกระบวนการหล่อหลอมที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้ข้อมูลที่ได้มีค่ากระจัดกระจาย