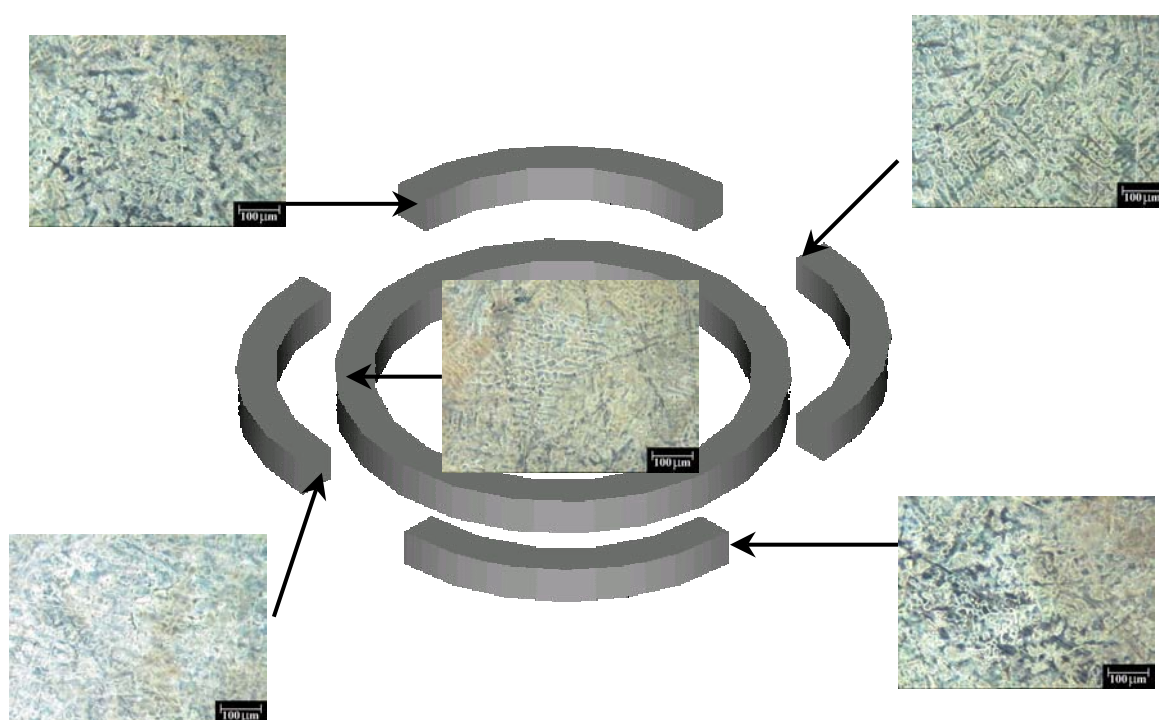


2.8.3 จุลโครงสร้างที่ได้จากการทดลองที่อัตราส่วนผสมต่างๆและอุณหภูมิน้ำโลหะก่อน เหวี่ยงทำการหล่อเหวี่ยงขึ้นรูป

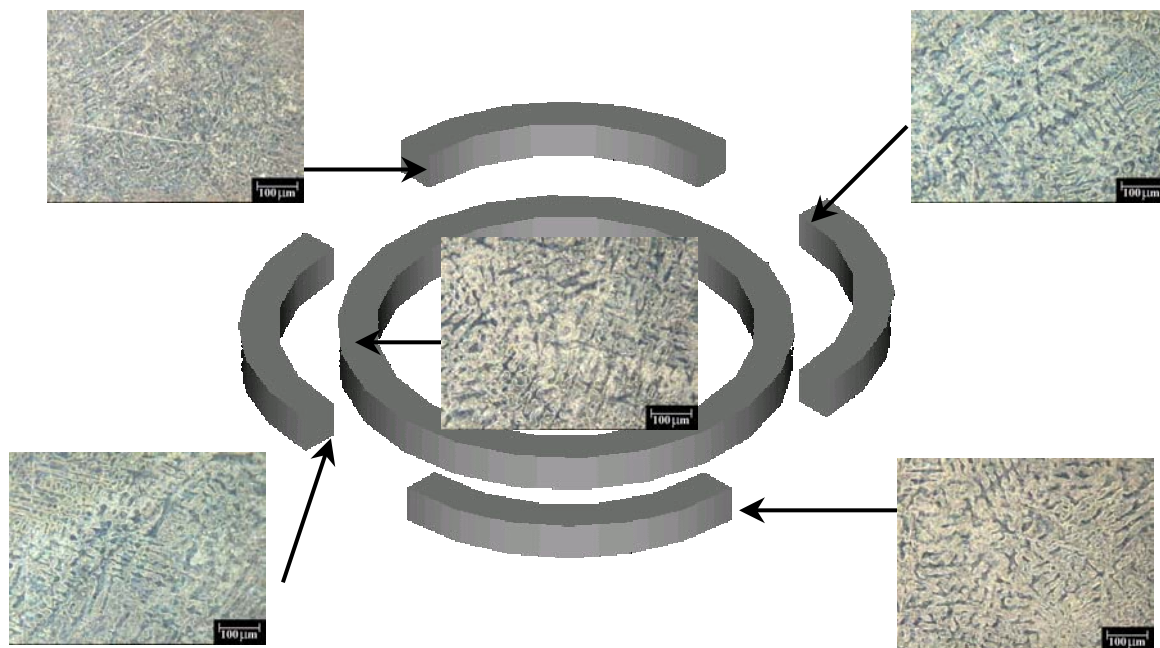
ตัวอย่างชิ้นงานเพื่อหาสิ่งบกพร่องภายในและโครงสร้างจุลภาคที่ได้จากการศึกษาวิเคราะห์ที่คัดมาจาก 9 เบ้าหล่อ เบ้าละ 3 ชิ้น ในผลการดำเนินงานนี้จะแสดงให้เห็นเพียง เบ้าละ 1 ชิ้นงาน โดยจะแสดงความแตกต่างของค่าตัวแปรส่วนผสมของอินเดียมในโลหะเงินและอุณหภูมิน้ำโลหะก่อนเหวี่ยงดังต่อไปนี้

2.8.3.1 ส่วนผสม 0.482In 0.959Zn 5.086Cu 93.459Ag ที่อุณหภูมิน้ำโลหะก่อนเหวี่ยง 850°C ดังภาพที่ 1-134



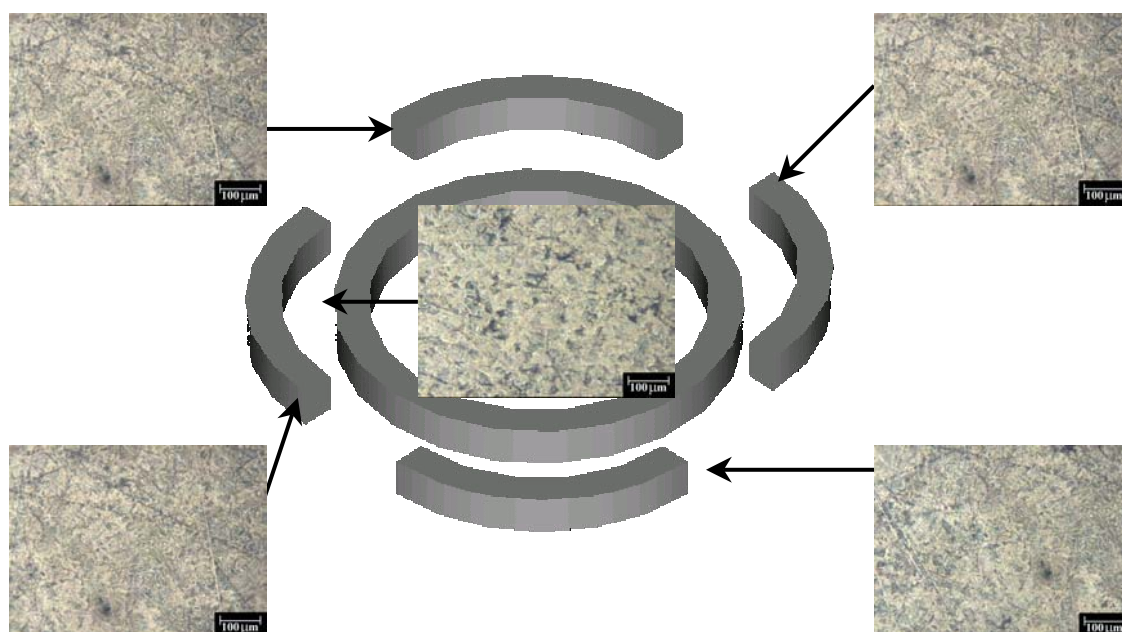
ภาพที่ 1-134 จุลโครงสร้าง 0.482In 0.959Zn 5.086Cu 93.459Ag ที่อุณหภูมิน้ำโลหะก่อนเหวี่ยง 850°C

2.8.3.2 ส่วนผสม 0.482In 0.959Zn 5.086Cu 93.459Ag ที่อุณหภูมิน้ำโลหะก่อนเหวี่ยง 900°C ดังภาพที่ 1-135



ภาพที่ 1-135 จุลโครงสร้าง 0.482In 0.959Zn 5.086Cu 93.459Ag ที่อุณหภูมิน้ำโลหะก่อนเหวี่ยง 900°C

2.8.3.3 ส่วนผสม 0.482In 0.959Zn 5.086Cu 93.459Ag ที่อุณหภูมิน้ำโลหะก่อนเหวี่ยง 950°C ดังภาพที่ 1-136

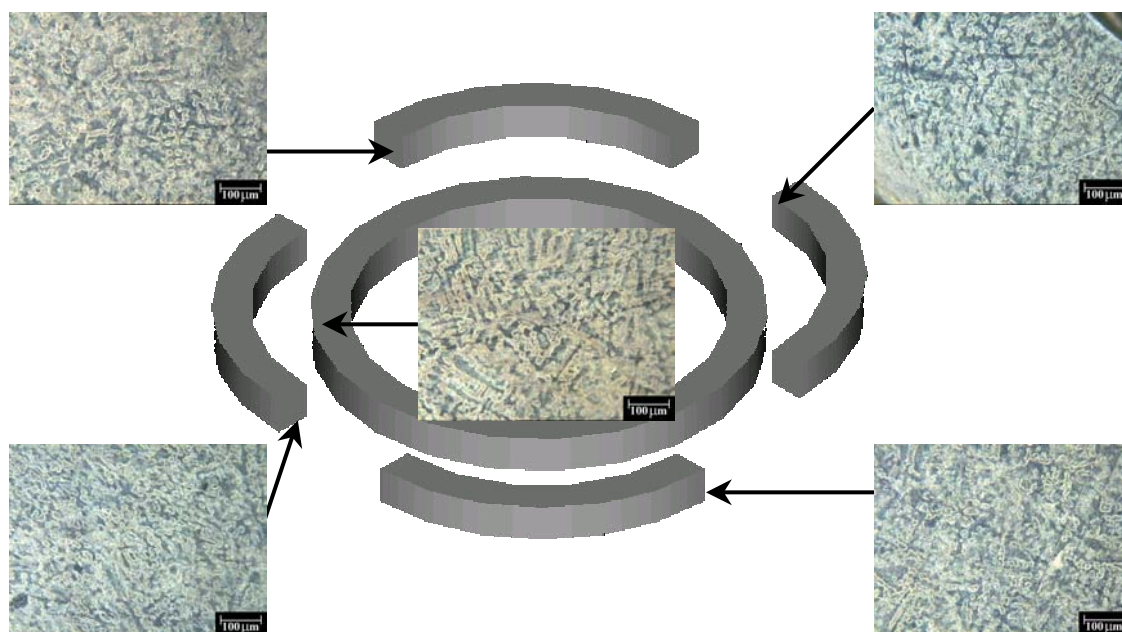


ภาพที่ 1-136 จุลโครงสร้าง 0.482In 0.959Zn 5.086Cu 93.459Ag ที่อุณหภูมิน้ำโลหะก่อนเหวี่ยง 950°C

โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเพื่อการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

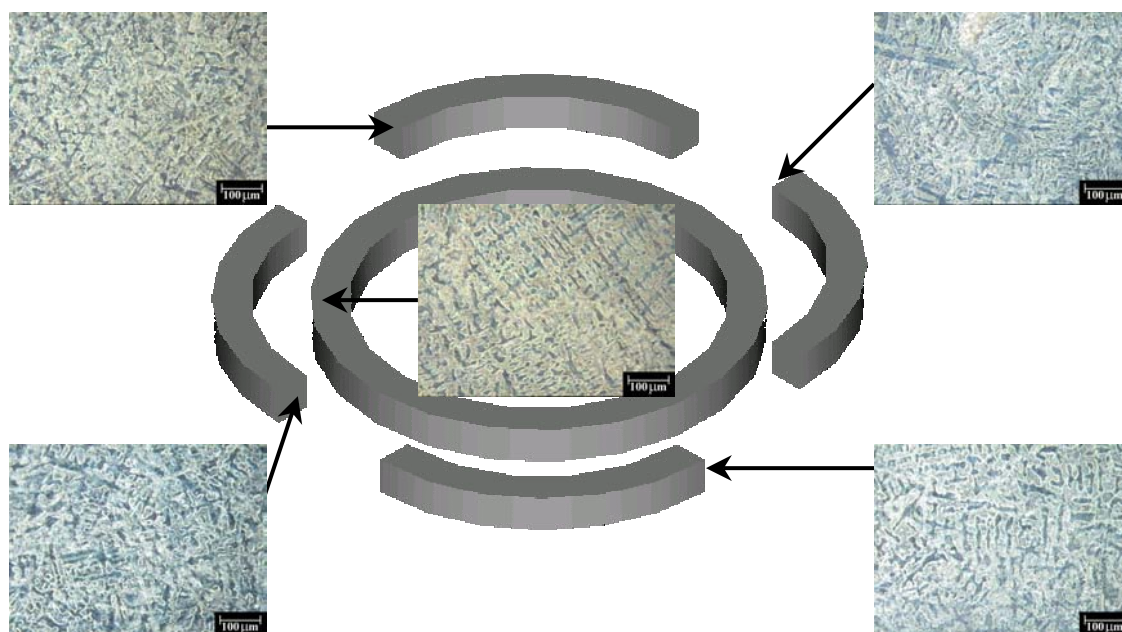
รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรณศรี

2.8.3.4 ส่วนผสม 0.867In 0.996Zn 5.092Cu 93.039Ag ที่อุณหภูมิหล่อก่อนเหวี่ยง 850°C ดังภาพที่ 1-137



ภาพที่ 1-137 จุลโครงสร้าง 0.867In 0.996Zn 5.092Cu 93.039Ag ที่อุณหภูมิหล่อก่อนเหวี่ยง 850°C

2.8.3.5 ส่วนผสม 0.867In 0.996Zn 5.092Cu 93.039Ag ที่อุณหภูมิหล่อก่อนเหวี่ยง 900°C ดังภาพที่ 1-138

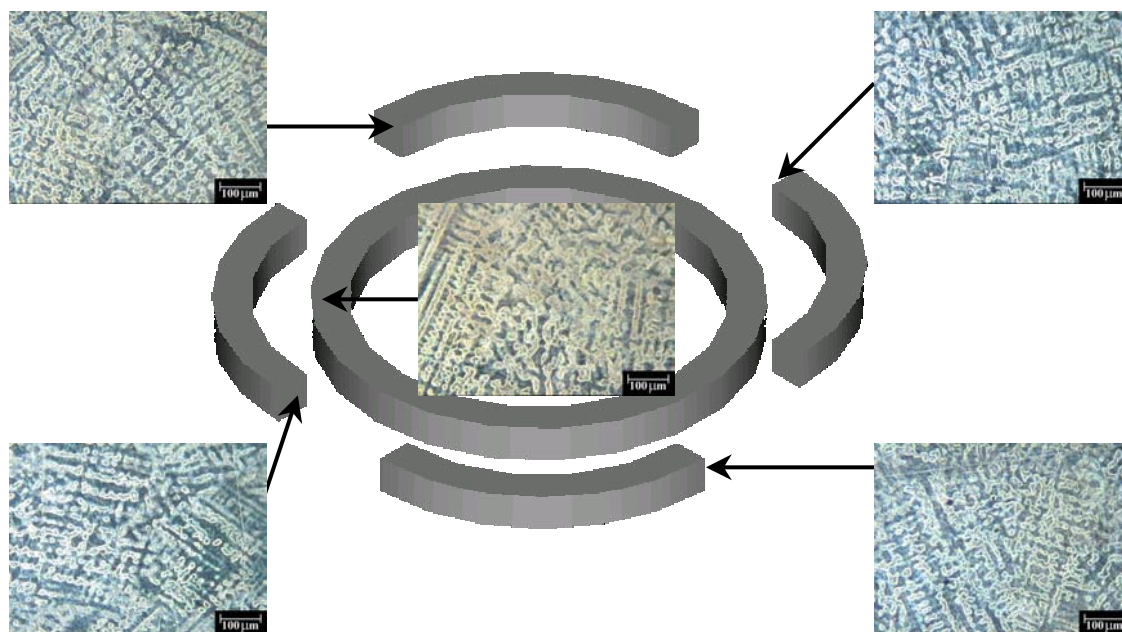


ภาพที่ 1-138 จุลโครงสร้าง 0.867In 0.996Zn 5.092Cu 93.039Ag ที่อุณหภูมิหล่อก่อนเหวี่ยง 900°C

โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเจือสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

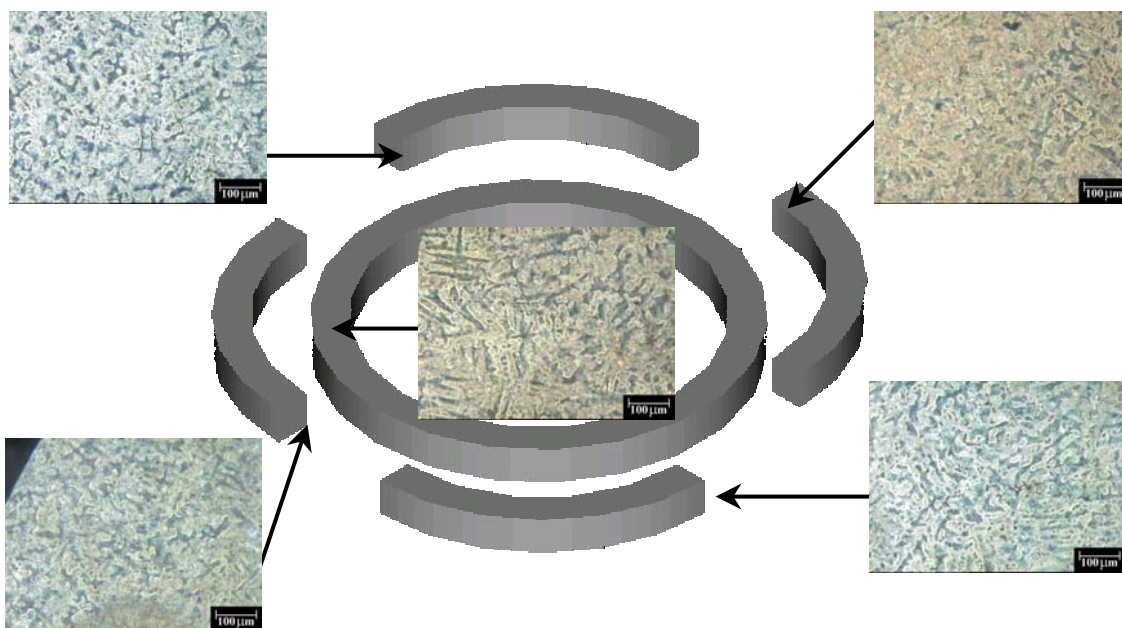
รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรณศรี

2.8.3.6 ส่วนผสม 0.867In 0.996Zn 5.092Cu 93.039Ag ที่อุณหภูมิหล่อก่อนเหวี่ยง 950°C ดังภาพที่ 1-139



ภาพที่ 1-139 จุลโครงสร้าง 0.867In 0.996Zn 5.092Cu 93.039Ag ที่อุณหภูมิหล่อก่อนเหวี่ยง 950°C

2.8.3.7 ส่วนผสม 1.863In 0.967Zn 4.830Cu 92.333Ag ที่อุณหภูมิหล่อก่อนเหวี่ยง 850°C ดังภาพที่ 140

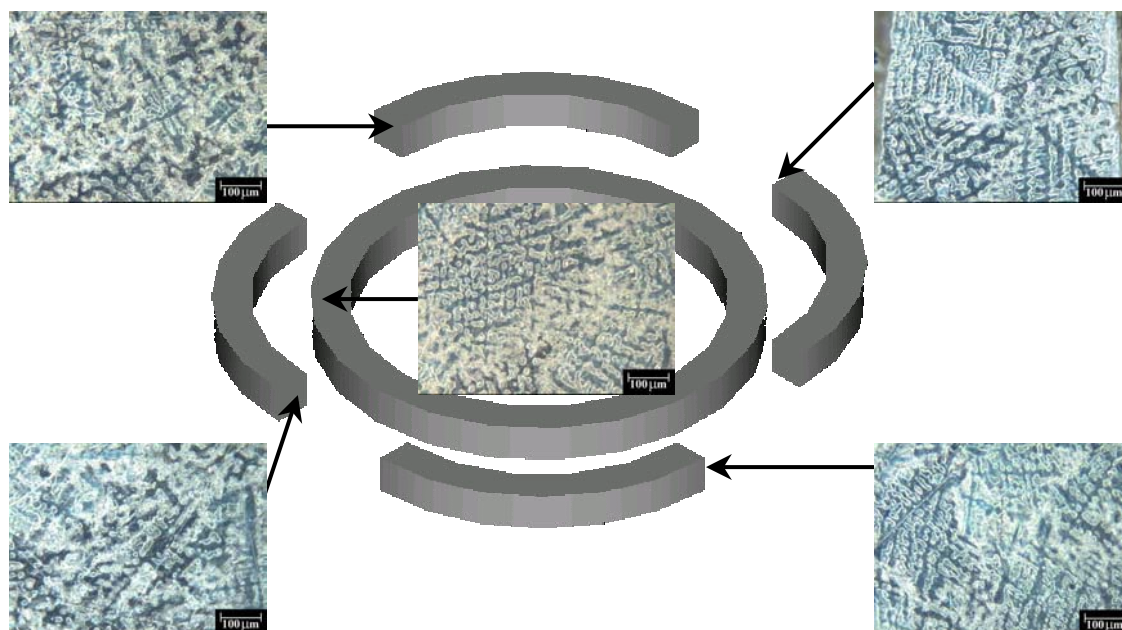


ภาพที่ 1-140 จุลโครงสร้าง 1.863In 0.967Zn 4.830Cu 92.333Ag ที่อุณหภูมิหล่อก่อนเหวี่ยง 850°C

โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเจือสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

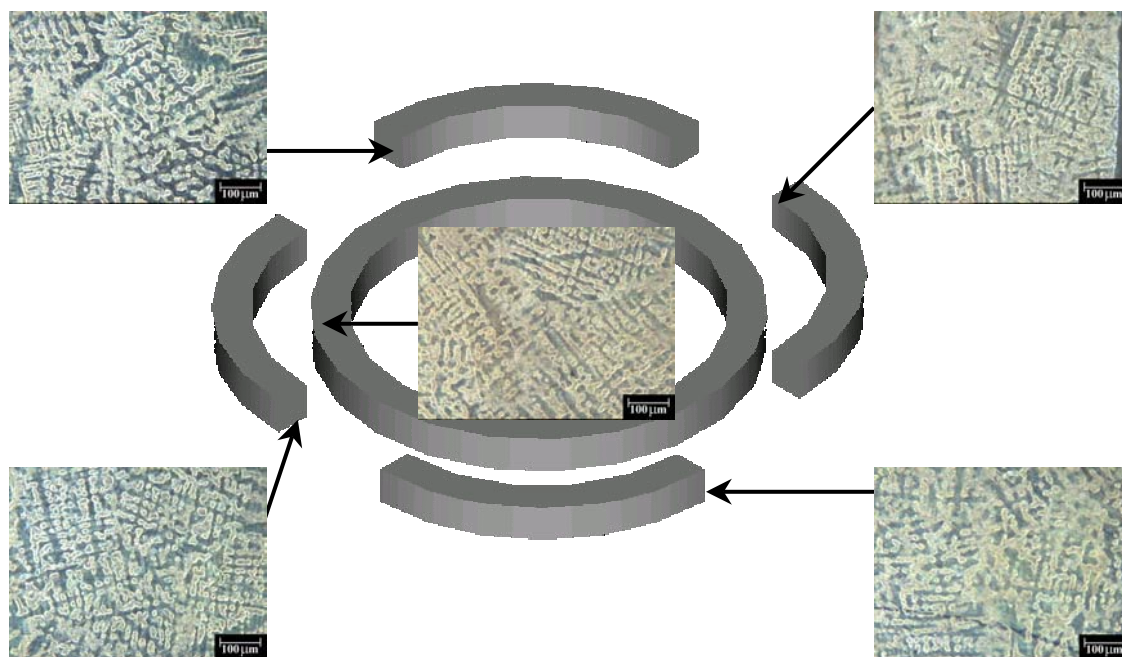
รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรณศรี

2.8.3.8 ส่วนผสม 1.863In 0.967Zn 4.830Cu 92.333Ag ที่อุณหภูมิหล่อก่อนเหวี่ยง 900°C ดังภาพที่ 1-141



ภาพที่ 1-141 จุลโครงสร้าง 1.863In 0.967Zn 4.830Cu 92.333Ag ที่อุณหภูมิหล่อก่อนเหวี่ยง 900°C

2.8.3.9 ส่วนผสม 1.863In 0.967Zn 4.830Cu 92.333Ag ที่อุณหภูมิหล่อก่อนเหวี่ยง 950°C ดังภาพที่ 1-142



ภาพที่ 1-142 จุลโครงสร้าง 1.863In 0.967Zn 4.830Cu 92.333Ag ที่อุณหภูมิหล่อก่อนเหวี่ยง 950°C

โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเจือสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรณศรี

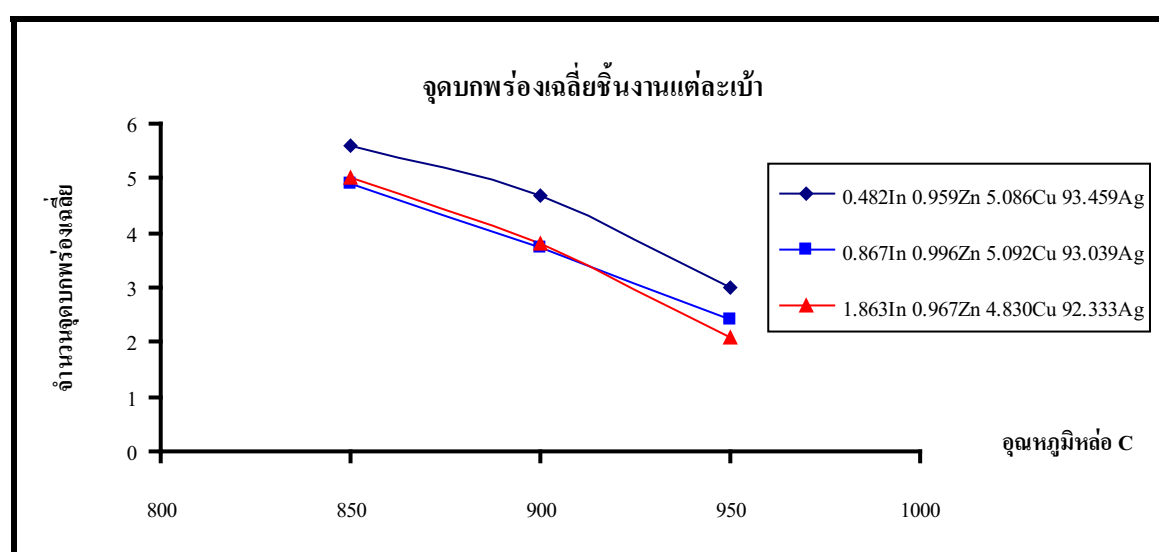
2.8.4 จำนวนจุดบกพร่องที่พบ ณ ส่วนผสมต่างๆและอุณหภูมิน้ำโลหะก่อนเหวี่ยงต่างๆ

ในการวิจัยนี้จะทำการวัดจำนวนจุดบกพร่องจากรูปจุลโครงสร้างที่บันทึกไว้ที่อัตราขยาย 100 เท่า และ อัตราขยาย 500 เท่า ของชิ้นงานแต่ละเบ้า 3 ชิ้น ๆ ละ 5 ส่วน รวมทั้งสิ้น 30 ภาพ นำจำนวนสิ่งบกพร่องมาหาค่าเฉลี่ย ได้จำนวนจุดบกพร่องภายในของแต่ละ ส่วนผสมอินเดียมและอุณหภูมิน้ำโลหะก่อนเหวี่ยง โดยแสดงใน ตารางที่ 1-54

ตารางที่ 1-54 จำนวนจุดบกพร่องภายในชิ้นงาน

พารามิเตอร์ในการหล่อ		จำนวนจุดบกพร่องภายในชิ้นงาน		
อัตราส่วนผสม	อุณหภูมิ (°C)	จุดบกพร่องหน้าตัดขวางเฉลี่ย	จุดบกพร่องหน้าตัดแนวตั้งเฉลี่ย	จุดบกพร่องเฉลี่ยแต่ละเบ้า
0.482In 0.959Zn 5.086Cu 93.459Ag	850	5	6.2	5.6
	900	4	5.4	4.7
	950	2	4	3
0.867In 0.996Zn 5.092Cu 93.039Ag	850	4	5.8	4.9
	900	3	4.5	3.75
	950	1	3.8	2.4
1.863In 0.967Zn 4.830Cu 92.333Ag	850	4	6	5
	900	2	5.6	3.8
	950	1	3.2	2.1

แสดงจุดบกพร่องภายในเฉลี่ย ชิ้นงานแต่ละเบ้า ดังภาพที่ 1-143



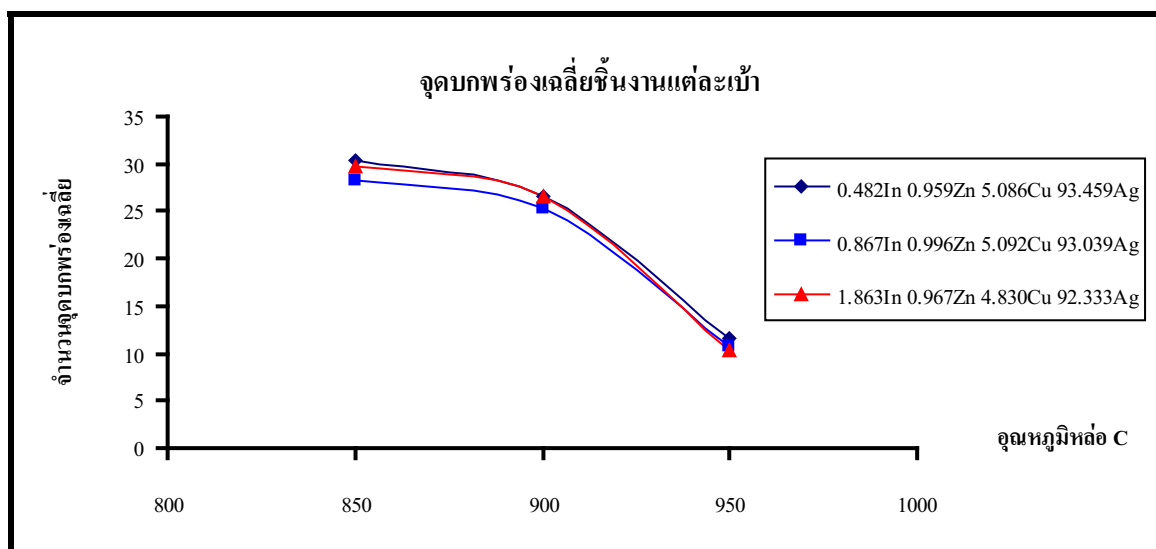
ภาพที่ 1-143 จุดบกพร่องภายในเฉลี่ย ชิ้นงานแต่ละเบ้า

และจะทำการนับจำนวนจุดบกพร่องภายนอก โดยแสดงใน ตารางที่ 1-55

ตารางที่ 1-55 จำนวนจุดบกพร่องภายนอกชิ้นงาน

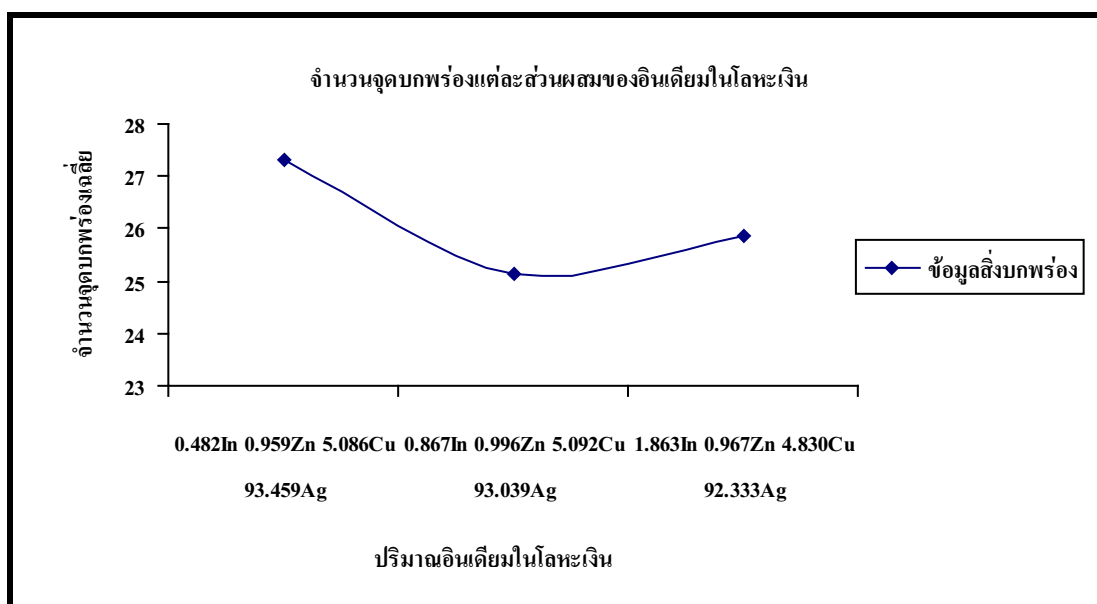
พารามิเตอร์ในการหล่อ		จำนวนจุดบกพร่องภายนอกชิ้นงาน			
อัตราส่วนผสม	อุณหภูมิ (°C)	จุดบกพร่อง ชั้นที่ 1	จุดบกพร่อง ชั้นที่ 2	จุดบกพร่อง ชั้นที่ 3	จุดบกพร่องเฉลี่ย แต่ละเบ้า
0.482In 0.959Zn 5.086Cu 93.459Ag	850	34	26	31	30.33
	900	28	30	22	26.67
	950	10	9	16	11.67
0.867In 0.996Zn 5.092Cu 93.039Ag	850	30	33	22	28.33
	900	22	30	24	25.33
	950	11	14	7	10.67
1.863In 0.967Zn 4.830Cu 92.333Ag	850	28	30	31	29.67
	900	20	31	29	26.67
	950	9	12	10	10.33

แสดงจุดบกพร่องภายนอกเฉลี่ย ชิ้นงานแต่ละเบ้า ดังภาพที่ 1-141

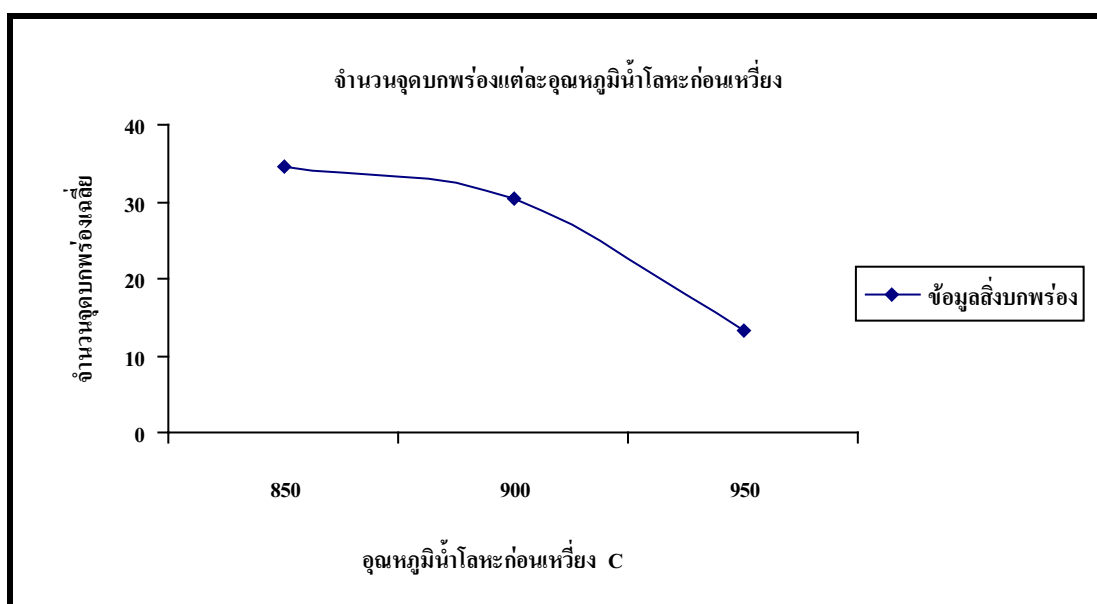


ภาพที่ 1-141 จุดบกพร่องภายนอกเฉลี่ย ชิ้นงานแต่ละเบ้า

เมื่อนำจำนวนสิ่งบกพร่องภายในและภายนอกมารวมกันหาค่าเฉลี่ยแล้วนำมาวิเคราะห์จำนวนการเกิดสิ่งบกพร่องเนื่องจากตัวแปร ส่วนผสมของอินเดียม ในโลหะเงิน และ อุณหภูมิน้ำโลหะก่อนทำการเหวี่ยง จะได้กราฟดังภาพที่ 1-144 และ 1-145



ภาพที่ 1-144 จำนวนการเกิดสิ่งบกพร่องเนื่องจากตัวแปร ส่วนผสมของอินเดียม ในโลหะเงิน



ภาพที่ 1-145 จำนวนการเกิดสิ่งบกพร่องเนื่องจากตัวแปรอุณหภูมิน้ำโลหะก่อนทำการเหวี่ยง

จากข้อมูลดังกล่าวจะแสดงได้ว่า ตัวแปรส่วนผสมของอินเดียม ในโลหะเงินมีผลกระทบต่อจำนวนจุดบกพร่อง แต่ไม่เป็นเชิงเส้น ส่วนตัวแปรอุณหภูมินำโลหะก่อนทำการเหวี่ยงมีผลกระทบต่อจำนวนจุดบกพร่อง แบบเชิงเส้น

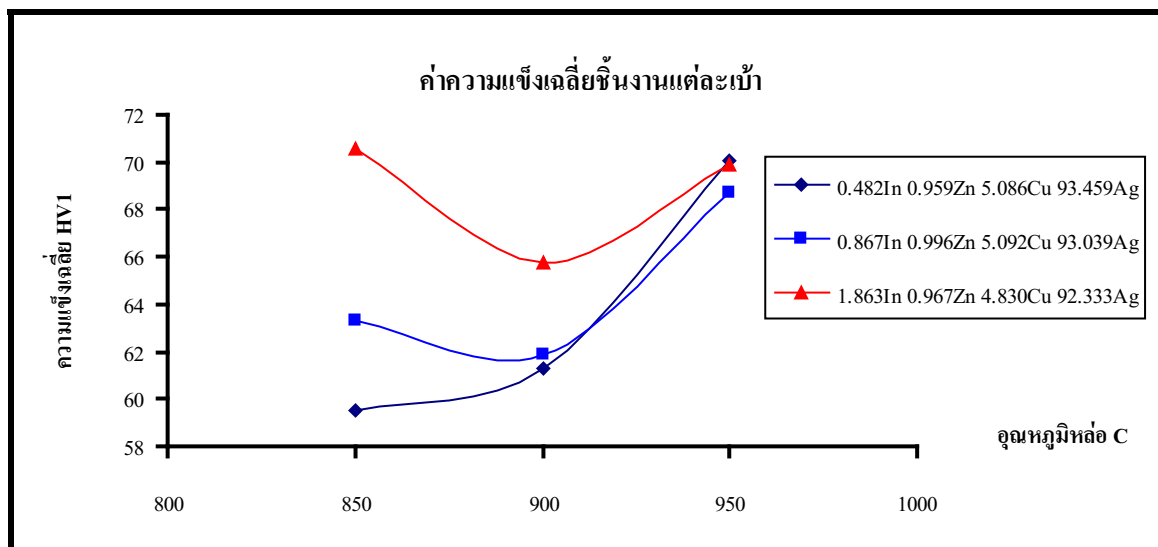
2.8.5 ค่าความแข็งชิ้นงานหลังการหล่อเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

การวัดค่าความแข็งของชิ้นงานทำการวัดค่าความแข็งโดยเครื่องวัดความแข็ง Micro hardness โดยวัดชิ้นงานแต่ละเบ้าจำนวน 3 ชิ้น แต่ละชิ้นวัดภาคตัดขวาง และภาคตัดดิ่ง อย่างละ 1 จุด รวมทั้งหมด 6 จุดต่อ 1 เบ้าหล่อ นำมาหาค่าเฉลี่ยความแข็ง โดยแสดงในตารางที่ 1-57

ตารางที่ 1-56 ค่าความแข็งหลังการหล่อโลหะเงินเจือทองแดง-อินเดียม

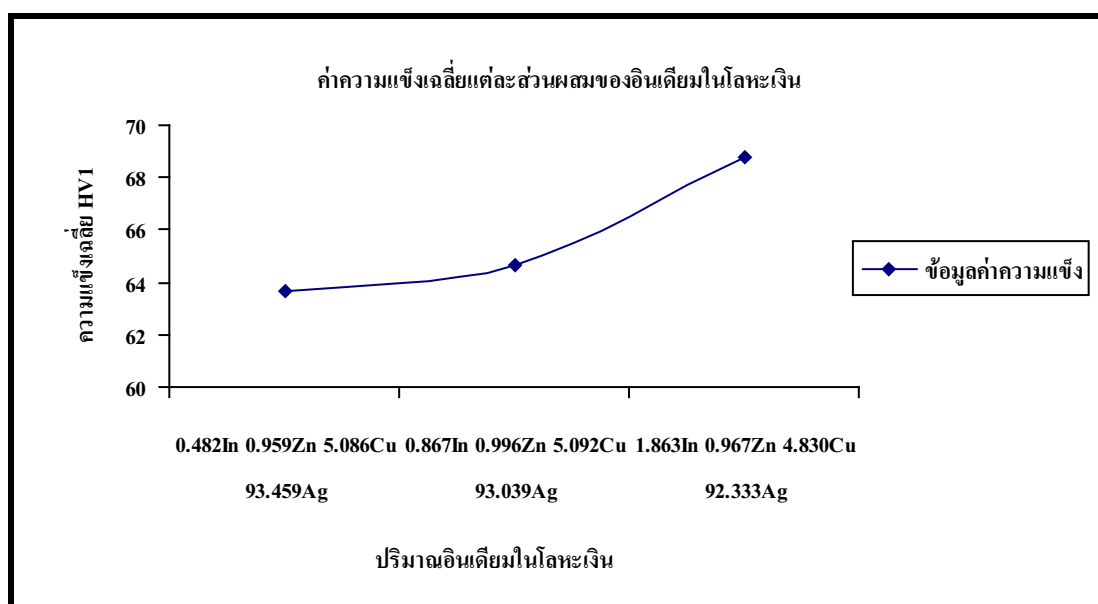
ค่าความแข็ง (HV1) ของชิ้นทดสอบสภาพหลังหล่อโลหะเงินเจือทองแดง-สังกะสี-อินเดียม								
ส่วนผสม	อุณหภูมิ หล่อ (°C)	ชิ้นงานชิ้นที่ 1		ชิ้นงานชิ้นที่ 1		ชิ้นงานชิ้นที่ 1		เฉลี่ย
		แนวขวาง	แนวตั้ง	แนวขวาง	แนวตั้ง	แนวขวาง	แนวตั้ง	
0.482In 0.959Zn	850	55.1	46.1	57.8	69.0	69.6	59.6	59.5
5.086Cu	900	61.7	69.2	52.9	62.3	57.3	65.3	61.3
93.459Ag	950	63.2	70.9	73.4	72.8	68.3	71.9	70.1
0.867In 0.996Zn	850	60.9	67.8	58.5	65.9	59.7	66.9	63.3
5.092Cu	900	57.8	61.6	60.6	67.6	59.2	64.6	61.9
93.039Ag	950	52.7	63.7	70.4	87.8	61.6	75.8	68.7
1.863In 0.967Zn	850	76.9	70.5	65.2	69.8	71.1	70.2	70.6
4.830Cu	900	58.4	63.5	59.9	81.3	59.2	72.4	65.8
92.333Ag	950	57.4	70.7	78.7	72.3	68.3	71.5	69.9

แสดงค่าความแข็งเฉลี่ย ของชิ้นงานในแต่ละเบ้าหล่อ ดังภาพที่ 1-146

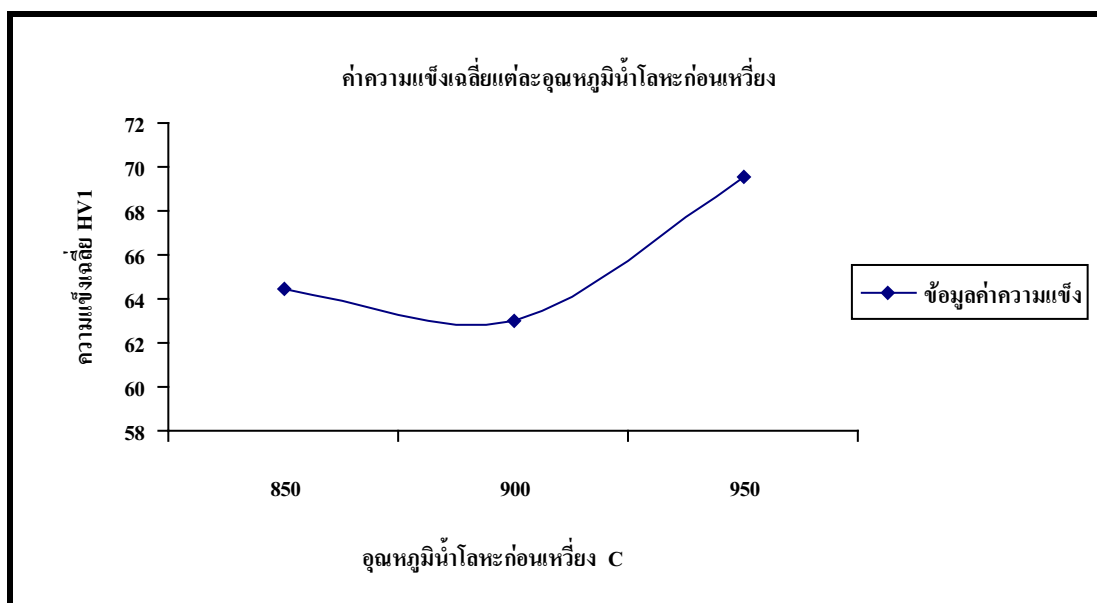


ภาพที่ 1-146 ความแข็งของชิ้นงานแต่ละเบ้าหล่อ

เมื่อนำความแข็งเฉลี่ยเนื่องจากส่วนผสมของอินเดียม ในโลหะเงิน และ อุณหภูมิน้ำโลหะก่อนทำการเหวี่ยงรวมกันในแต่ละตัวแปรหาค่าเฉลี่ยแล้วนำมาวิเคราะห์ค่าความแข็งของชิ้นงานเนื่องจากตัวแปร จะได้กราฟดังภาพที่ 1-147 และ 1-148



ภาพที่ 1-147 ความแข็งเฉลี่ยเนื่องจากส่วนผสมของอินเดียม ในโลหะเงิน



ภาพที่ 1-148 ความแข็งเฉลี่ยเนื่องจากอุณหภูมิน้ำโลหะก่อนทำการเหวี่ยง

จากข้อมูลดังกล่าวจะแสดงได้ว่า ตัวแปรส่วนผสมของอินเดียม ในโลหะเงินมีผลกระทบต่อค่าความแข็ง แต่แบบเชิงเส้น ส่วนตัวแปรอุณหภูมิน้ำโลหะก่อนทำการเหวี่ยงมีผลกระทบต่อค่าความแข็ง ไม่เป็นเชิงเส้น

เนื้อหางานวิจัย

ส่วนที่ 2 Ag+Cu+In+P

1. การดำเนินการวิจัย

- 1.1 ดำเนินการหลอมโลหะเงินเจือรวมกับ Cu+P และ Cu+P+In แล้วนำไปหล่อขึ้นรูปทำเป็นชิ้นทดสอบ สำหรับการทดสอบเพื่อศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติด้านต่างๆ
- 1.2 ดำเนินการศึกษาวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี
- 1.3 ดำเนินการศึกษาวิเคราะห์สมบัติทางกล
- 1.4 ดำเนินการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคที่สภาพต่างๆ
- 1.5 ดำเนินการศึกษาวิเคราะห์ผลของกรรมวิธีทางความร้อนที่มีผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาค
- 1.6 ดำเนินการศึกษาวิเคราะห์ทดสอบความต้านทานการหมอง
- 1.7 ดำเนินการศึกษาทดลองและพัฒนาเทคนิค การหล่อเหรียญขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับโลหะเงินเจือ

2. แนวทางขั้นตอนและผลงานวิจัยที่ได้ดำเนินการ

2.1 หลอมโลหะเงินเจือรวมกับ Cu+P และ Cu+P+In แล้วนำไปหล่อขึ้นรูปทำเป็นชิ้นทดสอบ สำหรับการทดสอบเพื่อศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติด้านต่างๆ ซึ่งในการหลอมสามารถแบ่งกลุ่มของโลหะเงินเจือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยได้ดังนี้

1. โลหะเงินเจือ Cu+P (Ag+ Cu+P)
2. โลหะเงินเจือ Cu+P+In (Ag+ Cu+ P+In)

หลังจากผ่านการหล่อขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบ ชิ้นทดสอบเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ทดสอบสำหรับการศึกษาวิเคราะห์ทดสอบส่วนผสมทางเคมี คุณสมบัติทางกลและความต้านทานการหมอง ซึ่งในการหลอมคณะผู้วิจัยได้กำหนดสัดส่วนการหลอมดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2-1 ลักษณะของชิ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป

โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเจือสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรรณศรี

ตารางที่ 2-3 อัตราการผสมของส่วนผสมโลหะเงินเจือทองแดง ฟอสฟอรัส(Ag+Cu+P)

Sample	สัดส่วนการผสม (%)			สัดส่วน CuP(%)		สัดส่วนของสารเพิ่มแต่ง(%)		ปริมาณสารที่เติม				
	Ag	Cu	P	14.00%P	86.00%Cu	Cu	P	Ag (g)	Cu (g)	P(g)	CuP (g)	Totle (g)
P0.1	94.90	5	0.1	0.714286		4.385714		151.84	7.017143		1.142857	160
P0.2	94.80	5	0.2	1.428571		3.771429		151.68	6.034286		2.285714	160
P0.3	94.70	5	0.3	2.142857		3.157143		151.52	5.051429		3.428571	160
P0.4	94.60	5	0.4	2.857143		2.542857		151.36	4.068571		4.571429	160
P0.5	94.50	5	0.5	3.571429		1.928571		151.20	3.085714		5.714286	160
P0.6	94.40	5	0.6	4.285714		1.314286		151.04	2.102857		6.857143	160
P0.7	94.30	5	0.7	5.000000		0.700000		150.88	1.120000		8.000000	160
P0.8	94.20	5	0.8	5.714286		0.085714		150.72	0.137143		9.142857	160

ตารางที่ 2-4 อัตราการผสมของส่วนผสมโลหะเงินเจือทองแดง อินเดียม ฟอสฟอรัส (Ag+Cu+In+P)

Sample	สัดส่วนการผสม (%)				สัดส่วน CuIn(%)		สัดส่วน CuP(%)		สัดส่วนของสารเพิ่มแต่ง(%)				ปริมาณสารที่เติม					
	Ag	Cu	In	P	17.02% In	82.98%Cu	14.00%P	86.00%Cu	Cu	In	P	Ag (g)	Cu (g)	In (g)	CuIn (g)	P (g)	CuP (g)	Totle (g)
InP0.1	93.90	5	1	0.1	5.285	4.386	0.715	0.614	0.000	0.105	0.000	215.970	0.000	0.231	12.156	0.000	1.643	230
InP0.2	93.80	5	1	0.2	4.545	3.771	1.429	1.228	0.000	0.226	0.000	215.740	0.000	0.521	10.454	0.000	3.286	230
InP0.3	93.70	5	1	0.3	3.805	3.157	2.143	1.843	0.000	0.352	0.000	215.510	0.000	0.811	8.751	0.000	4.929	230

โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเพื่อสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ
 รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรรณศรี

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาเรียบเรียงใหม่โดยยึดผลของวิธีการทางเคมีเป็นหลัก โดยเรียงลำดับตามส่วนผสมของธาตุต่างๆ ดังนี้

1. Ag+Cu+P เรียงลำดับปริมาณฟอสฟอรัสจากน้อยไปมาก
2. Ag+Cu+In+P เรียงลำดับปริมาณฟอสฟอรัสจากน้อยไปมาก

ตารางที่ 2-6 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีที่ได้หลังจากหล่อขึ้นรูปชิ้นทดสอบ Ag+Cu+P

ลำดับที่	ตัวอย่าง	P(%)	Cu(%)	Ag(%)
1	P01	0.009	5.550	94.441
2	P03	0.022	5.312	94.666
3	P02	0.023	5.289	94.688
4	P05	0.088	6.078	93.834
5	P04	0.167	5.946	93.887

ตารางที่ 2-7 ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีที่ได้หลังจากหล่อขึ้นรูปชิ้นทดสอบ Ag+Cu+In+P

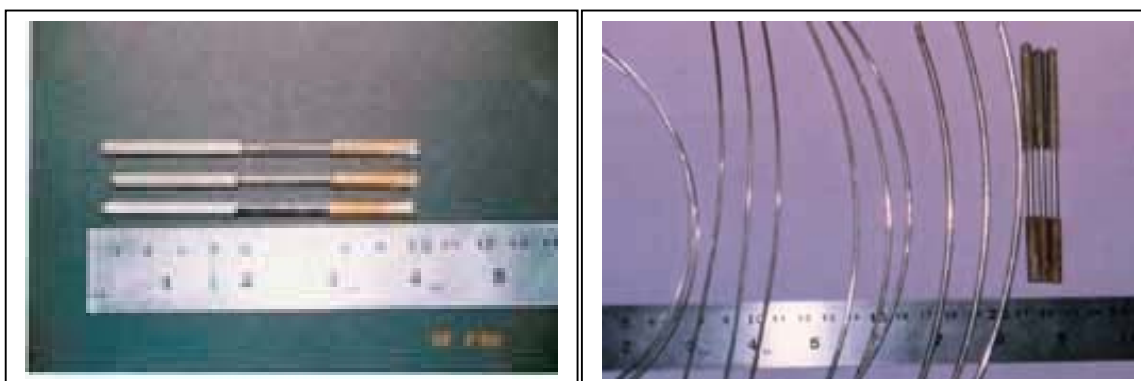
ลำดับที่	ตัวอย่าง	P (%)	In(%)	Cu(%)	Ag(%)
1	InP01	0.018	0.931	5.129	93.922
2	InP02	0.074	0.997	5.700	93.229
3	InP03	0.097	0.995	6.122	92.786

2.3 ดำเนินการศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกล เพื่อเป็นการศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของทองแดง อินเดียมและฟอสฟอรัส ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลด้านต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

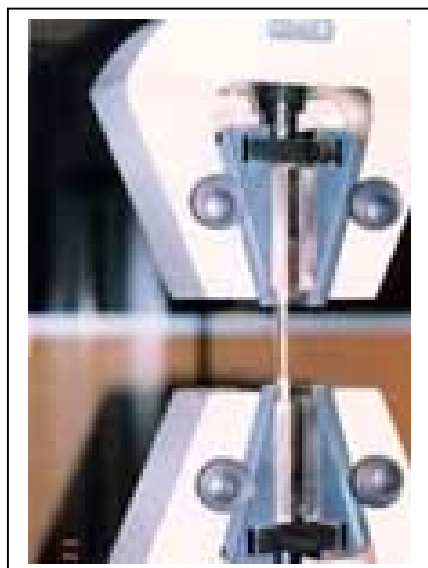
1. การทดสอบค่าความแข็ง คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบค่าความแข็งของโลหะเงินเจือแบบวิกเกอร์ โดยเลือกใช้แรงกด 9.81 N (HV1) เวลาในการกดทดสอบ 30 วินาที ซึ่งสามารถทดสอบความแข็งเปรียบเทียบโลหะเงินเจือสภาพหล่อขึ้นรูปกับสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ โดยหาค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ 3 จุด

2. การทดสอบค่าความต้านแรงดึงและความยืด คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความต้านแรงดึงและความยืดของชิ้นทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูป โดยกลึงชิ้นทดสอบให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน ASTM E8-99 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 ± 0.1 มม. ความยาวพิกัด 20 ± 0.1 มม. โดยทำการทดสอบหาค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างชิ้นทดสอบอัตราส่วนผสมละ 3 ชิ้น และในการทดสอบค่าความต้านแรงดึงและความยืดนี้ คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างชิ้นทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูปกับชิ้นทดสอบสภาพ

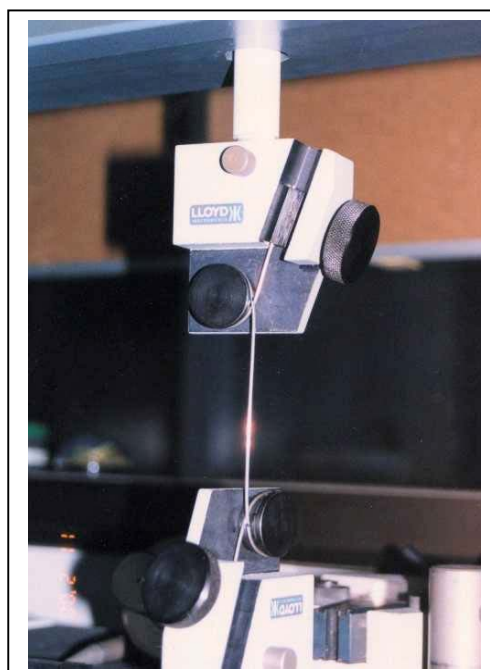
จั้นรูปเย็นที่อัตราส่วนการจั้นรูป 64%RA., 84%RA. และ 96%RA. ซึ่งลักษณะของจั้นทดสอบและการจับยึดจั้นทดสอบแสดงดังภาพที่ 2-2 ภาพที่ 2-3 และภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-2 ลักษณะของจั้นทดสอบที่ใช้สำหรับการทดสอบความต้านแรงดึงและความยืด



ภาพที่ 2-3 ลักษณะการจับยึดจั้นทดสอบสำหรับจั้นทดสอบสภาพหล่อจั้นรูป



ภาพที่ 2-4 ลักษณะการจับยึดจั้นทดสอบสำหรับจั้นทดสอบลักษณะเส้นลวด

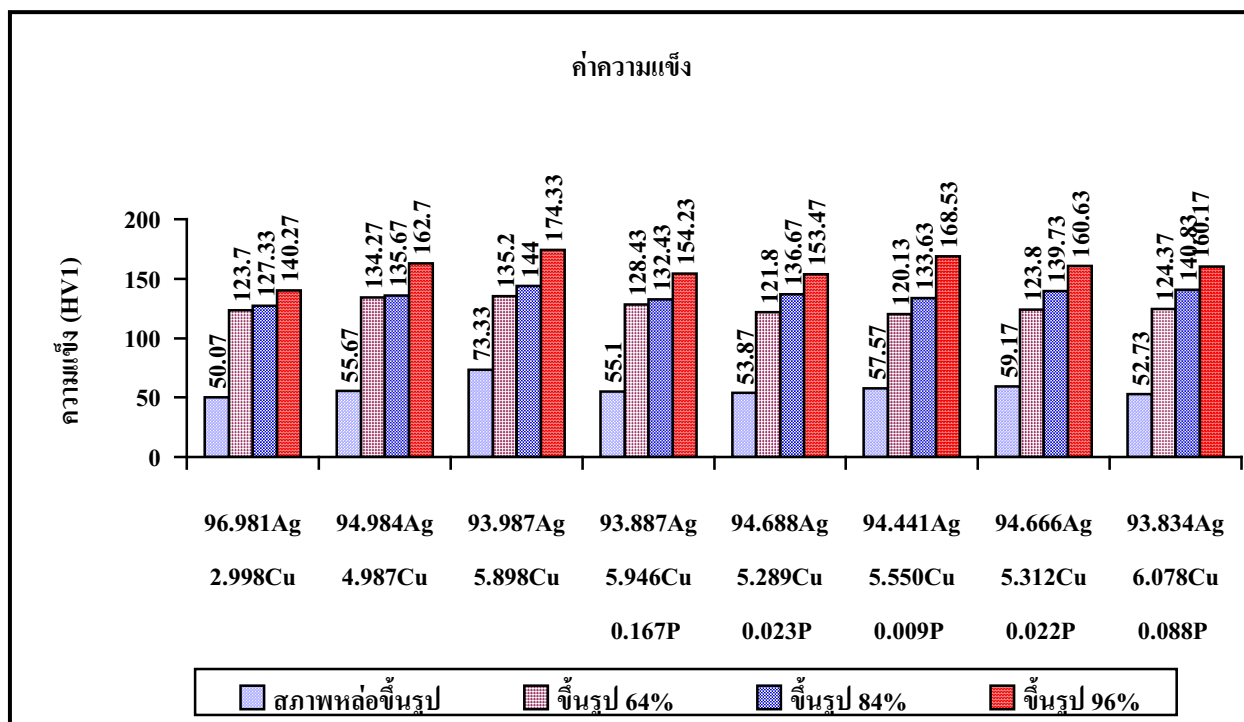
จากวิธีการทดสอบดังกล่าว คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเพื่อศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลของโลหะเงินเจือที่อัตราส่วนผสมต่างๆ โดยแบ่งตามปริมาณของธาตุเจือต่างๆ ซึ่งได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

1. Ag+Cu+P

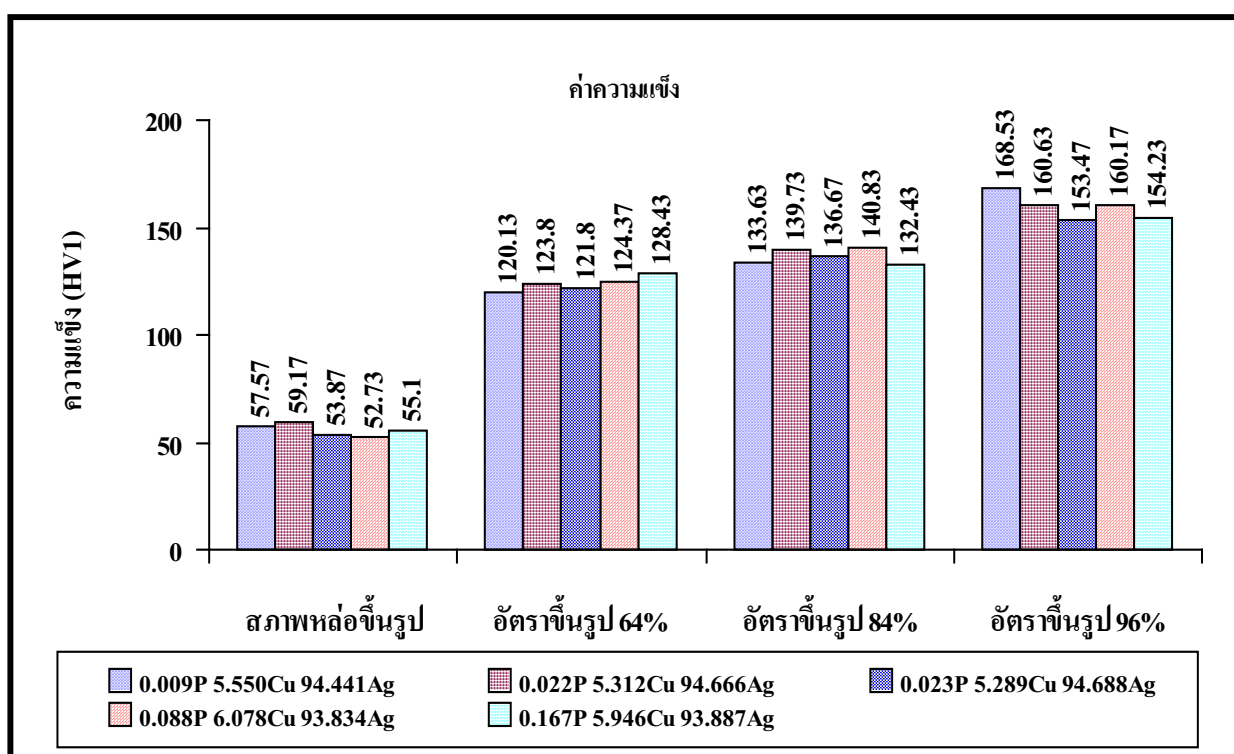
ผลจากการศึกษาวิเคราะห์ค่าความแข็งของโลหะเงินเจือทองแดง-ฟอสฟอรัสสภาพหล่อขึ้นรูปและขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ พบว่า ที่สภาพหล่อขึ้นรูป เมื่อปริมาณทองแดงและฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นค่าความแข็งของโลหะเงินเจือทองแดง-ฟอสฟอรัสจะเพิ่มขึ้นค่าความแข็งของโลหะเงินเจือทองแดง-ฟอสฟอรัสจะเพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ปริมาณฟอสฟอรัสประมาณ 0.022% โดยมีค่าความแข็งสูงสุดประมาณ 59.17 HV1 และหลังจากนั้นปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นกลับทำให้ค่าความแข็งลดลงแปรผกผันตามปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้อัตราการขึ้นรูปเย็นที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความแข็งของโลหะเงินเจือทองแดง-ฟอสฟอรัสแปรผันตามอัตราการขึ้นรูปเย็นที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ที่อัตราส่วนผสม 0.009%P, 5.550%Cu, 94.441%Ag ที่สภาพหล่อขึ้นรูปมีค่าความแข็ง 57.57 HV1 เมื่ออัตราการขึ้นรูปเย็นเพิ่มขึ้นเป็น 64%RA., 84%RA. และ 96%RA. ค่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นเป็น 120.13 HV1, 133.63 HV1 และ 168.53 HV1 ตามลำดับ ดังผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 2-8 ภาพที่ 2-5 ถึงภาพที่ 2-8

ตารางที่ 2-8 ผลการวิเคราะห์ทดสอบค่าความแข็งเฉลี่ยของโลหะเงินเจือทองแดงและฟอสฟอรัส สภาพหล่อขึ้นรูปและขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ

ปริมาณสารเจือ (%)			ค่าความแข็ง HV1			
			สภาพหล่อขึ้นรูป	สภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ (%)		
P	Cu	Ag		64%RA.	84%RA.	96%RA.
0.009	5.550	94.441	57.57	120.13	133.63	168.53
0.022	5.312	94.666	59.17	123.80	139.73	160.63
0.023	5.289	94.688	53.87	121.80	136.67	153.47
0.088	6.078	93.834	52.73	124.37	140.83	160.17
0.167	5.946	93.887	55.10	128.43	132.43	154.23



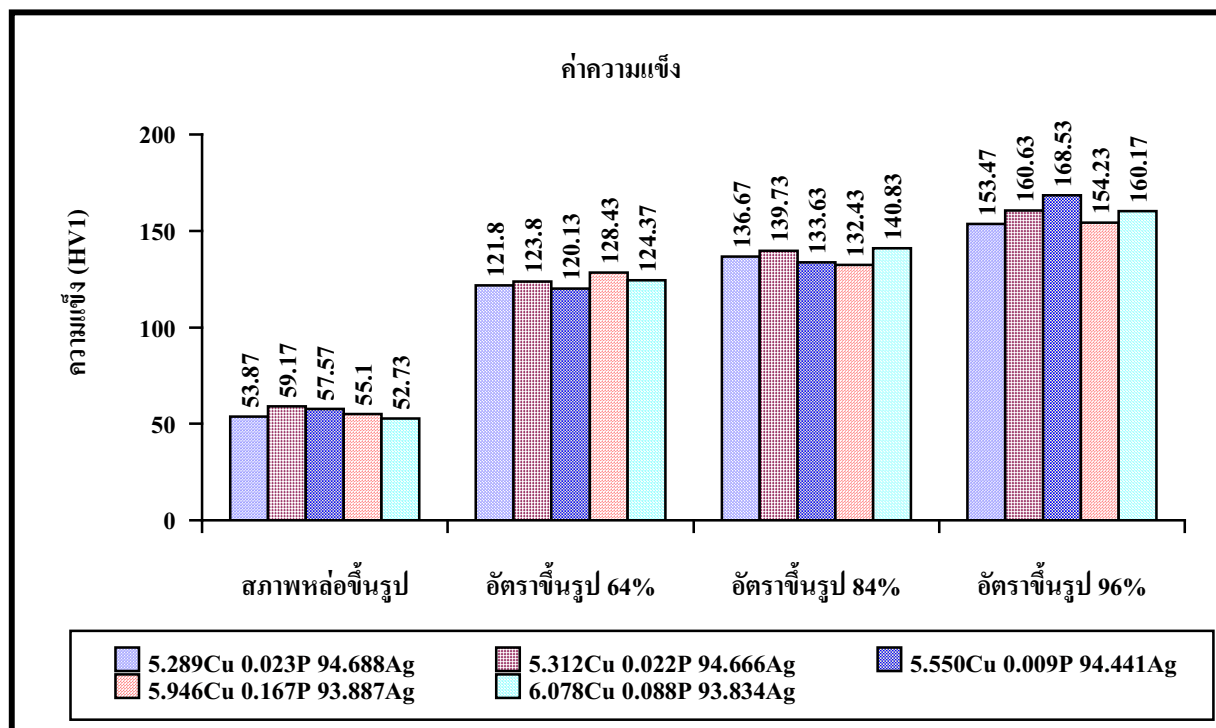
ภาพที่ 2-5 ค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพต่างๆ



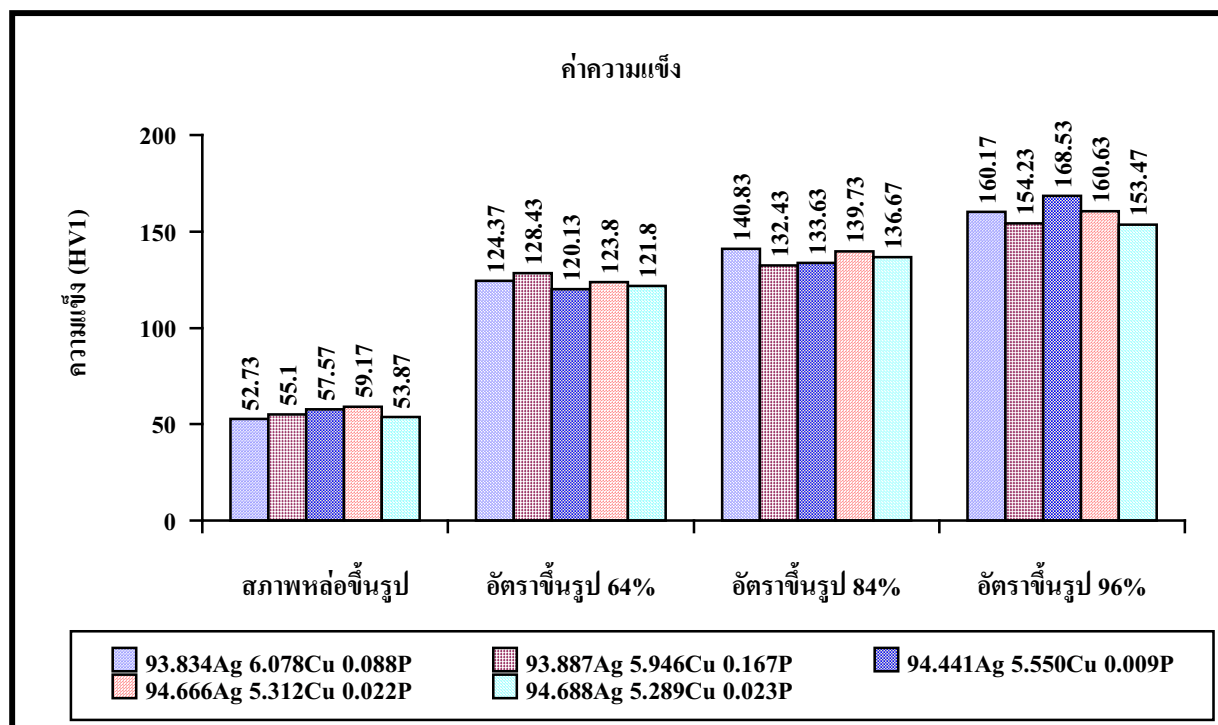
ภาพที่ 2-6 ค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ เรียงตามปริมาณฟอสฟอรัสจากน้อยไปมาก

โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเพื่อการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรรณศรี



ภาพที่ 2-7 ค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ เรียงตามปริมาณทองแดงจากน้อยไปมาก



ภาพที่ 2-8 ค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ เรียงตามปริมาณโลหะเงินจากน้อยไปมาก

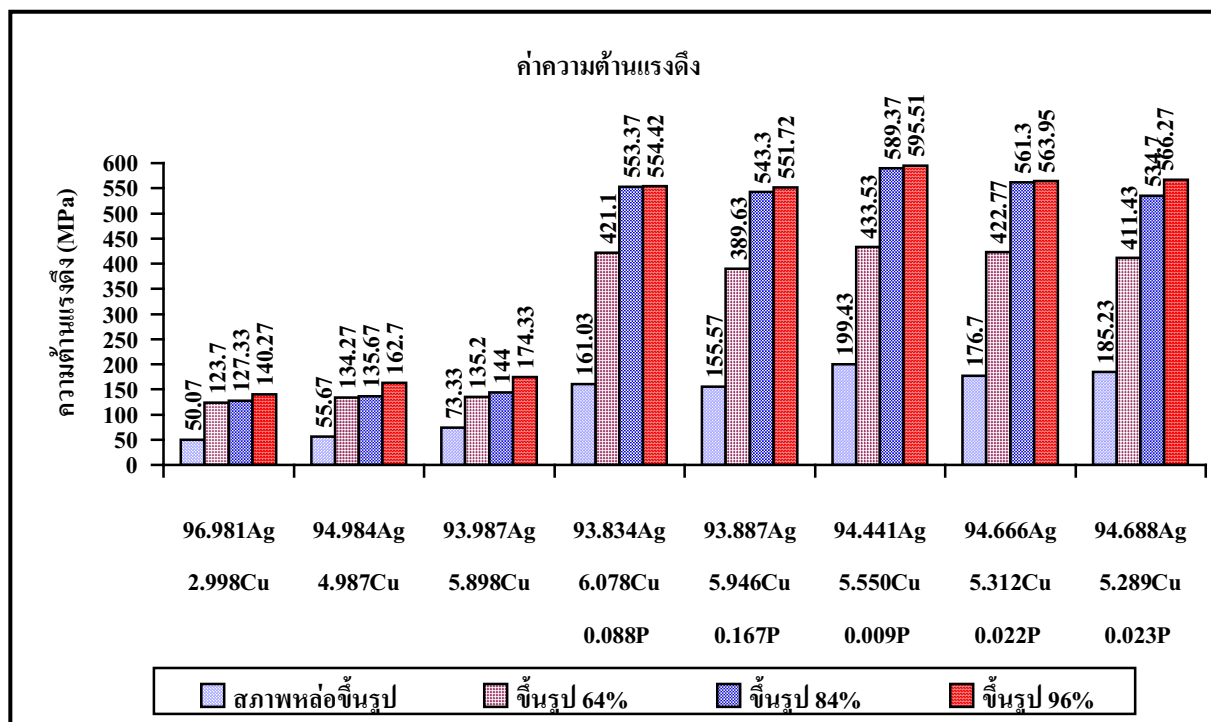
โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเพื่อการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรรณศรี

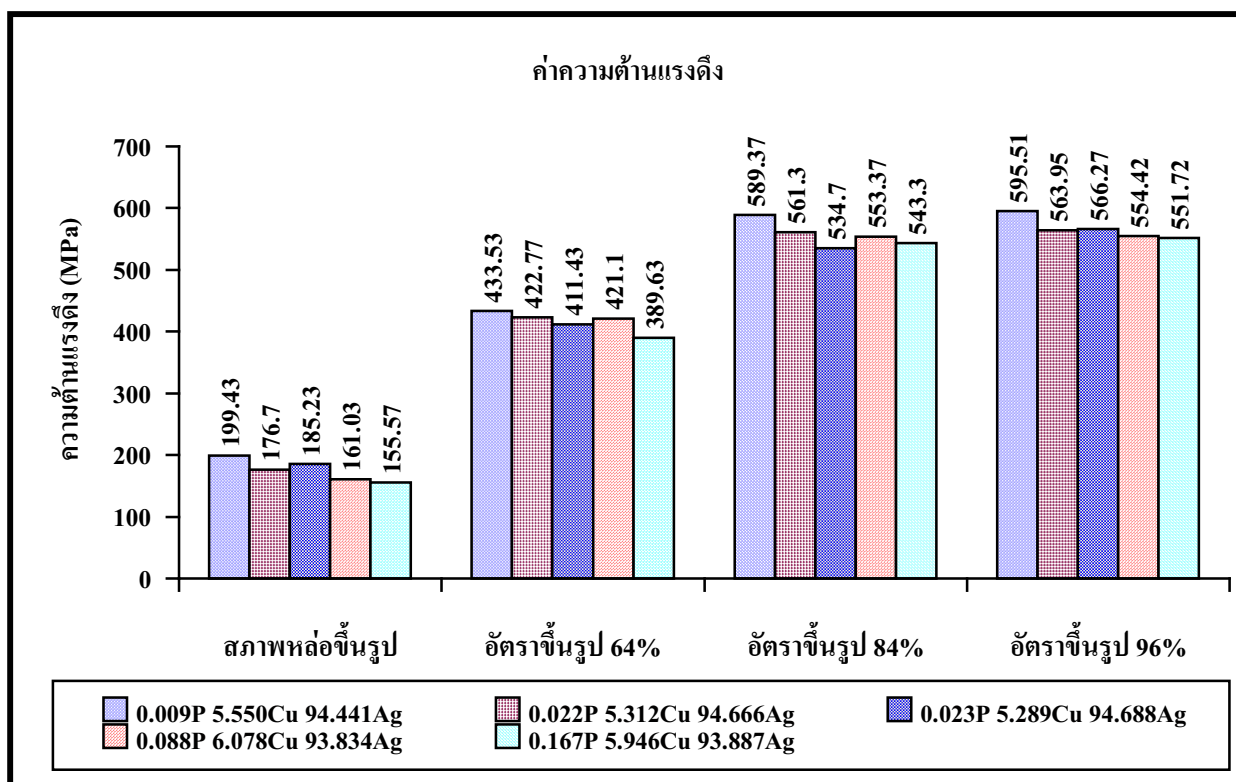
ผลจากการศึกษาวิเคราะห์ค่าความต้านแรงดึงของโลหะเงินเจือทองแดง-ฟอสฟอรัสสภาพหล่อขึ้นรูปและขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ พบว่า ที่สภาพหล่อขึ้นรูป ค่าความต้านแรงดึงของโลหะเงินเจือทองแดง-ฟอสฟอรัสมีค่าสูงสุดที่ ปริมาณฟอสฟอรัส 0.009% โดยมีค่าความต้านแรงดึงสูงสุดประมาณ 199.43 MPa หลังจากนั้นเมื่อปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นค่าความต้านแรงดึงของโลหะเงินเจือทองแดง-ฟอสฟอรัสกลับมีค่าลดลงแปรผกผันตามปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น และนอกจากนี้อัตราการขึ้นรูปเย็นที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความต้านแรงดึงของโลหะเงินเจือทองแดง-ฟอสฟอรัสแปรผันตามอัตราการขึ้นรูปเย็นที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ที่อัตราส่วนผสม 0.009%P, 5.550%Cu, 94.441%Ag ที่สภาพหล่อขึ้นรูปมีค่าความต้านแรงดึง 199.43 MPa เมื่ออัตราการขึ้นรูปเย็นเพิ่มขึ้นเป็น 64%RA., 84%RA. และ 96%RA. ค่าความต้านแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเป็น 433.53 MPa, 589.37 MPa และ 595.51 MPa ตามลำดับ ดังผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 2-9 ภาพที่ 2-9 และภาพที่ 2-10

ตารางที่ 2-9 ผลการวิเคราะห์ทดสอบค่าความต้านแรงดึงเฉลี่ยของโลหะเงินเจือทองแดงและฟอสฟอรัส สภาพหล่อขึ้นรูปและขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ

ปริมาณสารเจือ (%)			ค่าความต้านแรงดึง (Mpa)			
			สภาพ	สภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ (%)		
P	Cu	Ag	หล่อขึ้นรูป	64%RA.	84%RA.	96%RA.
0.009	5.550	94.441	199.43	433.53	589.37	595.51
0.022	5.312	94.666	176.70	422.77	561.30	563.95
0.023	5.289	94.688	185.23	411.43	534.70	566.27
0.088	6.078	93.834	161.03	421.10	553.37	554.42
0.167	5.946	93.887	155.57	389.63	543.30	551.72



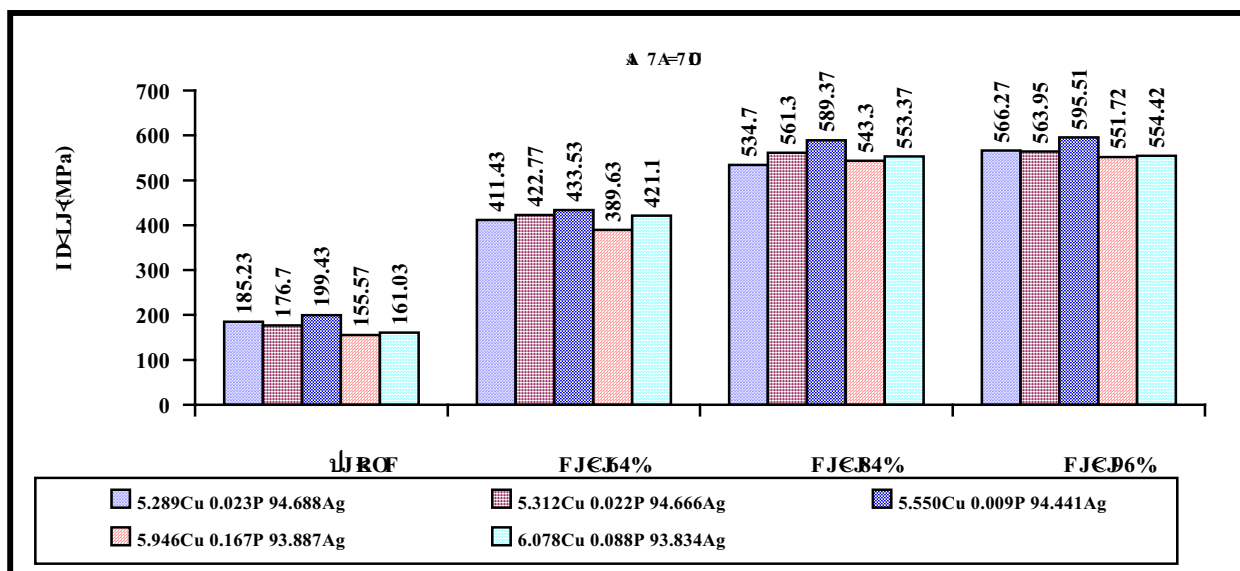
ภาพที่ 2-9 ค่าความต้านแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงของขึ้นทดสอบสภาพต่างๆ



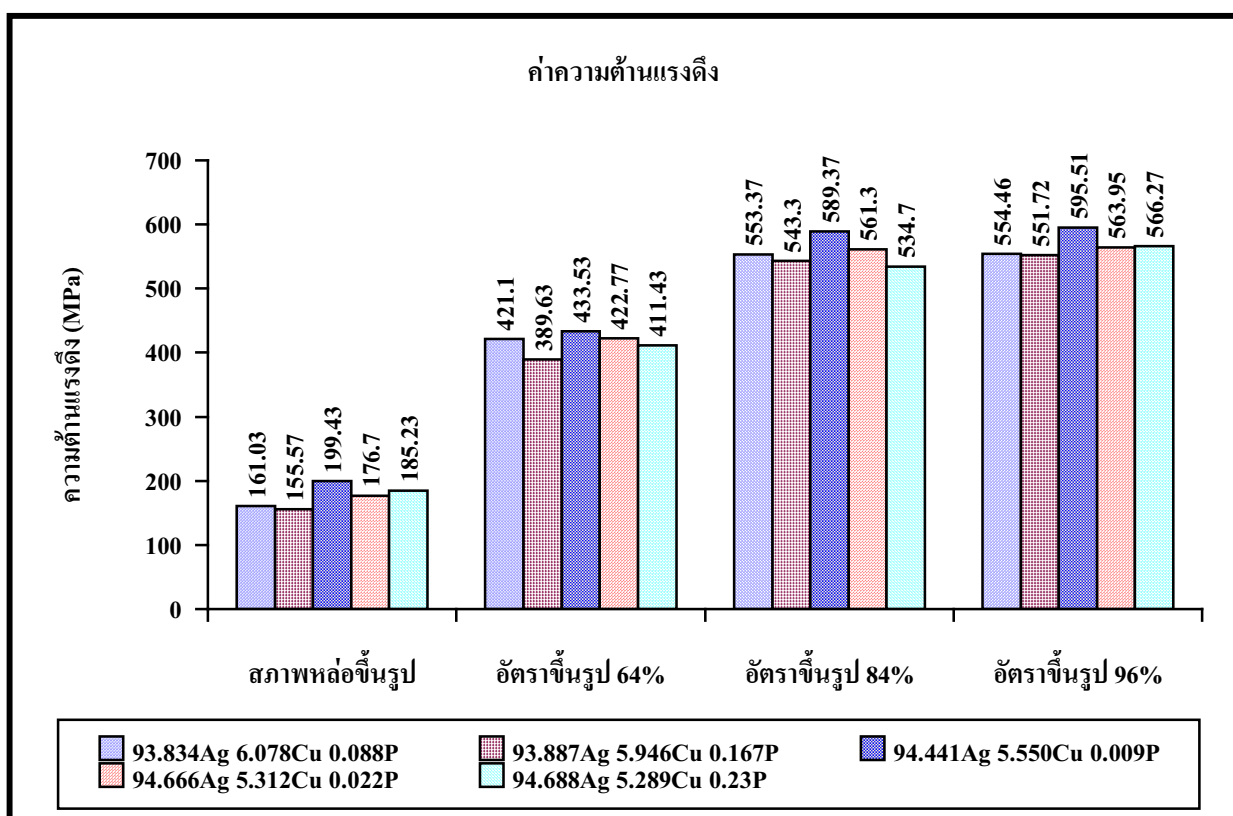
ภาพที่ 2-10 ค่าความต้านแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงของขึ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ
เรียงตามปริมาณฟอสฟอรัสจากน้อยไปมาก

โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเพื่อการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรรณศรี



ภาพที่ 2-11 ค่าความต้านแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ
เรียงตามปริมาณทองแดงจากน้อยไปมาก

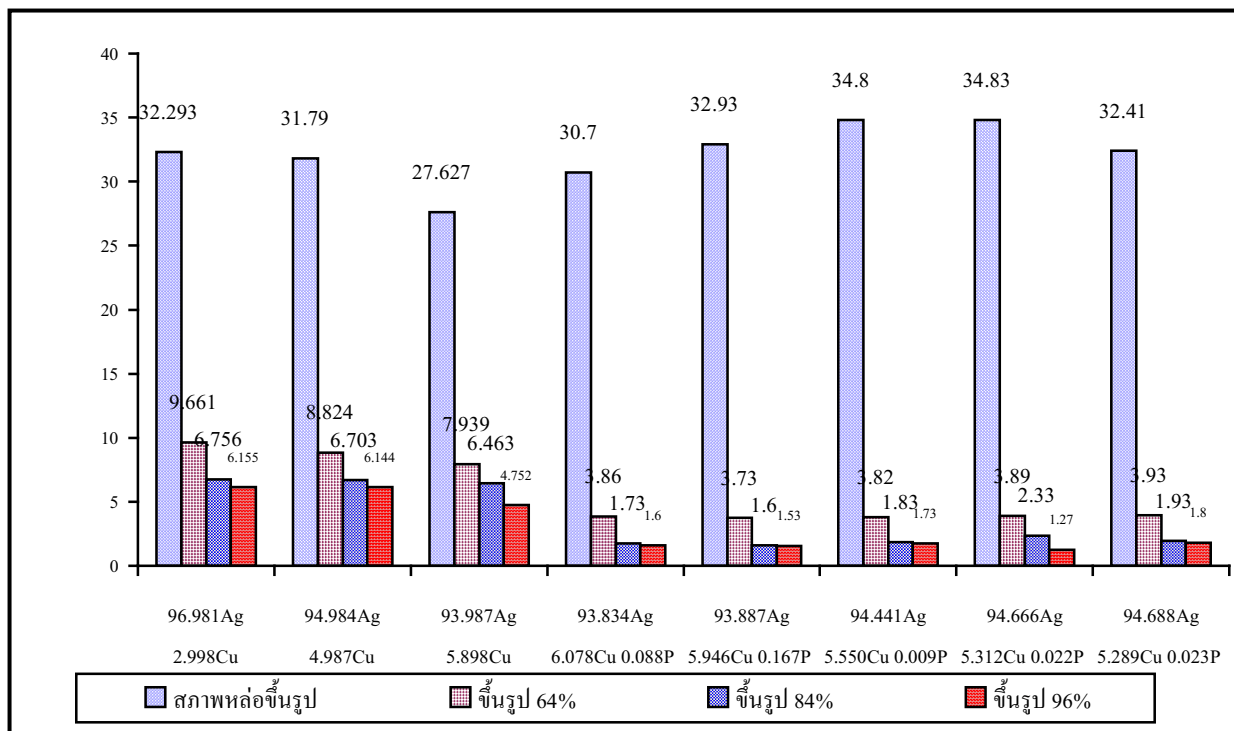


ภาพที่ 2-12 ค่าความต้านแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ
เรียงตามปริมาณโลหะเงินจากน้อยไปมาก

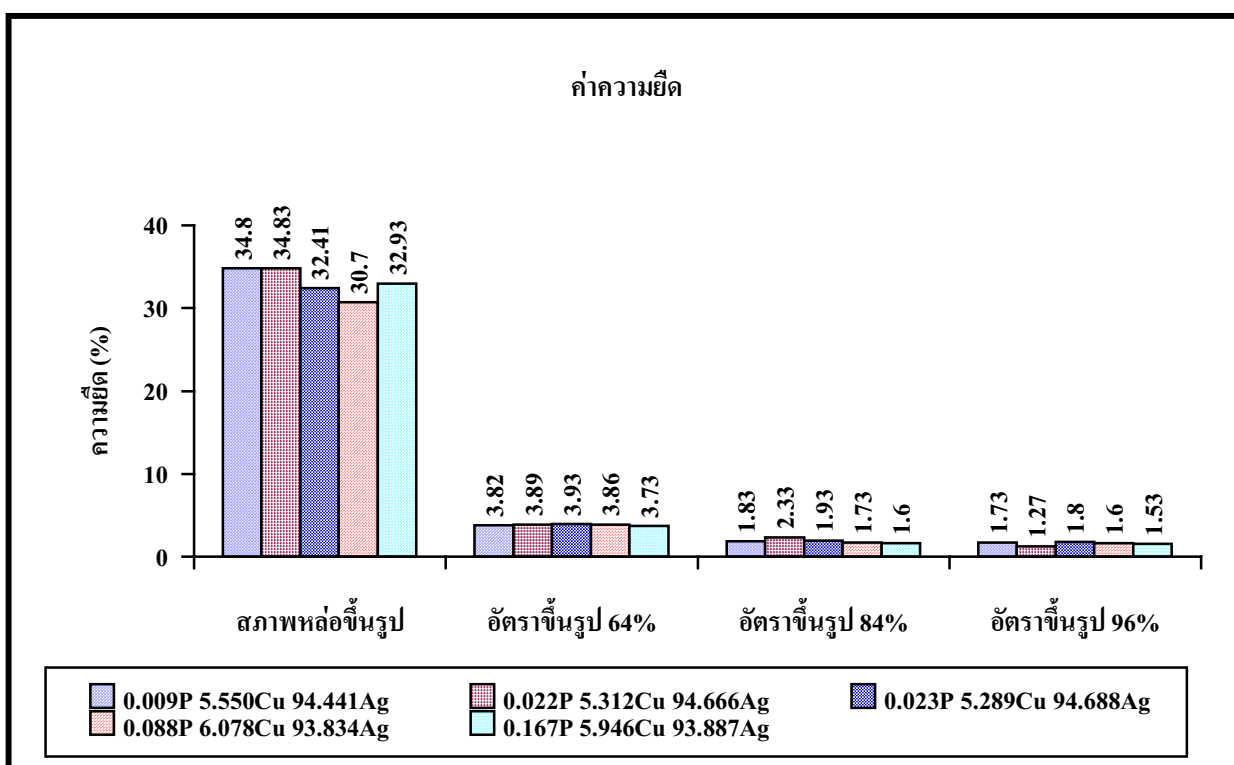
ผลจากการศึกษาวิเคราะห์ค่าความยืดของโลหะเงินเจือทองแดง-ฟอสฟอรัสสภาพหล่อขึ้นรูปและขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ พบว่า ที่สภาพหล่อขึ้นรูป ค่าความยืดของโลหะเงินเจือทองแดง-ฟอสฟอรัสมีค่าสูงสุดที่ ปริมาณฟอสฟอรัส 0.009% โดยมีค่าความยืดสูงสุดประมาณ 34.80% หลังจากนั้นเมื่อปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นค่าความยืดของโลหะเงินเจือทองแดง-ฟอสฟอรัสกลับมีค่าลดลงแปรผกผันตามปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น และนอกจากนี้อัตราการขึ้นรูปเย็นที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความยืดของโลหะเงินเจือทองแดง-ฟอสฟอรัสแปรผันตามอัตราการขึ้นรูปเย็นที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ที่อัตราส่วนผสม 0.009%P, 5.550%Cu, 94.441%Ag ที่สภาพหล่อขึ้นรูปมีค่าความยืด 34.80% เมื่ออัตราการขึ้นรูปเย็นเพิ่มขึ้นเป็น 64%RA., 84%RA. และ 96%RA. ค่าความยืดจะเพิ่มขึ้นเป็น 3.82%, 1.83% และ 1.73% ตามลำดับ ดังผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 2-10 ภาพที่ 2-13 ถึงภาพที่ 2-16

ตารางที่ 2-10 ผลการวิเคราะห์ทดสอบค่าความยืดเฉลี่ยของโลหะเงินเจือทองแดงและฟอสฟอรัส สภาพหล่อขึ้นรูปและขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ

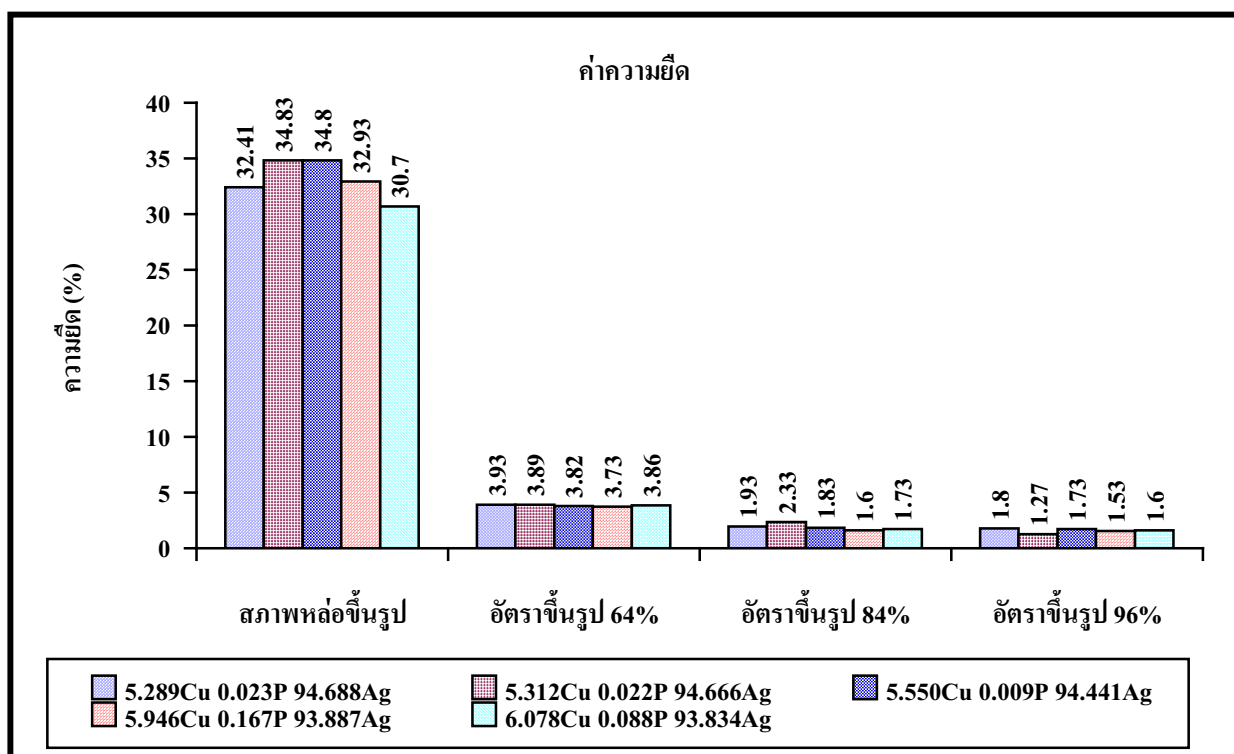
ปริมาณสารเจือ (%)			ค่าความยืด (%)			
			สภาพหล่อขึ้นรูป	สภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ (%)		
P	Cu	Ag		64%RA.	84%RA.	96%RA.
0.009	5.550	94.441	34.80	3.82	1.83	1.73
0.022	5.312	94.666	34.83	3.89	2.33	1.27
0.023	5.289	94.688	32.41	3.93	1.93	1.80
0.088	6.078	93.834	30.70	3.86	1.73	1.60
0.167	5.946	93.887	32.93	3.73	1.60	1.53



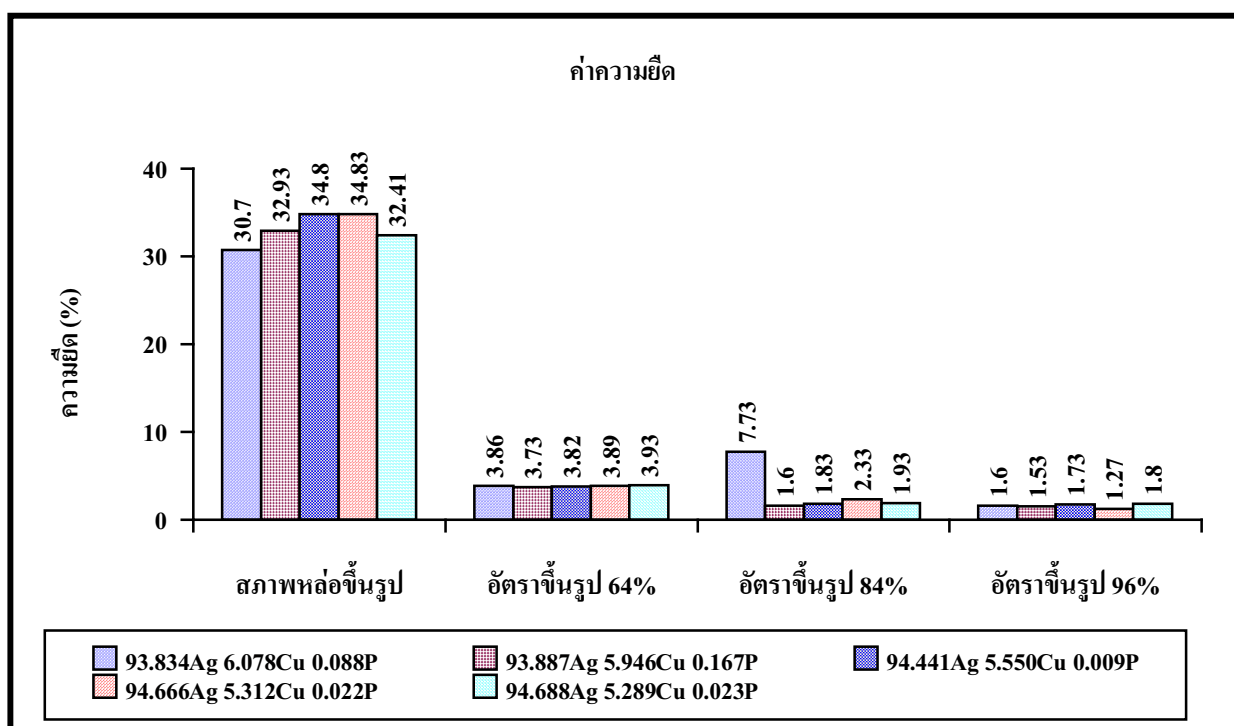
ภาพที่ 2-13 ค่าความยืดที่เปลี่ยนแปลงของขึ้นทดสอบสภาพต่างๆ



ภาพที่ 2-14 ค่าความยืดที่เปลี่ยนแปลงของขึ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ เรียงตามปริมาณฟอสฟอรัสจากน้อยไปมาก



ภาพที่ 2-15 ค่าความยืดที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเส้นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ เรียงตามปริมาณทองแดงจากน้อยไปมาก



ภาพที่ 2-16 ค่าความยืดที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเส้นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ เรียงตามปริมาณโลหะเงินจากน้อยไปมาก

โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเพื่อการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

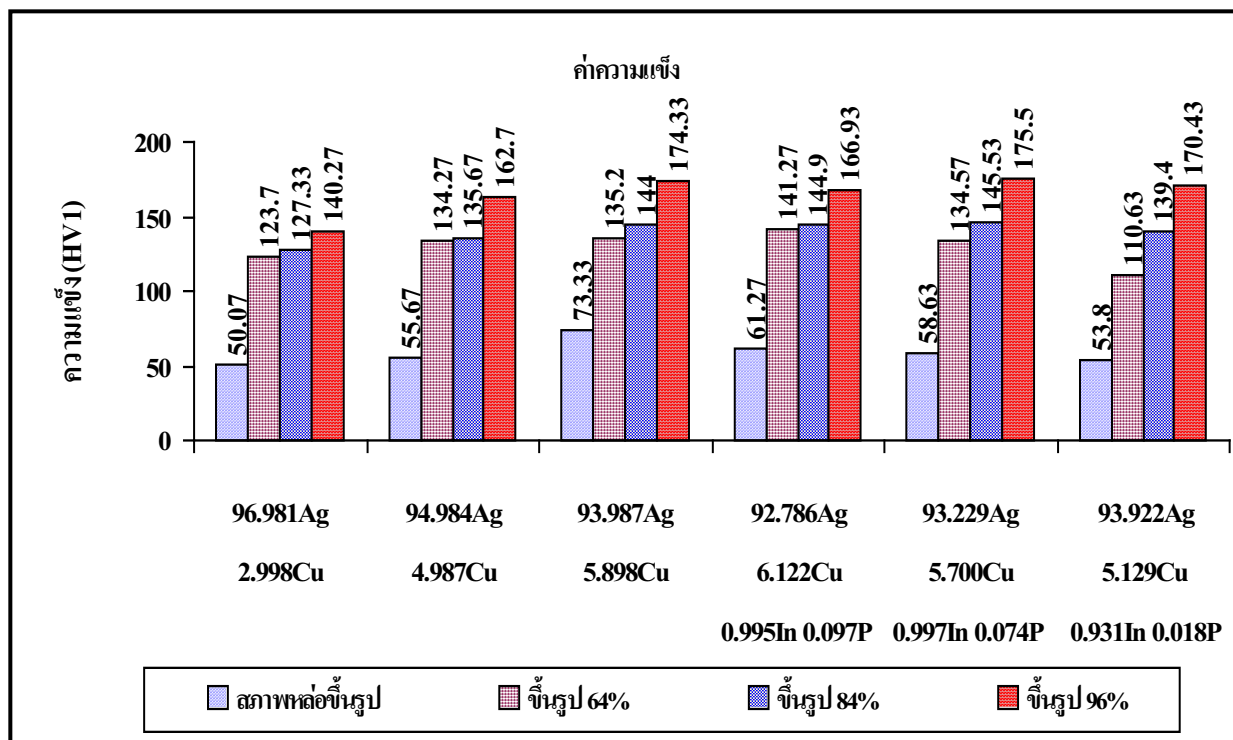
รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรรณศรี

2. Ag+Cu+In+P

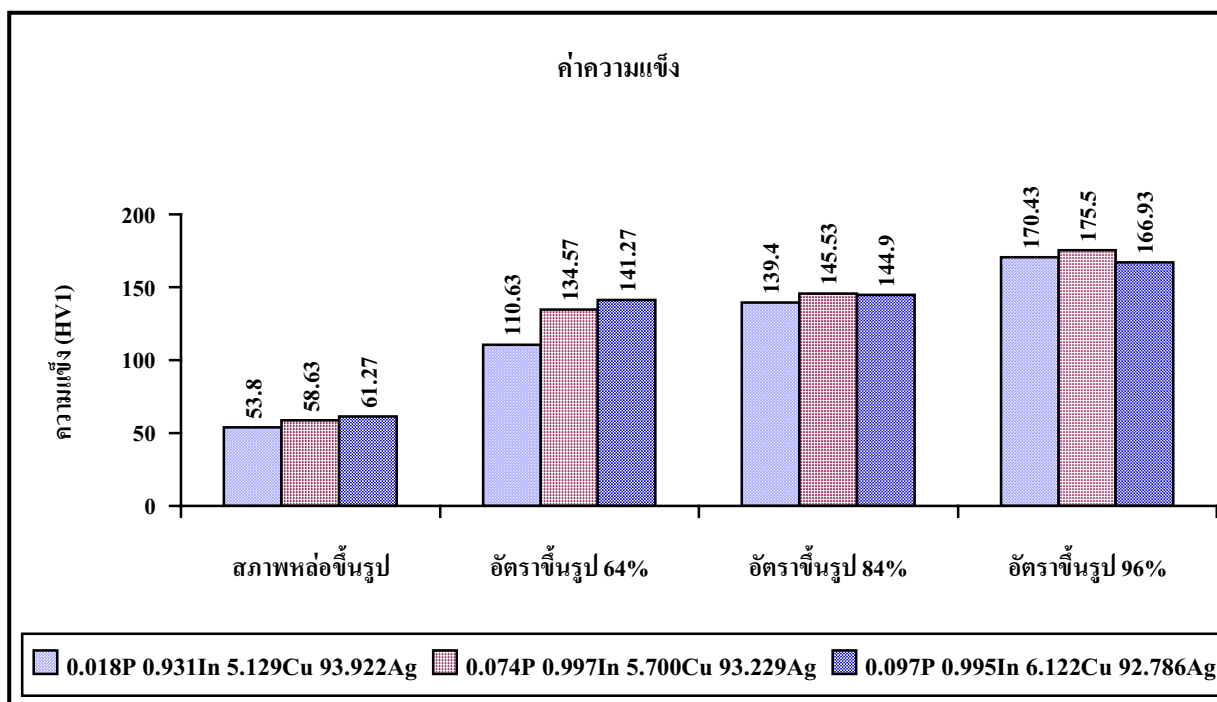
ผลจากการศึกษาวิเคราะห์ค่าความแข็งของโลหะเงินเจือทองแดง-อินเดียม-ฟอสฟอรัสที่สภาพหล่อขึ้นรูปและขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ พบว่า ที่สภาพหล่อขึ้นรูป เมื่อกำหนดให้ปริมาณทองแดงและอินเดียม มีค่าคงที่ และวิเคราะห์ปริมาณอินเดียมเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งของโลหะเงินเจือทองแดง-อินเดียม-ฟอสฟอรัส มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุด 61.27 HV1 ที่อัตราส่วนผสมฟอสฟอรัส 0.097%P โดยความแข็งที่เพิ่มเกิดจากการที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น ดังตัวอย่างเช่นที่อัตราส่วนผสม 0.018%P, 0.931%In, 5.129%Cu, 93.922%Ag ค่าความแข็งมีค่าเท่ากับ 53.80 HV1 เมื่อปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเป็น 0.097%P, 0.995%In, 6.122%Cu, 92.786%Ag ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเป็น 61.27 HV1 และนอกจากนี้อัตราการขึ้นรูปเย็นที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความแข็งของโลหะเงินเจือทองแดง-อินเดียม-ฟอสฟอรัสแปรผันตามอัตราการขึ้นรูปเย็นที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ที่อัตราส่วนผสม 0.018%P, 0.931%In, 5.129%Cu, 93.922%Ag ที่สภาพหล่อขึ้นรูปมีค่าความแข็ง 53.80 HV1 เมื่ออัตราการขึ้นรูปเย็นเพิ่มขึ้นเป็น 64%RA., 84%RA. และ 96%RA. ค่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นเป็น 110.63 HV1, 139.40 HV1 และ 170.43 HV1 ตามลำดับ ดังผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 2-11 และภาพที่ 2-17 ถึงภาพที่ 2-21

ตารางที่ 2-11 ผลการวิเคราะห์ทดสอบค่าความแข็งเฉลี่ยของโลหะเงินเจือทองแดง อินเดียม และฟอสฟอรัส สภาพหล่อขึ้นรูปและขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ

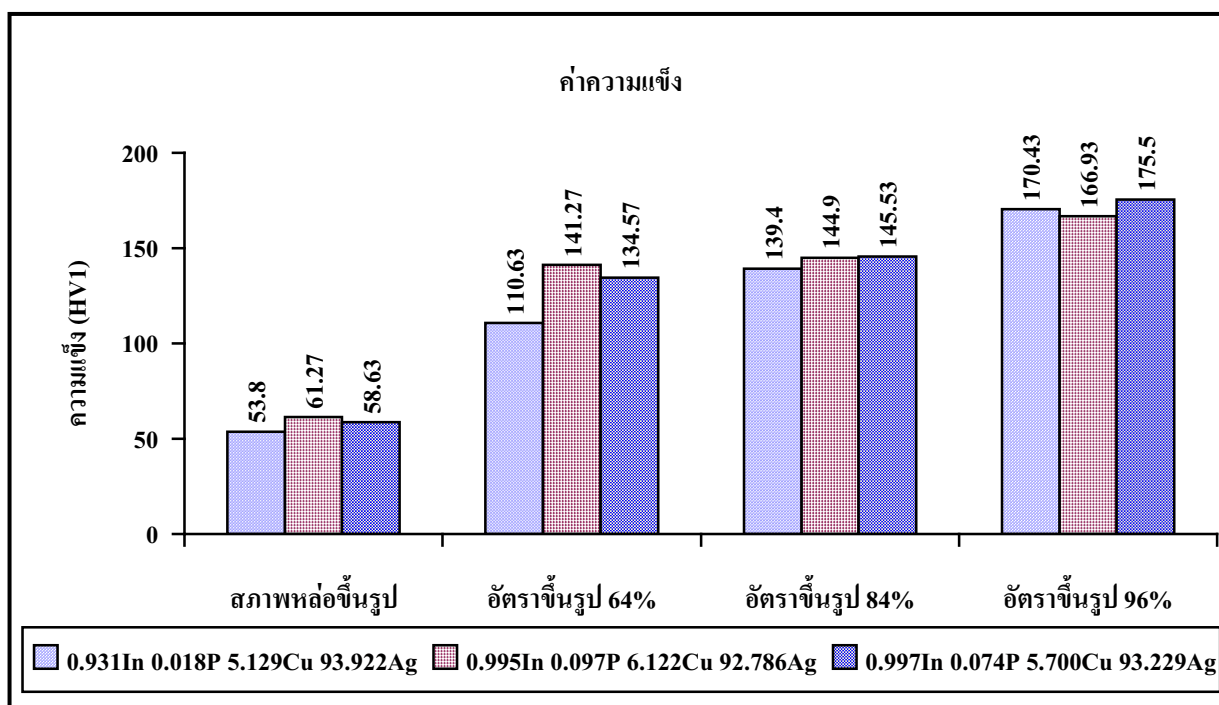
ปริมาณสารเจือ (%)				ค่าความแข็ง HV1			
				สภาพหล่อขึ้นรูป	สภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ (%)		
					64%RA.	84%RA.	96%RA.
P	In	Cu	Ag				
0.018	0.931	5.129	93.922	53.80	110.63	139.40	170.43
0.074	0.997	5.700	93.229	58.63	134.57	145.53	175.50
0.097	0.995	6.122	92.786	61.27	141.27	144.90	166.93



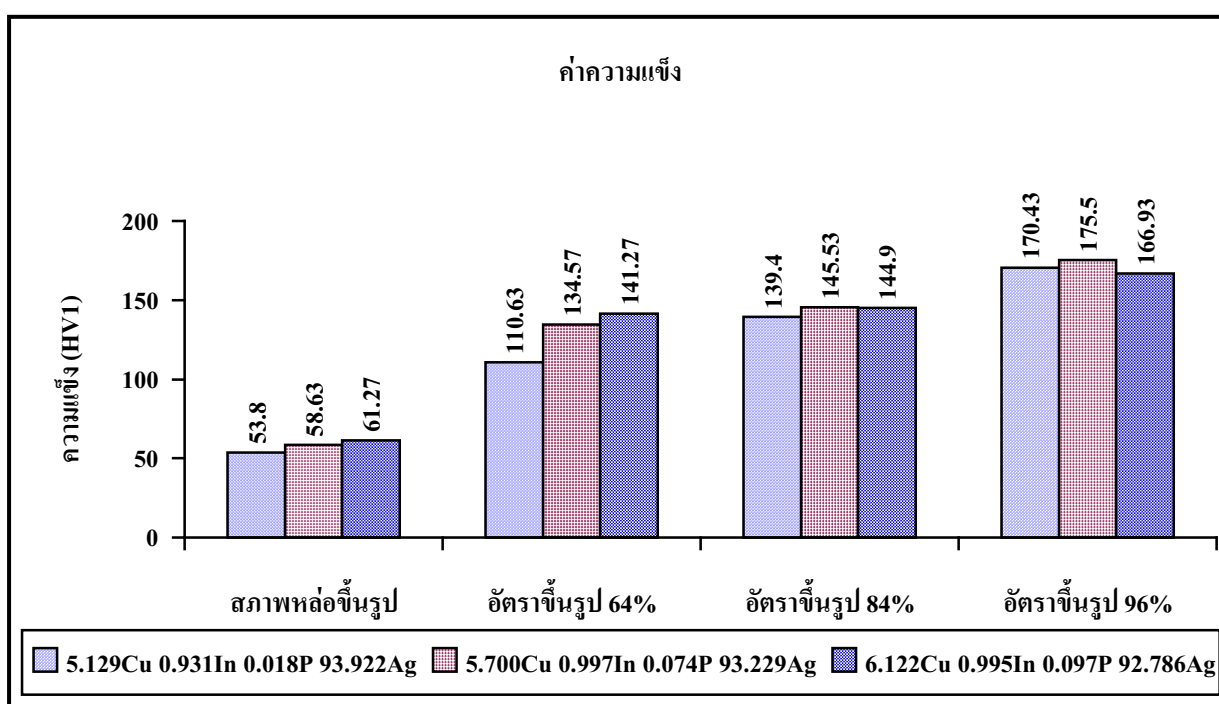
ภาพที่ 2-17 ค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพต่างๆ



ภาพที่ 2-18 ค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ เรียงตามปริมาณฟอสฟอรัสจากน้อยไปมาก



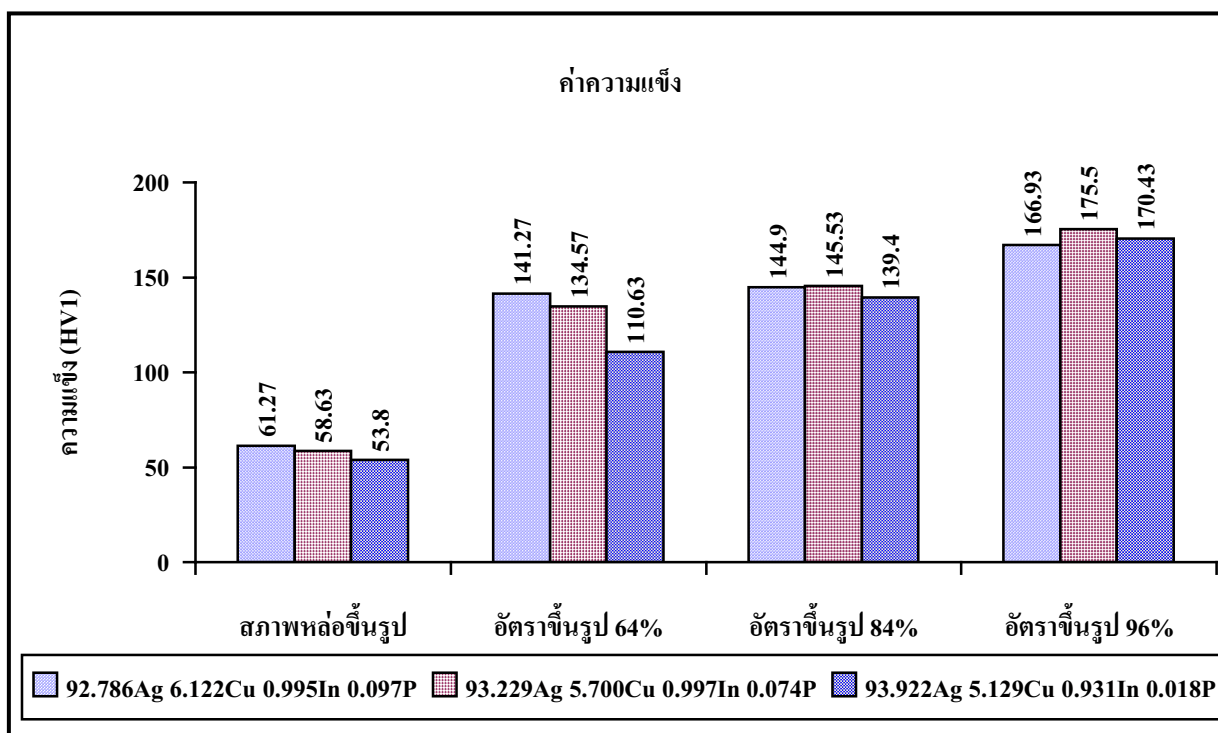
ภาพที่ 2-19 ค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ เรียงตามปริมาณอินเดียมจากน้อยไปมาก



ภาพที่ 2-20 ค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ เรียงตามปริมาณทองแดงจากน้อยไปมาก

โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเพื่อการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรรณศรี



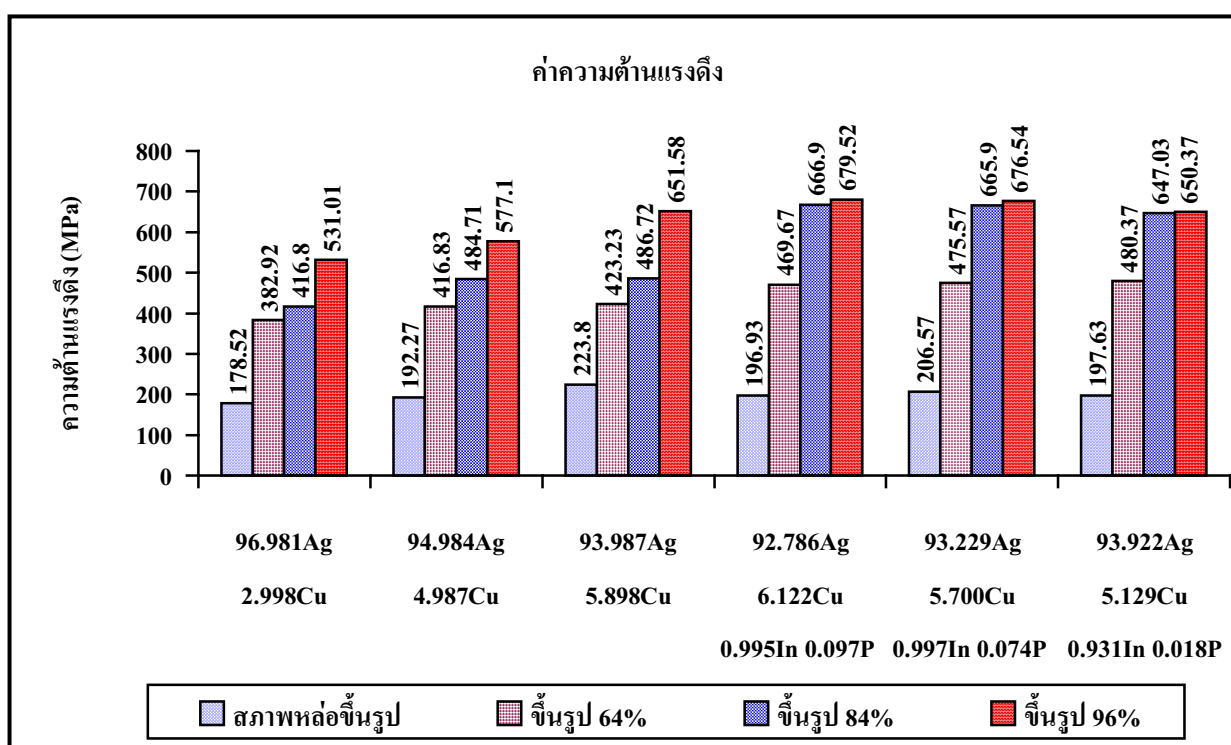
ภาพที่ 2-21 ค่าความแข็งที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ เรียงตามปริมาณโลหะเงินจากน้อยไปมาก

ผลจากการศึกษาวิเคราะห์ค่าความต้านแรงดึงของโลหะเงินเจือทองแดง-อินเดียม-ฟอสฟอรัส ที่สภาพหล่อขึ้นรูปและขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ พบว่า ที่สภาพหล่อขึ้นรูป เมื่อกำหนดให้ปริมาณทองแดงและอินเดียม มีค่าคงที่ และวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น ค่าความต้านแรงดึงของโลหะเงินเจือทองแดง-อินเดียม-ฟอสฟอรัส มีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุด 206.57 MPa ที่อัตราส่วนผสมฟอสฟอรัส 0.074%P หลังจากนั้นค่าความต้านแรงดึงจะเริ่มลดลง ดังแสดงในภาพที่ 2-23 โดยความต้านแรงดึงที่เพิ่มเกิดจากการที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น ดังตัวอย่างเช่นที่อัตราส่วนผสม 0.018%P, 0.931%In, 5.129%Cu, 93.922%Ag ค่าความต้านแรงดึงมีค่าเท่ากับ 206.57 MPa เมื่อปริมาณอินเดียมเพิ่มขึ้นเป็น 0.097%P, 0.997%In, 5.700%Cu, 93.229%Ag ค่าความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้นเป็น 206.57 MPa แต่ถ้าปริมาณอินเดียมเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 0.097%P โลหะเงินเจือทองแดง-อินเดียม-ฟอสฟอรัสมีแนวโน้มค่าความต้านแรงดึงลดลง ตัวอย่างเช่นที่อัตราส่วนผสม 0.097%P, 0.995%In, 6.122%Cu, 92.786%Ag ค่าความต้านแรงดึงมีค่าเท่ากับ 196.93 MPa และนอกจากนี้อัตราการขึ้นรูปเย็นที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความต้านแรงดึงของโลหะเงินเจือทองแดง-อินเดียม-ฟอสฟอรัสแปรผันตามอัตราการขึ้นรูปเย็นที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ที่อัตราส่วนผสม 0.018%P, 0.931%In, 5.129%Cu, 93.922%Ag ที่สภาพหล่อขึ้นรูปมีค่าความต้านแรงดึง 197.63 MPa เมื่ออัตราการขึ้นรูปเย็นเพิ่มขึ้นเป็น 64%RA., 84%RA. และ 96%RA. ค่าความต้านแรงดึง

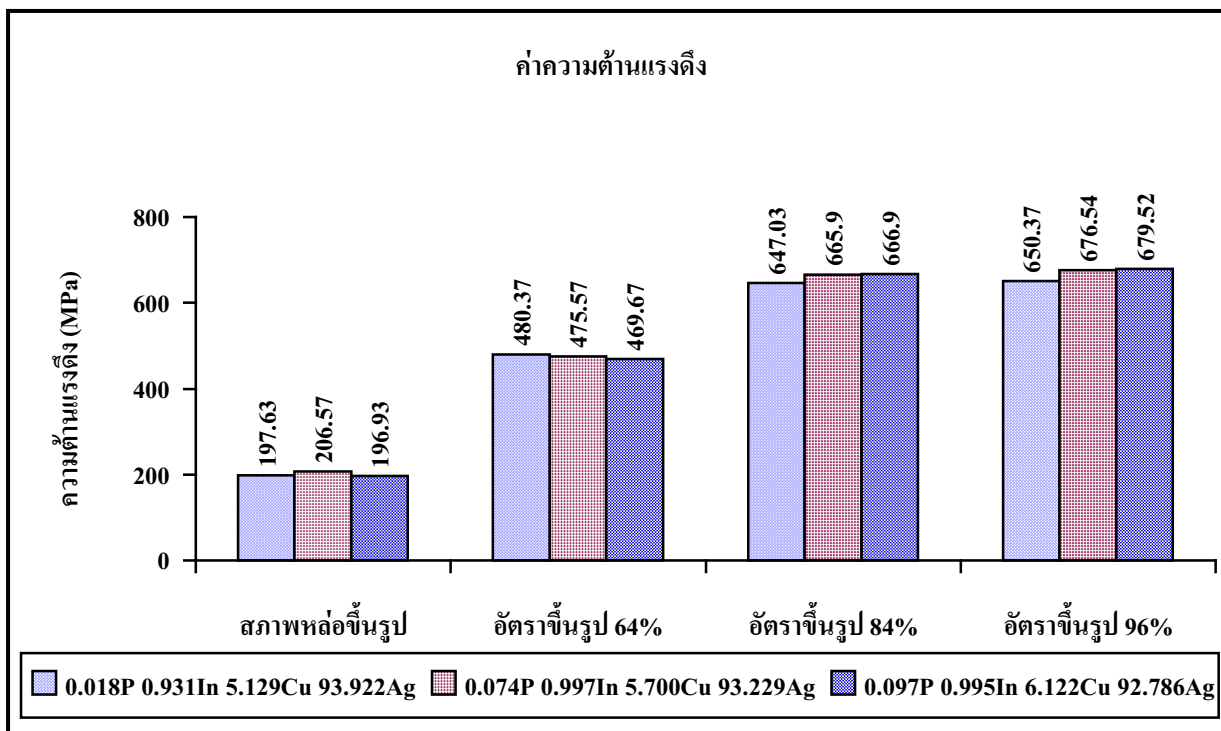
จะเพิ่มขึ้นเป็น 480.37 MPa, 647.03 MPa และ 650.37 MPa ตามลำดับ ดังผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 2-12 และภาพที่ 2-22 ถึงภาพที่ 2-26

ตารางที่ 2-12 ผลการวิเคราะห์ทดสอบค่าความต้านแรงดึงของโลหะเงินเจือทองแดง อินเดียม และฟอสฟอรัส สภาพหล่อขึ้นรูปและขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ

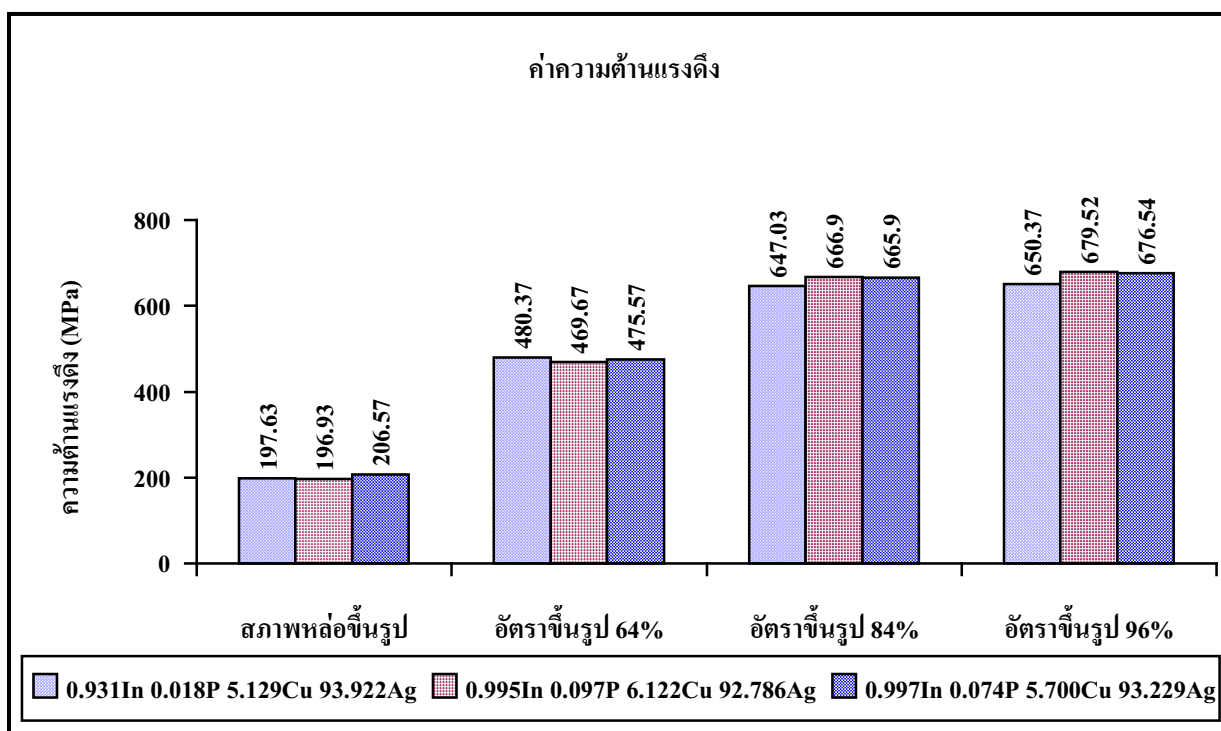
ปริมาณสารเจือ (%)				ค่าความต้านแรงดึง (Mpa)			
				สภาพ	สภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ (%)		
P	In	Cu	Ag	หล่อขึ้นรูป	64%RA.	84%RA.	96%RA.
0.018	0.931	5.129	93.922	197.63	480.37	647.03	650.37
0.074	0.997	5.700	93.229	206.57	475.57	665.90	676.54
0.097	0.995	6.122	92.786	196.93	469.67	666.90	679.52



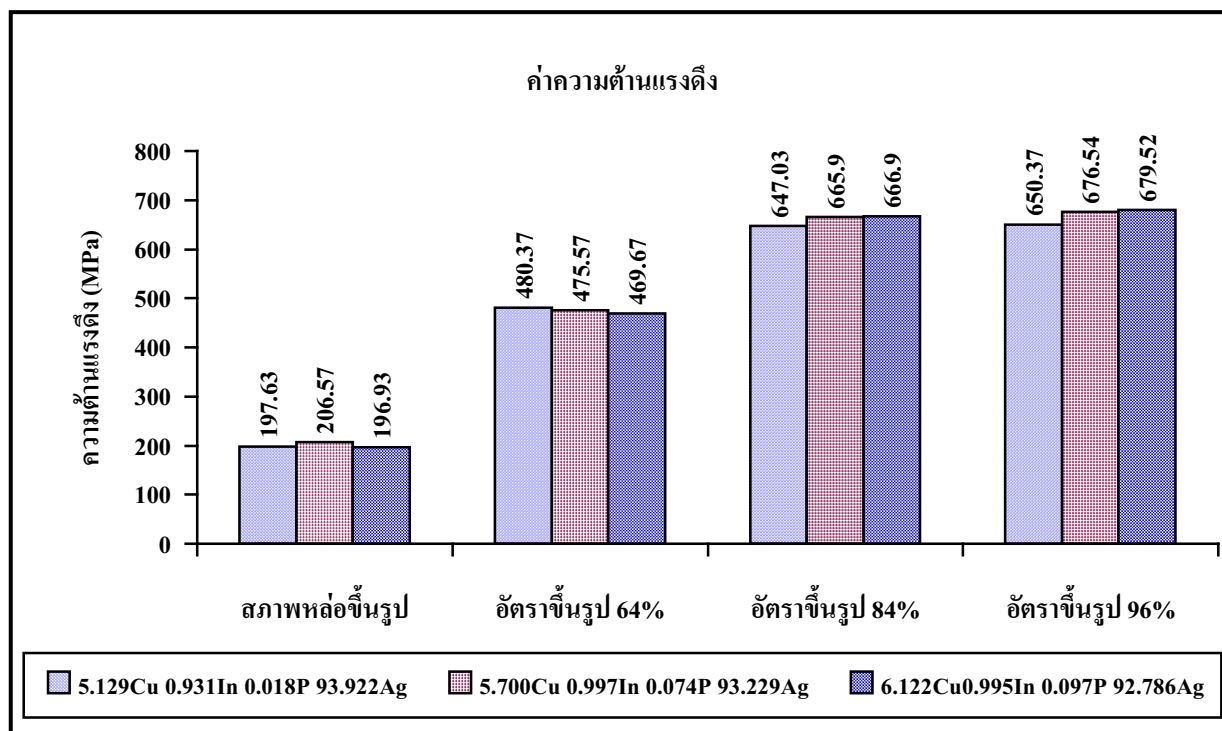
ภาพที่ 2-22 ค่าความต้านแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงของขึ้นทดสอบสภาพต่างๆ



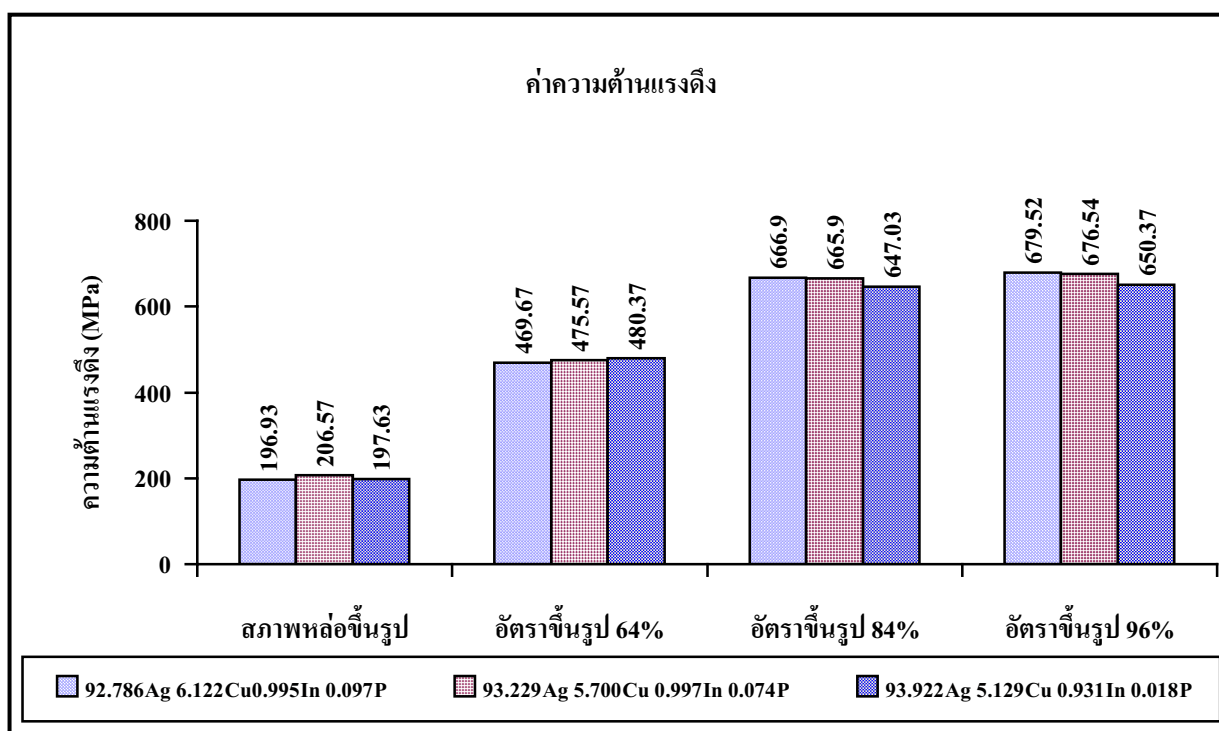
ภาพที่ 2-23 ค่าความต้านแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ
เรียงตามปริมาณฟอสฟอรัสจากน้อยไปมาก



ภาพที่ 2-24 ค่าความต้านแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ
เรียงตามปริมาณอินเดียมจากน้อยไปมาก



ภาพที่ 2-25 ค่าความต้านแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ
เรียงตามปริมาณทองแดงจากน้อยไปมาก

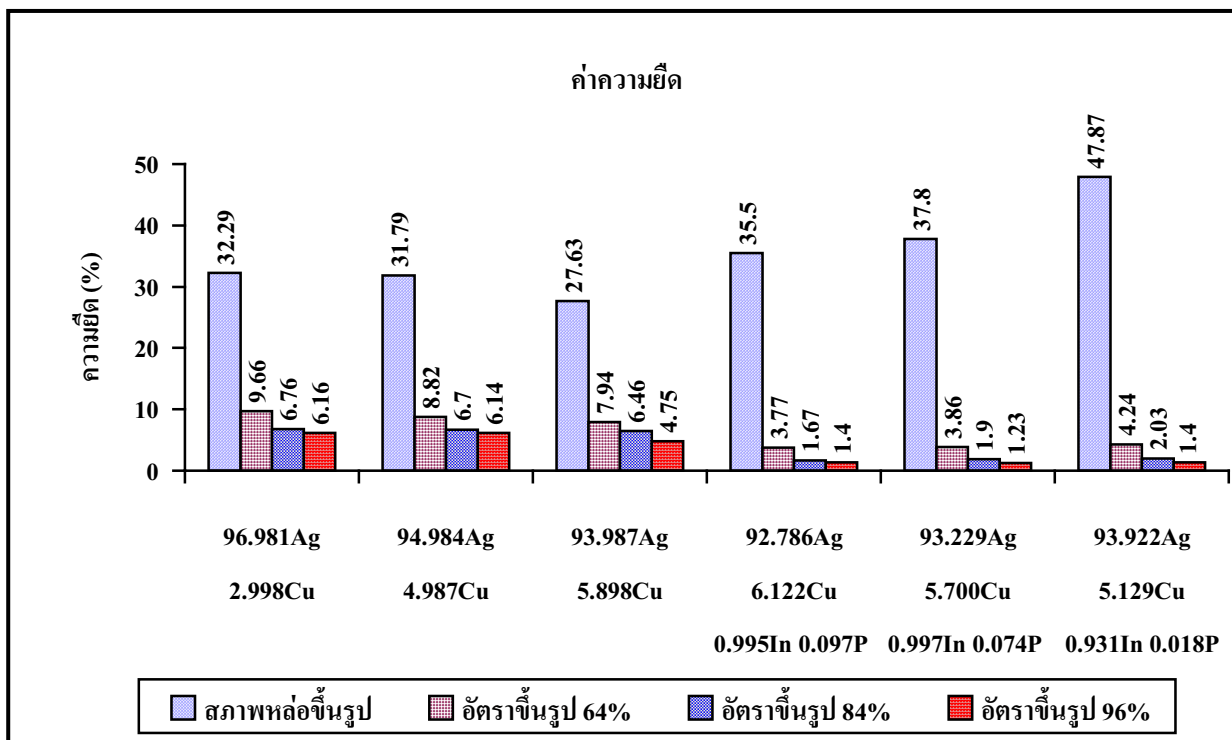


ภาพที่ 2-26 ค่าความต้านแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ
เรียงตามปริมาณโลหะเงินจากน้อยไปมาก

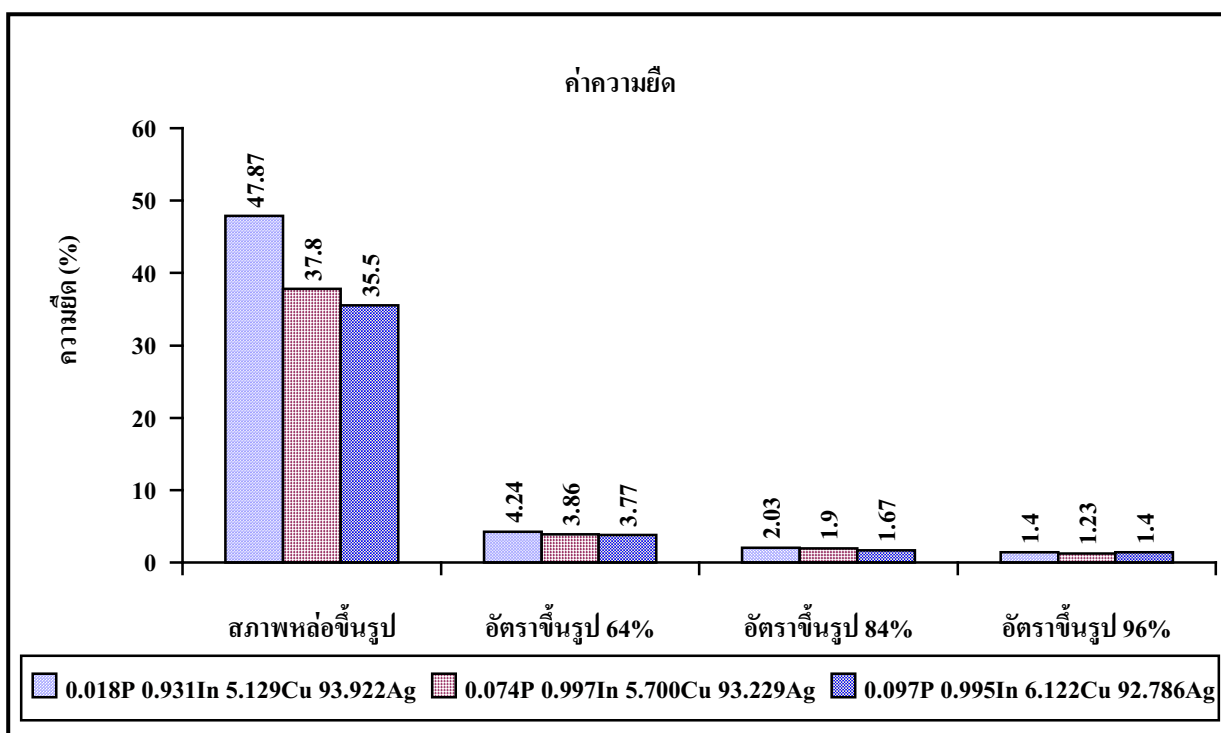
ผลจากการศึกษาวิเคราะห์ค่าความยี้ดของโลหะเงินเจือทองแดง-อินเดียม-ฟอสฟอรัสที่สภาพหล่อขึ้นรูปและขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ พบว่า เมื่อกำหนดให้ปริมาณทองแดงและอินเดียม มีค่าคงที่ และวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น ค่าความยี้ดมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผกผันกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าความยี้ดสูงสุดที่อัตราส่วนผสม 0.018%P, 0.931%In, 5.129%Cu, 93.922%Ag มีค่าความยี้ดค่าเท่ากับ 47.87% และเมื่อปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นค่าความยี้ดมีค่าลดลงแปรผกผันกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นมีค่าลดลงต่ำสุดเท่ากับ 35.50 ที่อัตราส่วนผสม 0.097%P, 0.995%In, 6.122%Cu, 92.786%Ag และนอกจากนี้อัตราการขึ้นรูปเย็นที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความยี้ดของโลหะเงินเจือทองแดง-อินเดียม-ฟอสฟอรัสแปรผกผันกับอัตราการขึ้นรูปเย็นที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ที่อัตราส่วนผสม 0.018%P, 0.931%In, 5.129%Cu, 93.922%Ag ที่สภาพหล่อขึ้นรูปมีค่าความยี้ด 47.87% เมื่ออัตราการขึ้นรูปเย็นเพิ่มขึ้นเป็น 64%RA., 84%RA. และ 96%RA. ค่าความยี้ดจะลดลงเหลือ 4.24%, 2.03% และ 1.40% ตามลำดับ ดังผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 2-13 และภาพที่ 2-27 ถึงภาพที่ 2-31

ตารางที่ 2-13 ผลการวิเคราะห์ทดสอบค่าความยี้ดโลหะเงินเจือทองแดง อินเดียม และฟอสฟอรัสสภาพหล่อขึ้นรูปและขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ

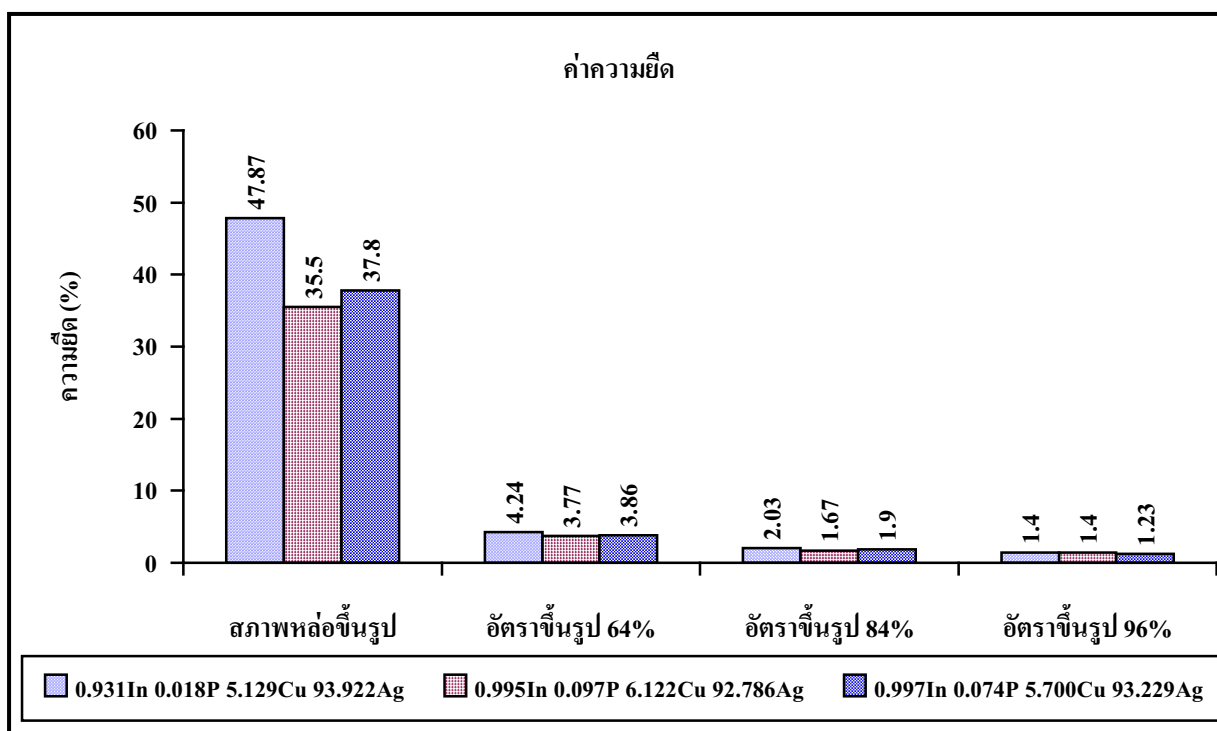
ปริมาณสารเจือ (%)				ค่าความยี้ด (%)			
				สภาพ	สภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ (%)		
P	In	Cu	Ag	หล่อขึ้นรูป	64%RA.	84%RA.	96%RA.
0.018	0.931	5.129	93.922	47.87	4.24	2.03	1.40
0.074	0.997	5.700	93.229	37.80	3.86	1.90	1.23
0.097	0.995	6.122	92.786	35.50	3.77	1.67	1.40



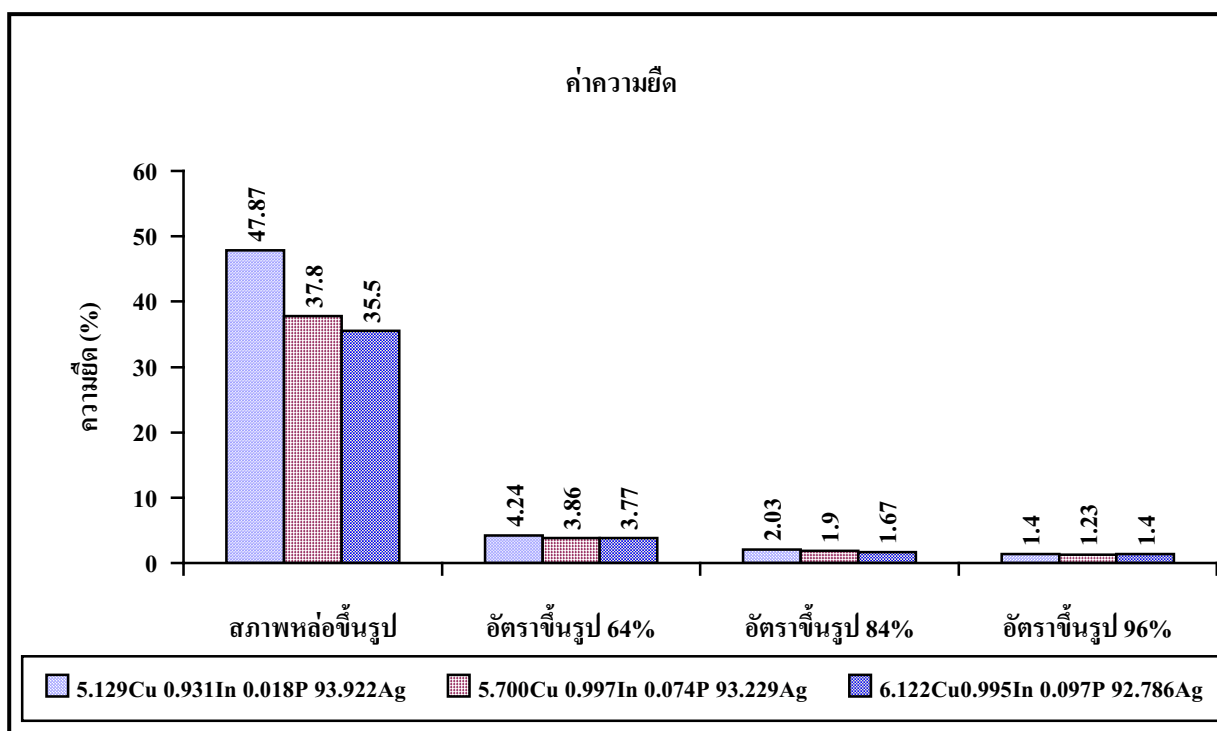
ภาพที่ 2-27 ค่าความยืดที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพต่างๆ



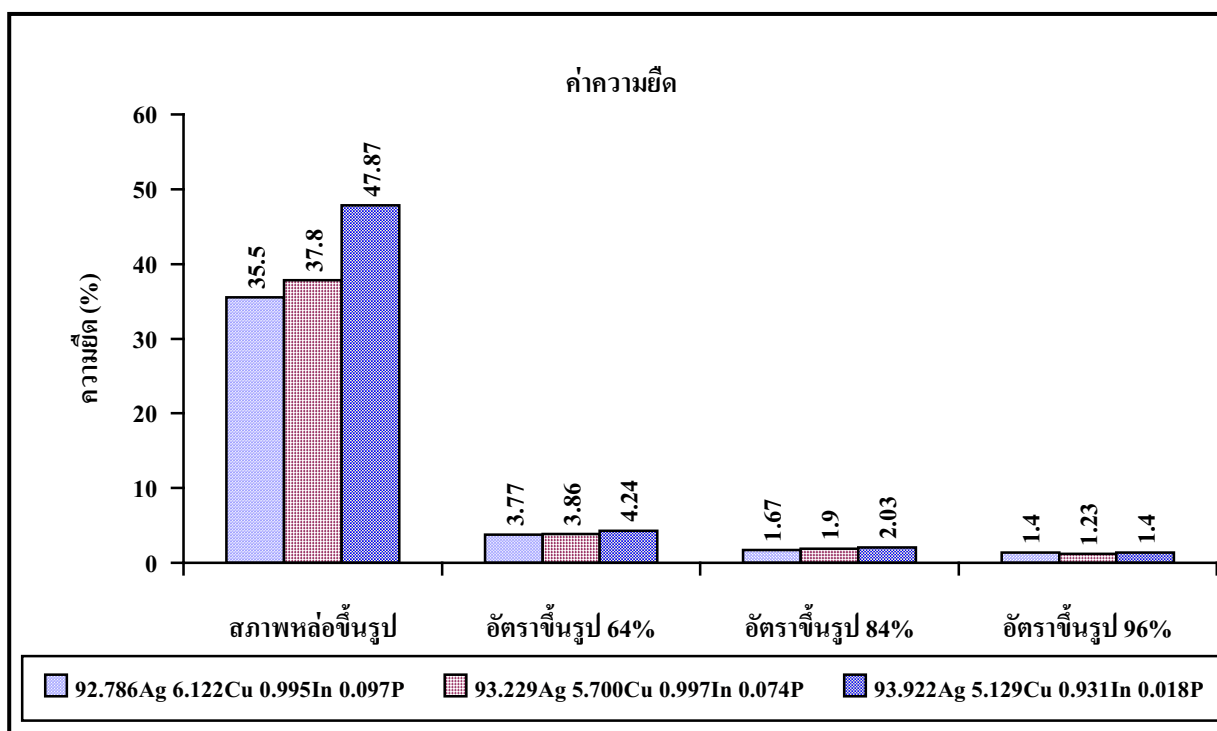
ภาพที่ 2-28 ค่าความยืดที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปขึ้นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ เรียงตามปริมาณฟอสฟอรัสจากน้อยไปมาก



ภาพที่ 2-29 ค่าความยืดที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ เรียงตามปริมาณอินเดียมจากน้อยไปมาก



ภาพที่ 2-30 ค่าความยืดที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ เรียงตามปริมาณทองแดงจากน้อยไปมาก



ภาพที่ 2-31 ค่าความยืดที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูปต่างๆ เรียงตามปริมาณโลหะเงินจากน้อยไปมาก

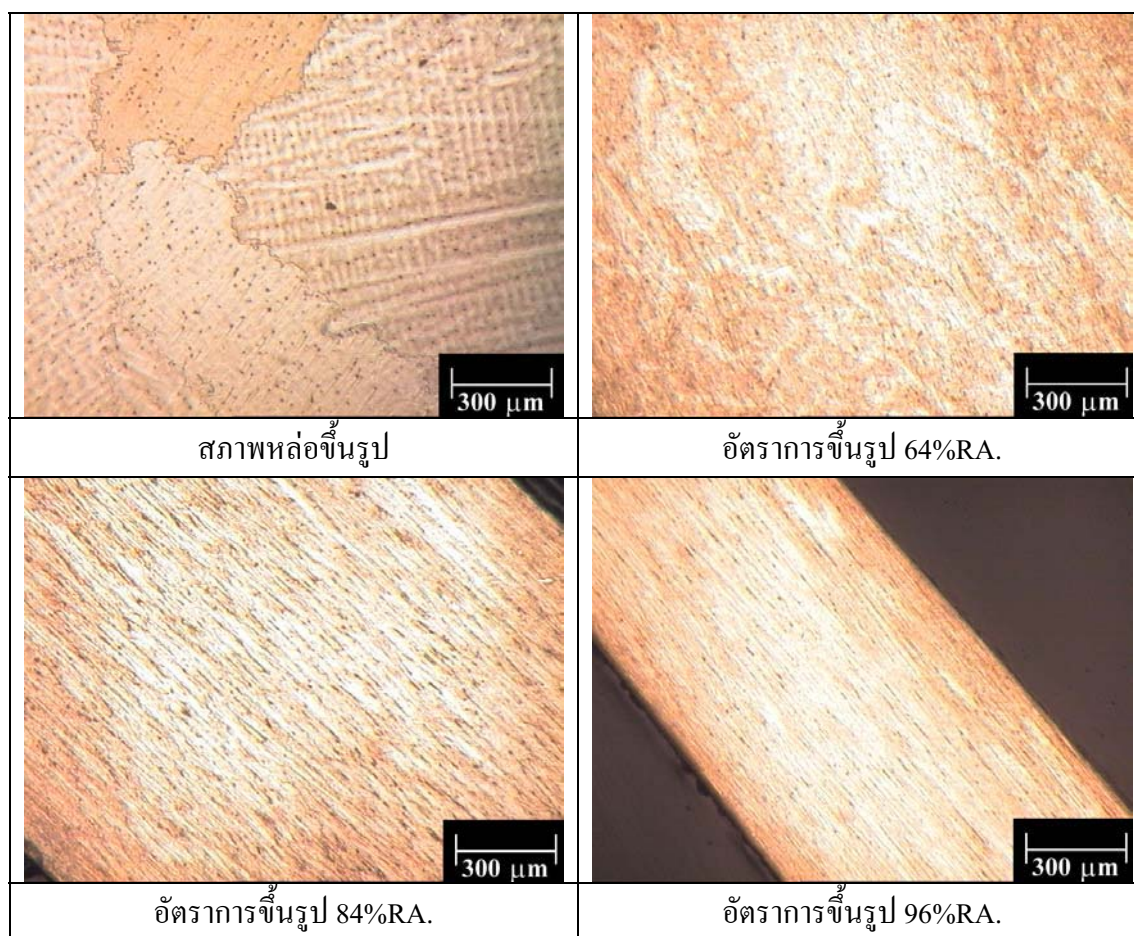
2.4 ดำเนินการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบสภาพต่างๆ เพื่อเป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคจากสภาพหล่อขึ้นรูปและสภาพขึ้นรูปเย็นที่อัตราการขึ้นรูป 64%RA., 84%RA. และ 96%RA.

2.4.1 อัตราส่วนผสม 0.009P 5.550Cu 94.441Ag



ภาพที่ 2-32 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงิน 0.009P 5.550Cu 94.441Ag ที่สภาพต่างๆ

2.4.2 อัตราส่วนผสม 0.022P 5.312Cu 94.666Ag



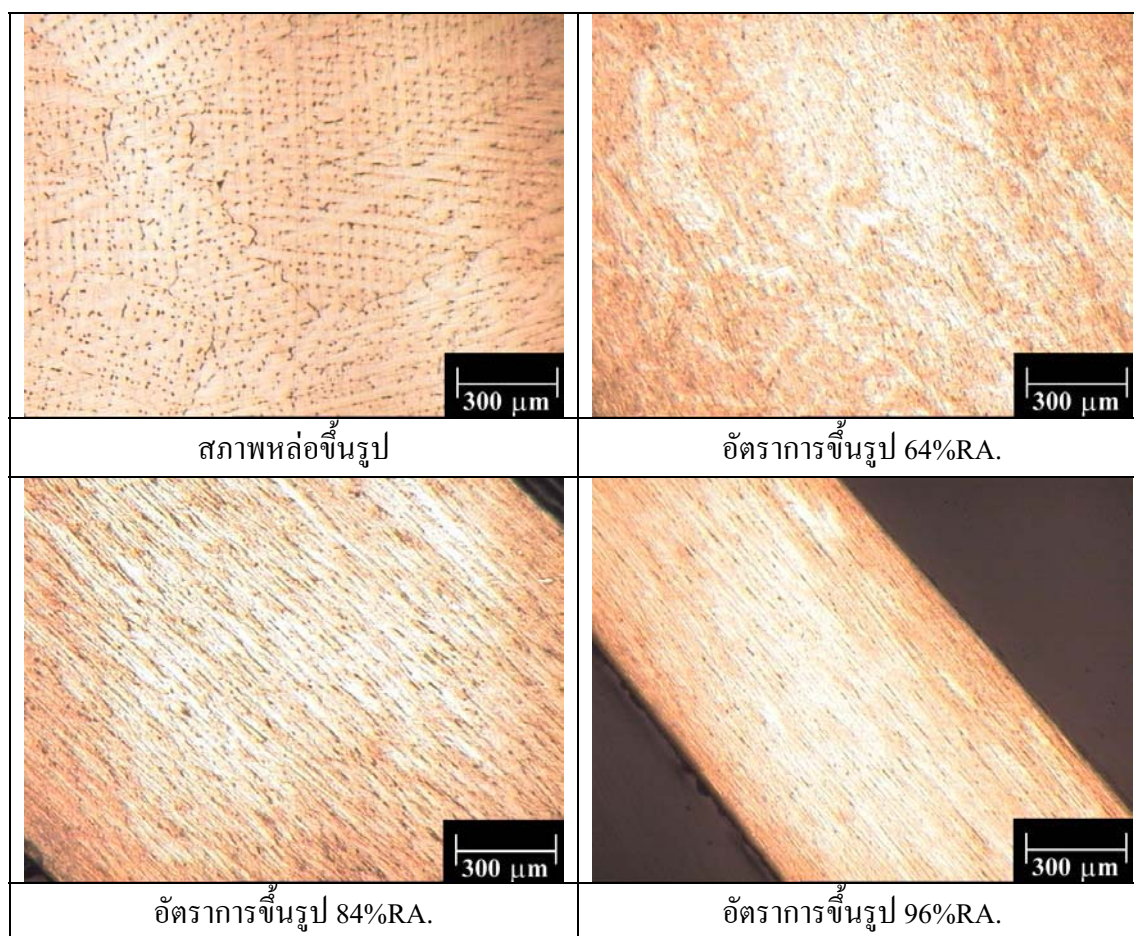
ภาพที่ 2-33 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงิน 0.022P 5.312Cu 94.666Ag ที่สภาพต่างๆ

2.4.3 อัตราส่วนผสม 0.023P 5.289Cu 94.688Ag



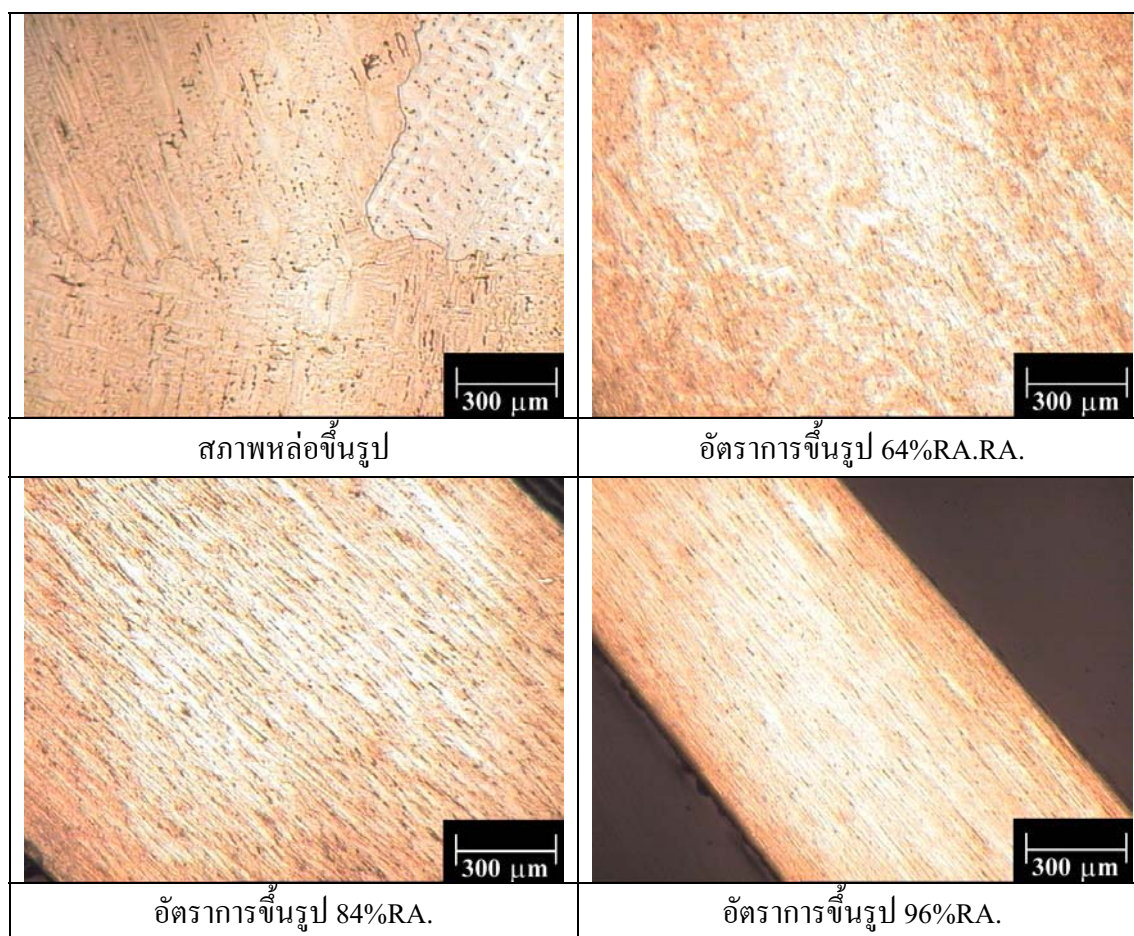
ภาพที่ 2-34 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงิน 0.023P 5.289Cu 94.688Ag ที่สภาพต่างๆ

2.4.4 อัตราส่วนผสม 0.088P 6.078Cu 93.834Ag



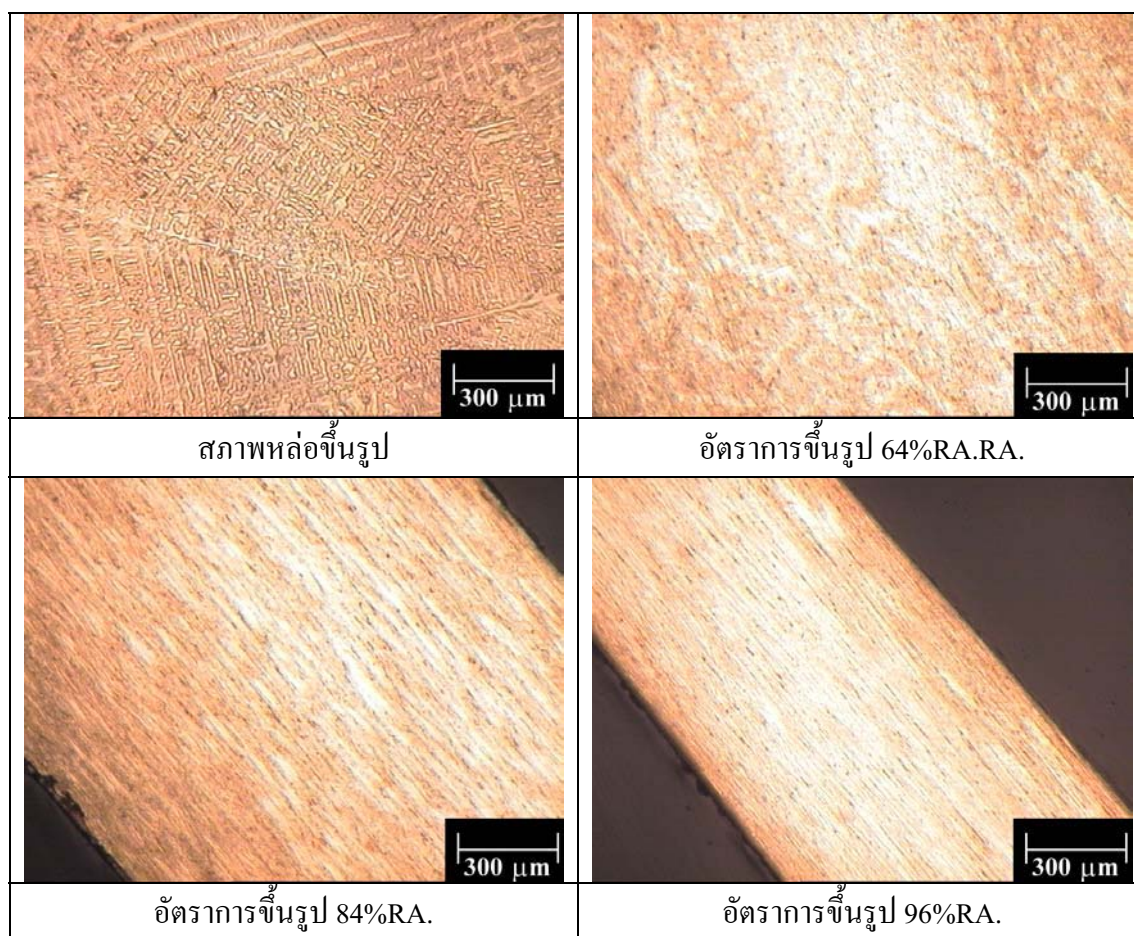
ภาพที่ 2-35 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงิน 0.088P 6.078Cu 93.834Ag ที่สภาพต่างๆ

2.4.5 อัตราส่วนผสม 0.167P 5.946Cu 93.887Ag



ภาพที่ 2-36 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงิน 0.167P 5.946Cu 93.887Ag ที่สภาพต่างๆ

2.4.6 อัตราส่วนผสม 0.018P 0.931In 5.129Cu 93.922Ag



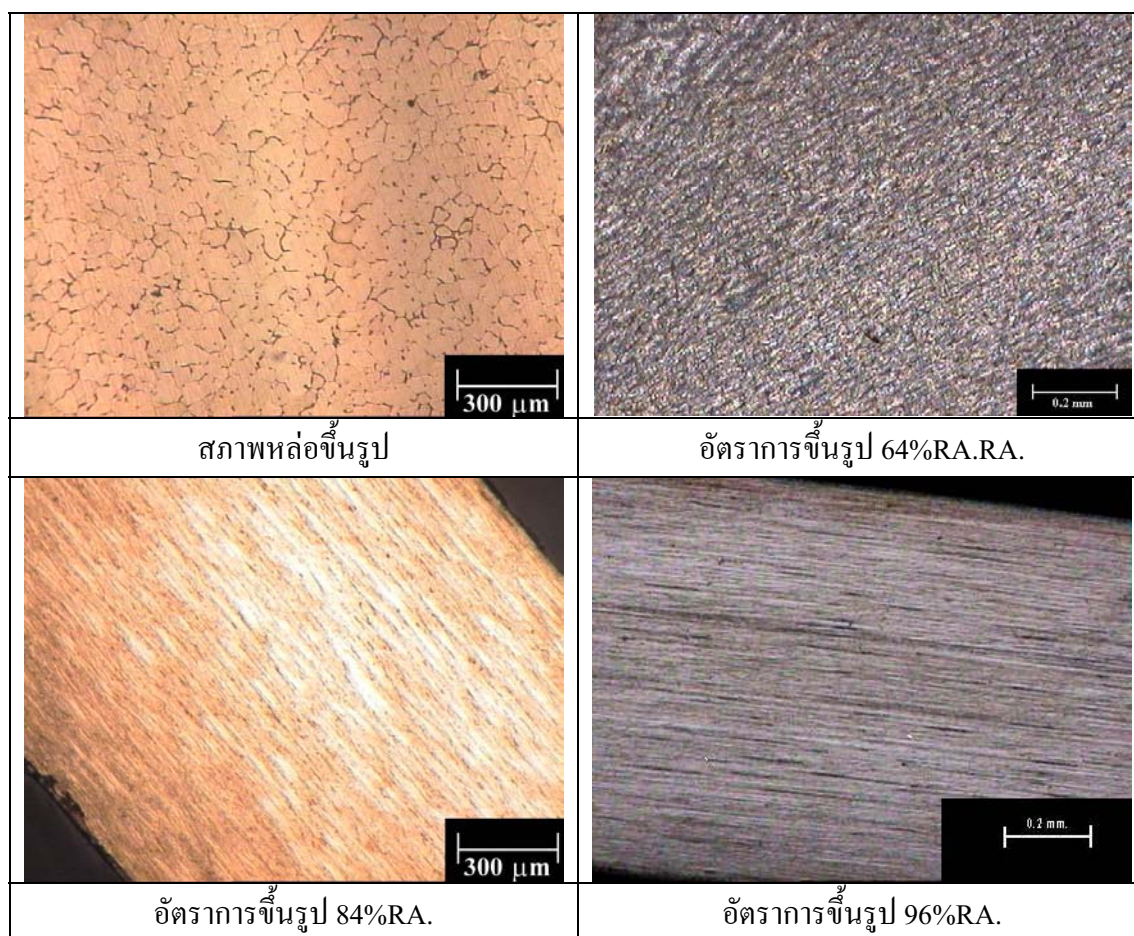
ภาพที่ 2-37 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงิน 0.018P 0.931In 5.129Cu 93.922Ag ที่สภาพต่างๆ

2.4.7 อัตราส่วนผสม 0.074P 0.997In 5.700Cu 93.229Ag



ภาพที่ 2-38 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงิน 0.074P 0.997In 5.700Cu 93.229Ag ที่สภาพต่างๆ

2.4.8 อัตราส่วนผสม 0.097P 0.995In 6.122Cu 92.786Ag



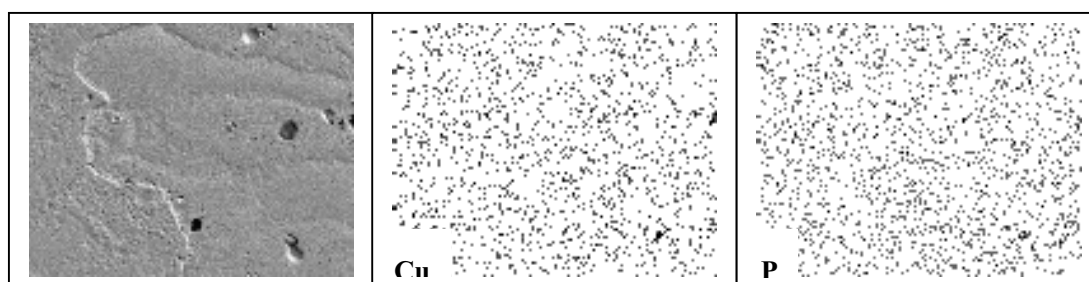
ภาพที่ 2-39 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงิน 0.097P 0.995In 6.122Cu 92.786Ag ที่สภาพต่างๆ

จากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินเจือทองแดง-อินเดียม-ฟอสฟอรัส สภาพหล่อขึ้นรูป พบว่าโครงสร้างของจุลภาคของโลหะเงินเจือเกือบทุกอัตราส่วนผสม ซึ่งมีลักษณะเป็นโครงสร้างเดนไดรต์ ดังแสดงในภาพที่ 2-37 ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ไม่แข็งแรงและไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน เนื่องจากภายในแกนและช่องว่างระหว่างแกนเดนไดรต์ มีส่วนผสมของโลหะเงินสเตอร์ลิงไม่สม่ำเสมอ แต่ในอัตราส่วนผสม 0.074%P 0.997%In 5.700%Cu 93.229%Ag และ 0.097%P 0.995%In 6.122%Cu 92.786%Ag ที่มีโครงสร้างจุลภาคในสภาพหล่อขึ้นรูปที่แตกต่างจากอัตราส่วนผสมอื่น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 2-38 และภาพที่ 2-39

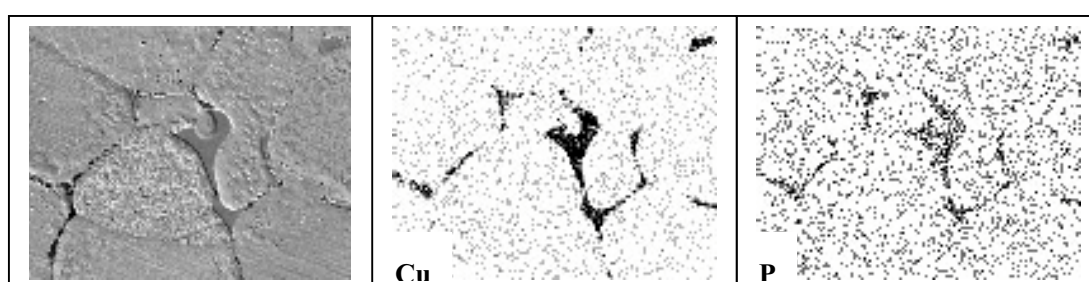
และเมื่อทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุเจือทองแดงและฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง SEM พบว่าธาตุเจือจะมีการกระจายทั่วไป แต่จะพบมากบริเวณขอบเกรนหรือบริเวณเฟสที่มีสีดำ โดยจะพบว่าธาตุฟอสฟอรัสจะอยู่ในบริเวณเดียวกับธาตุทองแดง ซึ่งสามารถสังเกตได้ชัดเจนดังภาพที่ 2-40(ข) และ 2-40(ค) ซึ่งผู้วิจัยสันนิษฐานว่าน่าจะเป็นส่วนของอัลลอยทองแดง-ฟอสฟอรัส ที่ใช้ในการทดลอง

โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเจือสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

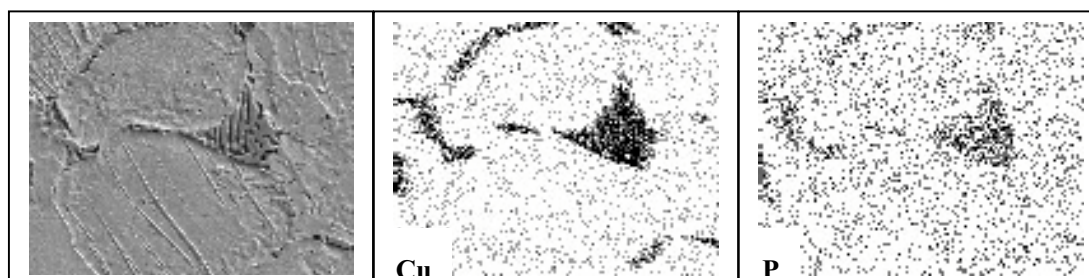
รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรรณศรี



ก) การกระจายตัวธาตุเจือของโลหะเงินเจือ 0.018%P 0.931%In 5.129%Cu 93.922%Ag



ข) การกระจายตัวธาตุเจือของโลหะเงินเจือ 0.074%P 0.997%In 5.700%Cu 93.229%Ag



ค) การกระจายตัวธาตุเจือของโลหะเงินเจือ 0.097%P 0.995%In 6.122%Cu 92.786%Ag

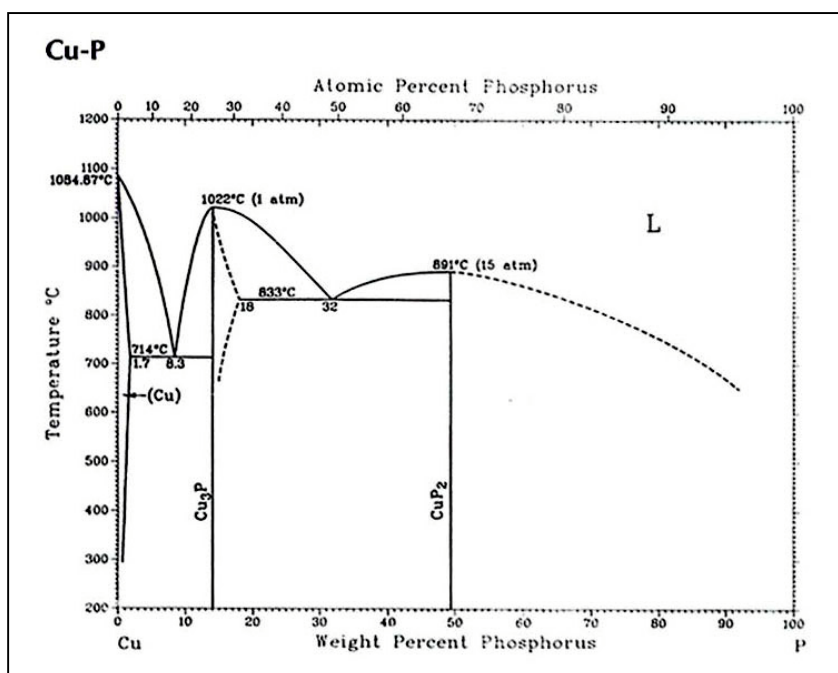
ภาพที่ 2-40 การวิเคราะห์การกระจายตัวธาตุเจือด้วย SEM ของโลหะเงินเจือสภาพหล่อขึ้นรูป

ซึ่งสาเหตุของขึ้นทศสอบที่อัตราส่วนผสม 0.074%P 0.997%In 5.700%Cu 93.229%Ag และ 0.097%P 0.995%In 6.122%Cu 92.786%Ag มีโครงสร้างไม่เป็นเดนไดรต์แต่มีโครงสร้างที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยตามทฤษฎีแล้วการที่โครงสร้างจะมีเกรนที่สม่ำเสมอจะเกิดขึ้นเมื่อโลหะหลอมเหลวแข็งตัวจะมีกลไกการสร้างผลึกหรือเกรนเกิดขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องมีนิวเคลียสเกิดขึ้นก่อน โดยวิธีที่จะเพิ่มจำนวนของนิวเคลียสก็คือการเติมสารประกอบที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าจุดหลอมเหลวของโลหะ ธาตุหรือสารประกอบเหล่านี้ต้องไม่ละลายรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับโลหะหลอมเหลว เมื่ออุณหภูมิลดลงจึง

โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเจือสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรรณศรี

เป็นของแข็งแขวนลอย หรือในอีกกรณีธาตุผสมต้องมีความสามารถในการละลายในโลหะผสมได้ต่ำ ซึ่งจะทำให้เกิดการแยกตัวออกมาก่อนที่โลหะหลอมเหลวจะเริ่มแข็งตัว นั่นก็คือการสร้างนิวเคลียสเทียมจำนวนมากให้กับโลหะหลอมเหลว นิวเคลียสเหล่านี้ต้องมีขนาดเล็กและกระจายอยู่ทั่ว ๆ ในโลหะหลอมเหลว



ภาพที่ 2-41 แผนภาพสมดุลทองแดง-ฟอสฟอรัส [14]

จากทฤษฎีดังกล่าวผู้วิจัยสันนิฐานว่าขั้นตอนที่มีโครงสร้างสม่ำเสมอเกิดจากสารประกอบทองแดง-ฟอสฟอรัส โดยเมื่อพิจารณาแผนภาพสมดุลทองแดง-ฟอสฟอรัส ดังภาพที่ 2-41 จะพบว่าจุดหลอมเหลวอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 1054°C ซึ่งสูงกว่าโลหะหลอมเหลวที่มีจุดหลอมเหลวประมาณ 900°C โดยในขั้นตอนการวิจัย ผู้วิจัยได้ดำเนินการหลอมส่วนผสมทั้งหมดซึ่งประกอบด้วย เงิน ทองแดง อัลลอยทองแดง-อินเดียม และอัลลอยทองแดง-ฟอสฟอรัส วางสลับกันโดยใช้เงินส่วนหนึ่ง รองด้านล่างและส่วนหนึ่งวางทับด้านบนในเตาอินดักชั่นที่มีก๊าซปกคลุมและทำการกวนน้ำโลหะหลอมเหลวด้วยแท่งคาร์บอนเพื่อให้ส่วนผสมทั้งหมดกระจายเข้ากันและทำการหยดเป็นเม็ดหลังจากนั้นจึงนำเม็ดโลหะที่ได้ทำการหลอมในเบ้าเซรามิกในเตาหล่อเหวี่ยงเพื่อทำการหล่อขึ้นรูปชิ้นทดสอบ ซึ่งในขณะโลหะเกิดการหลอมเหลวฟอสฟอรัสส่วนหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวลดออกซิเจน และอีกส่วนหนึ่งอาจจะอยู่ในรูปของสารประกอบทองแดง-ฟอสฟอรัสที่กระจายอยู่ในน้ำโลหะเหลว และมีปริมาณมากพอที่จะทำหน้าที่เป็นนิวเคลียสจำนวนมากให้กับโลหะเหลว ซึ่งเมื่อเกิดการเย็นตัวนิวเคลียสเหล่านั้นจะเป็นจุดเริ่มของผลึกหรือเกรนจำนวนมากที่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กันในเวลาต่อมาทำให้โครงสร้างที่ได้มีความ

สัมาเสมอด้วยภาพที่ 2-40(ข) และ 2-40(ค) ส่วนชั้นทดสอบ 0.018%P 0.931%In 5.129%Cu 93.922%Ag ที่ยังคงเป็นโครงสร้างเป็นเดนไดรต์นั้น ผู้วิจัยสันนิษฐานว่าน่าจะเกิดจากประมาณของสารประกอบทองแดง-ฟอสฟอรัสที่ไม่มากพอที่จะทำให้เกิดเกรนจำนวนมากพร้อม ๆ กันได้

ส่วนกรณีที่โครงสร้างของชั้นทดสอบที่มีส่วนผสมของโลหะเงินเจือทองแดง-ฟอสฟอรัส ที่ยังคงเป็นโครงสร้างเดนไดรต์นั้นทั้งๆ ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสของชั้นทดสอบบางชั้นมากกว่าชั้นทดสอบในส่วนผสมของโลหะเงินเจือทองแดง-อินเดียม-ฟอสฟอรัส ที่มีโครงสร้างสม่ำเสมอ ผู้วิจัยสันนิษฐานว่าน่าจะส่วนหนึ่งน่าจะเกิดจากขั้นตอนการวิจัย โดยขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้นำส่วนผสมทั้งหมดทำการหลอมในเตาเซรามิกในเตาหล่อเหวี่ยงโดยไม่มีการหลอมในเตาอินดักชั่นเนื่องจากมีปริมาณของส่วนผสมไม่มากพอที่จะทำการกวนและทำการหยดเม็ด โดยในการทำการหลอมในเตาหล่อเหวี่ยงนั้น ได้ทำการหลอมเงินทองแดง และ อัดลวยทองแดง-อินเดียม จนเป็นน้ำโลหะเหลวแล้วจึงใส่อัดลวยทองแดง-ฟอสฟอรัส จากนั้นจึงทำการหล่อเหวี่ยงขึ้นรูป ซึ่งในขณะที่ทำการหลอมส่วนผสมนั้น ผู้วิจัยสันนิษฐานว่าในขณะที่ใส่อัดลวยทองแดง-ฟอสฟอรัสลงในน้ำโลหะเหลวและเกิดการหลอมละลาย โดยฟอสฟอรัสส่วนหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวลดออกซิเจนและอีกส่วนหนึ่งอาจจะอยู่ในรูปของสารประกอบทองแดง-ฟอสฟอรัส แต่สารประกอบเหล่านี้บางส่วนไม่ละลายหรือกระจายเข้าไปในน้ำโลหะเหลวและเมื่อทำการหล่อเหวี่ยงเพื่อขึ้นรูปชั้นทดสอบ ส่วนประกอบเหล่านี้ที่ไม่เกิดการกระจายตัวก็จะถูกอัดเข้าไปในแบบหล่อและกระจุกตัวอยู่ในเนื้อโลหะ ถ้ามีปริมาณสารประกอบกระจุกตัวมากในเนื้อโลหะก็น่าจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ชั้นทดสอบเกิดการแตกหักได้

2.5 ดำเนินการศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของกระบวนการทางความร้อน เพื่อเป็นการศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลกระบวนการทางความร้อนที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินสเตอร์ลิงเจือทองแดง อินเดียม และฟอสฟอรัส ซึ่งประกอบด้วยค่าความแข็ง ความต้านแรงดึง ความยืดและโครงสร้างจุลภาคที่เปลี่ยนแปลงจากอิทธิพลของกระบวนการทางความร้อน อัตราส่วนผสมของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่ใช้สำหรับการศึกษาวิเคราะห์ประกอบไปด้วย

1. 0.018P 0.931In 5.129Cu 93.922Ag
2. 0.074P 0.997In 5.700Cu 93.229Ag
3. 0.097P 0.995In 6.122Cu 92.786Ag

2.5.1 ผลการศึกษาวิเคราะห์สมบัติทางกลของโลหะเงินเจือสภาพอบเนื้อเดียว

เมื่อนำชิ้นทดสอบที่ได้จากกรรมวิธีการหล่อขึ้นรูปจากการวิจัย ดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น ทุกอัตราส่วนผสมมาผ่านการอบเนื้อเดียวที่อุณหภูมิ 780°C ด้วยระยะเวลา 20, 35, 50, 65, 80 และ 95 นาที เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติทางกลของชิ้นทดสอบโลหะเงินสเตอร์ลิง เจือทองแดง-อินเดียม-ฟอสฟอรัส ผลจากการศึกษาวิจัยสามารถแบ่งออกได้ตามอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ดังนี้

1. 0.018%P 0.931%In 5.129%Cu 93.922%Ag หลังจากชิ้นทดสอบผ่านการอบเนื้อเดียวด้วยระยะเวลาต่าง ๆ ตามสภาวะดังที่ได้กำหนด เมื่อตรวจสอบดูโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ หลังจากการกัดด้วยกรด โครงสร้างเดนไดรต์ที่เกิดขึ้นในชิ้นทดสอบสภาพหล่อ ขึ้นรูปค่อยๆ ถูกขจัดให้หมดไปจนไม่ปรากฏให้เห็น และโครงสร้างของโลหะเริ่มก่อตัวเป็นเกรนเกิดขึ้น จากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคในภาพที่ 2-42 พบว่าโลหะเงินเจือมีการก่อตัวเป็นเกรนที่สมบูรณ์เต็มที่เมื่อระยะเวลาผ่านไปประมาณ 50 นาที ดังแสดงในภาพที่ 2-42(ง) ถ้าหากทำการอบต่อไปอีกเกรนที่ก่อตัวจากการอบจะขยายใหญ่ขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2-42(ข)

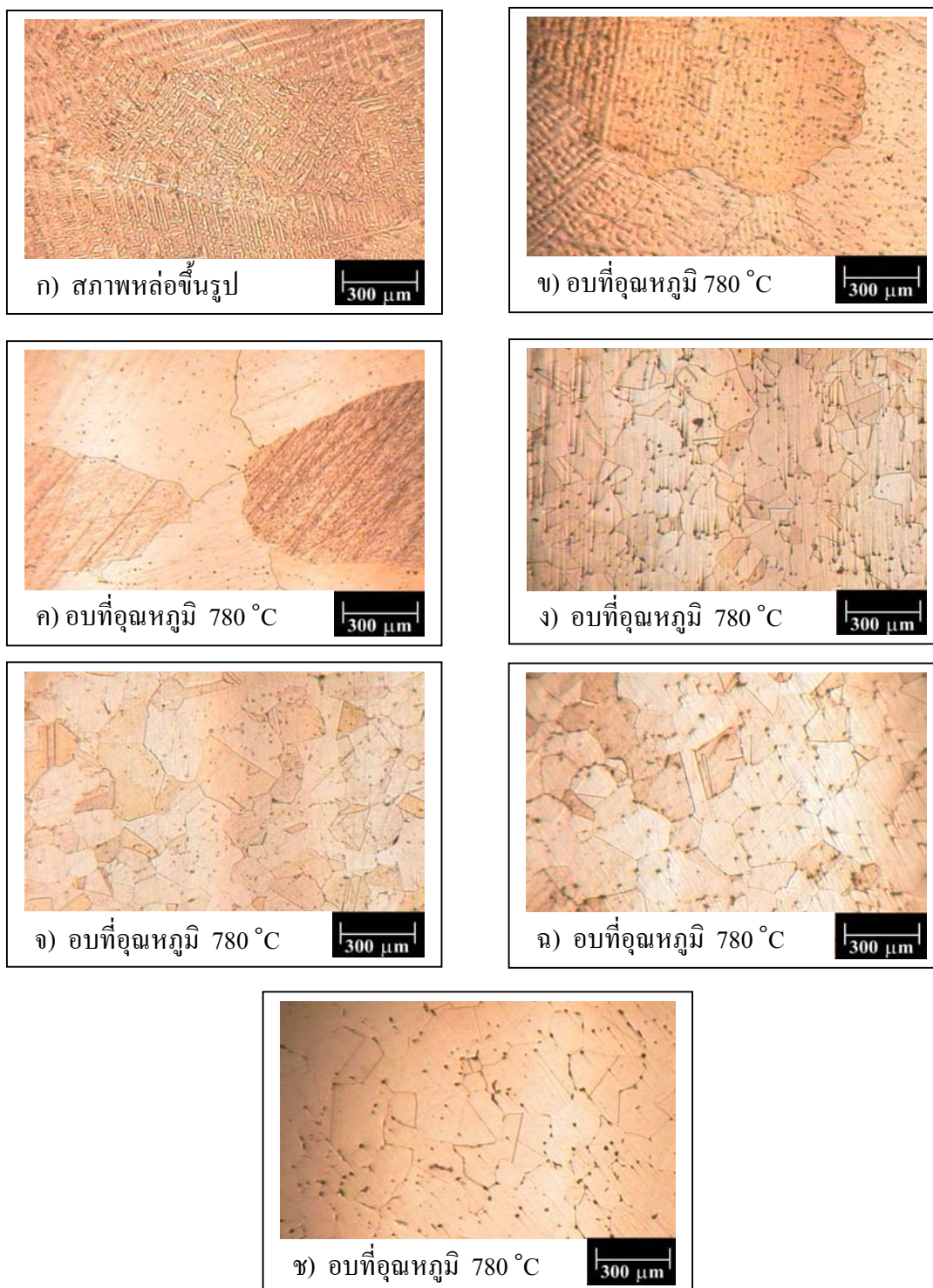
จากการวิเคราะห์ทดสอบค่าความแข็ง ความต้านแรงดึงและความยืดของชิ้นทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2-14 พบว่าค่าความแข็งและความต้านแรงดึงของชิ้นทดสอบมีค่าลดต่ำลงเมื่อระยะเวลาการอบเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 2-43 และภาพที่ 2-44 เนื่องจากโครงสร้างหรือส่วนผสมของธาตุเจือต่าง ๆ ละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกันในสภาวะสารละลายของแข็งอิมิตัวที่ยืด และโครงสร้างภายในมีความสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น จากภาพที่ 2-43 ชิ้นทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูปก่อนนำมาอบเนื้อเดียวมีค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 53.8 HV1 และลดลงเหลือประมาณ 46.8 HV1 เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 50 นาที หลังจากนั้นค่าความแข็งมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

สำหรับค่าความต้านแรงดึงจากภาพที่ 2-44 ชิ้นทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูปก่อนนำมาอบเนื้อเดียวมีค่าความต้านแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 197.6 MPa หลังจากที่ผ่านมาการอบเนื้อเดียวด้วยระยะเวลา 50 นาที ค่าความต้านแรงดึงลดลงเหลือประมาณ 187.6 MPa และเมื่อทำการอบเนื้อเดียวต่อไปอีกค่าความต้านแรงดึงมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ในทางกลับกันค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดตัวของชิ้นทดสอบปรากฏว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยชิ้นทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูปก่อนนำมาอบเนื้อเดียวมีค่าความยืดเฉลี่ยเท่ากับ 47.9 เปอร์เซ็นต์ หลังจากระยะเวลาการอบเนื้อเดียวผ่านไป 50 นาที ค่าความยืดตัวของชิ้นทดสอบจะเพิ่มขึ้นเป็น 51.5 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 2-45 หลังจากนั้นค่าความยืดตัวมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

การตรวจสอบขนาดและการกระจายของเกรนชิ้นทดสอบโลหะเงินสเตอร์ลิง พบว่าเมื่อในช่วงเวลาในการอบที่ 20 นาทีและ 35 นาที ไม่สามารถวัดขนาดของเกรนได้เนื่องจากยังไม่เกิดเกรนที่แท้จริง โดยจะสามารถวัดขนาดของเกรนได้เมื่อเวลาในการอบผ่านไป 50 นาที โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.084 มม. และจะมีการโตของเกรนขึ้นเมื่อทำการอบต่อไป โดยเวลาในการอบที่ 95 นาที เกรนจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.189 มม. ดังแสดงในภาพที่ 2-46

โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเจือสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

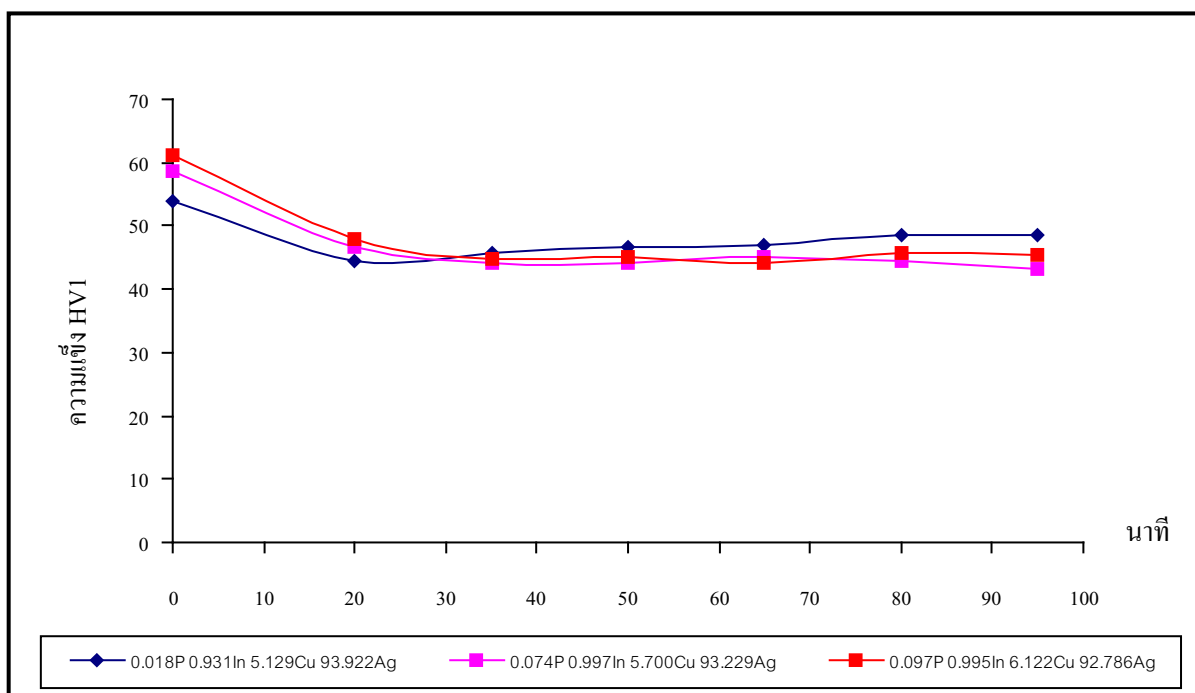
รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรรณศรี



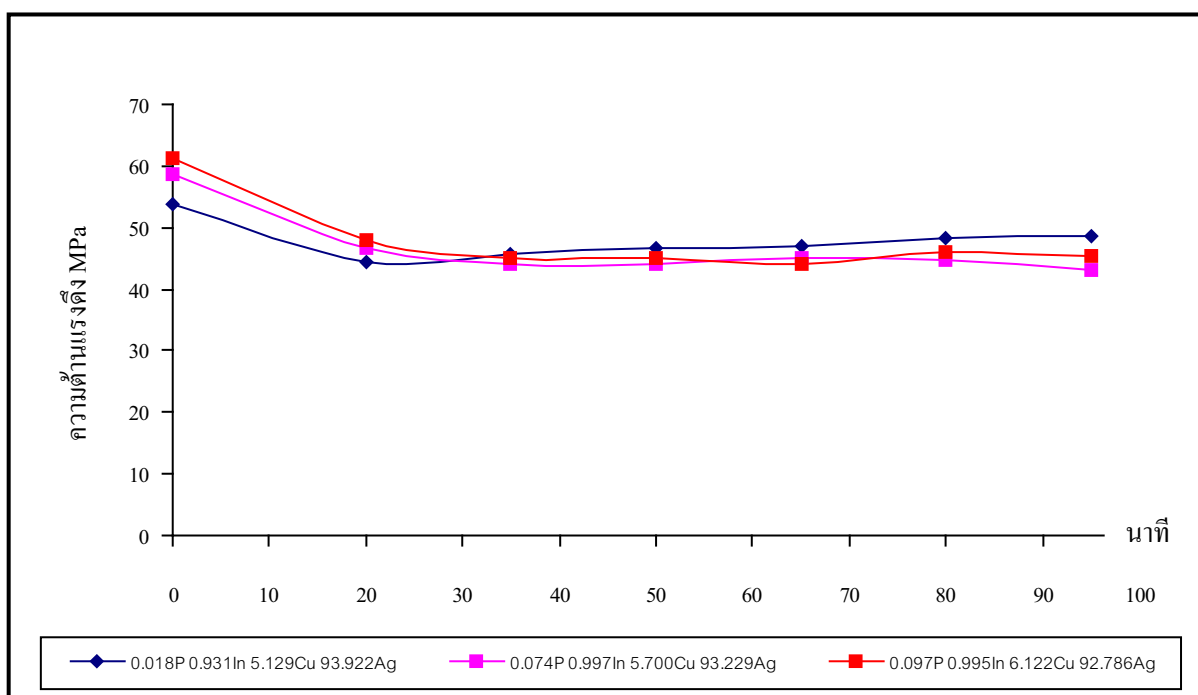
ภาพที่ 2-42 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินเจือ 0.018%P 0.931%In 5.129%Cu 93.922%Ag สภาพหล่อขึ้นรูปและอบเนื้อเดียวที่อุณหภูมิ 780 °C ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ

ตารางที่ 2-14 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลของโลหะเงินเจือทองแดง อินเดียม และฟอสฟอรัสที่อัตราส่วนผสมต่างๆ สภาพอบเนื้อเดียวที่อุณหภูมิ 780°C ด้วยระยะเวลาต่างๆ

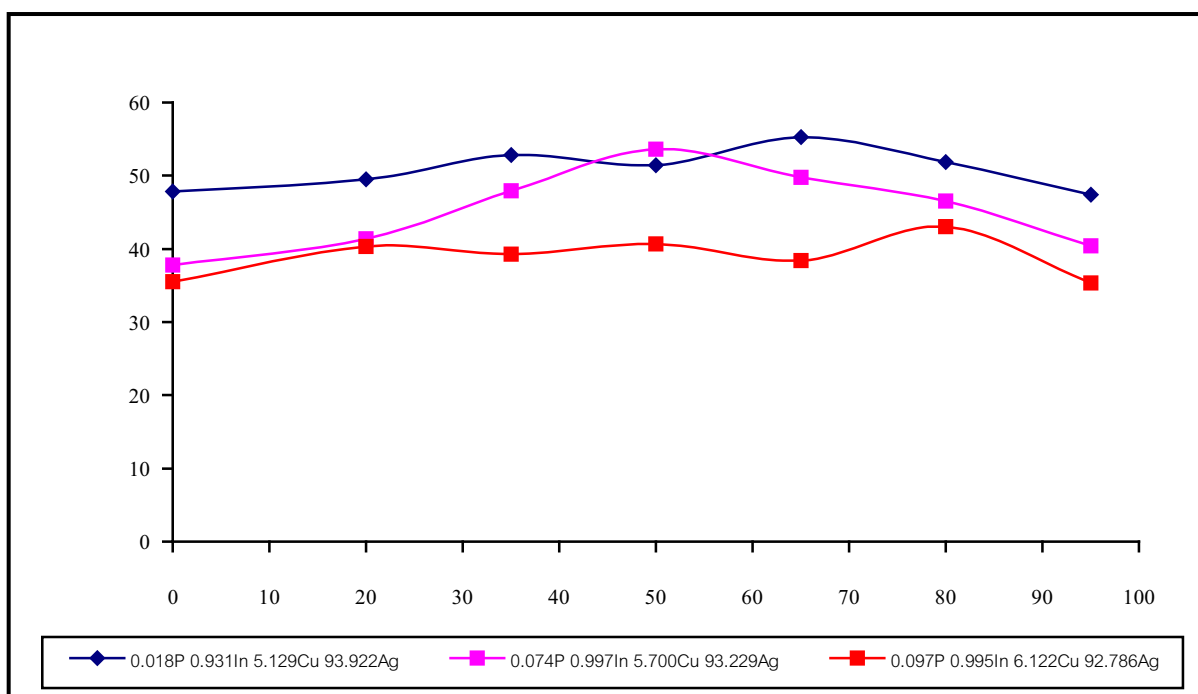
ส่วนผสม	สมบัติทางกล	เวลา (นาทึ)						
		0	20	35	50	65	80	95
0.018P 0.931In 5.129Cu 93.922Ag	ความแข็ง HV1	53.80	44.53	45.80	46.80	47.00	48.43	48.63
	ความต้านแรงดึง Mpa	197.63	181.20	183.30	187.56	191.34	188.94	183.02
	ความยืด %	47.87	49.50	52.80	51.47	55.27	51.83	47.37
0.074P 0.997In 5.700Cu 93.229Ag	ความแข็ง HV1	58.60	46.80	44.03	44.07	45.10	44.57	43.20
	ความต้านแรงดึง Mpa	206.57	185.34	185.52	187.32	186.66	179.43	178.45
	ความยืด %	37.80	41.37	47.93	53.60	49.80	46.57	40.40
0.097P 0.995In 6.122Cu 92.786Ag	ความแข็ง HV1	61.27	48.03	44.90	44.97	44.10	45.87	45.30
	ความต้านแรงดึง Mpa	196.93	173.48	177.47	168.39	168.38	169.82	171.98
	ความยืด %	35.50	40.30	39.30	40.63	38.43	43.07	35.30



ภาพที่ 2-43 ค่าความแข็งของโลหะเงินเจือที่ผ่านการอบเนื้อเดียวที่อุณหภูมิ 780°C ด้วยระยะเวลาต่างๆ



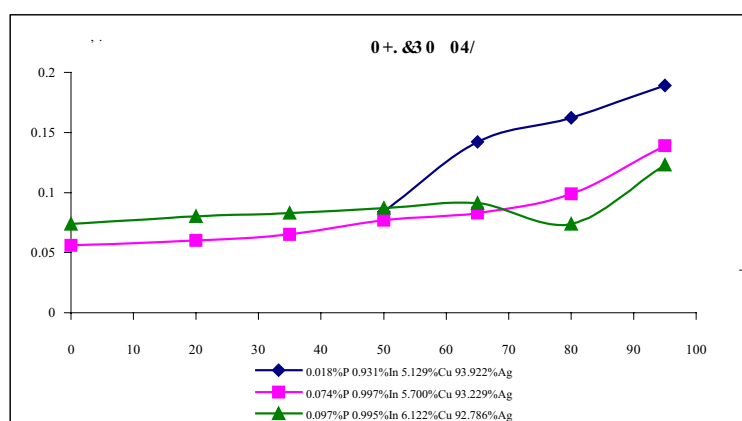
ภาพที่ 2-44 ค่าความต้านแรงดึงของโลหะเงินเจือที่ผ่านการอบเนื้อเดียวที่อุณหภูมิ 780°C ด้วยระยะเวลาต่างๆ



ภาพที่ 2-45 ค่าความยืดของโลหะเงินเจือที่ผ่านการอบเนื้อเดียวที่อุณหภูมิ 780°C ด้วยระยะเวลาต่างๆ

ตารางที่ 2-15 สรุปการเปลี่ยนแปลงขนาดเกรนของโลหะเงินเจือสภาพอบเนื้อเดียวที่อุณหภูมิ 780 °C ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ

อัตราส่วนผสม	ขนาดเกรน (มม.) ที่เวลาต่าง ๆ (นาท)						
	0	20	35	50	65	80	95
0.018%P 0.931%In 5.129%Cu 93.922%Ag	-	-	-	0.084	0.142	0.162	0.189
0.074%P 0.997%In 5.700%Cu 93.229%Ag	0.056	0.060	0.065	0.077	0.083	0.099	0.139
0.097%P 0.995%In 6.122%Cu 92.786%Ag	0.074	0.080	0.083	0.087	0.091	0.074	0.123



ภาพที่ 2-46 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกรนของโลหะเงินเจือที่ผ่านการอบเนื้อเดียวที่อุณหภูมิ 780 °C ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ

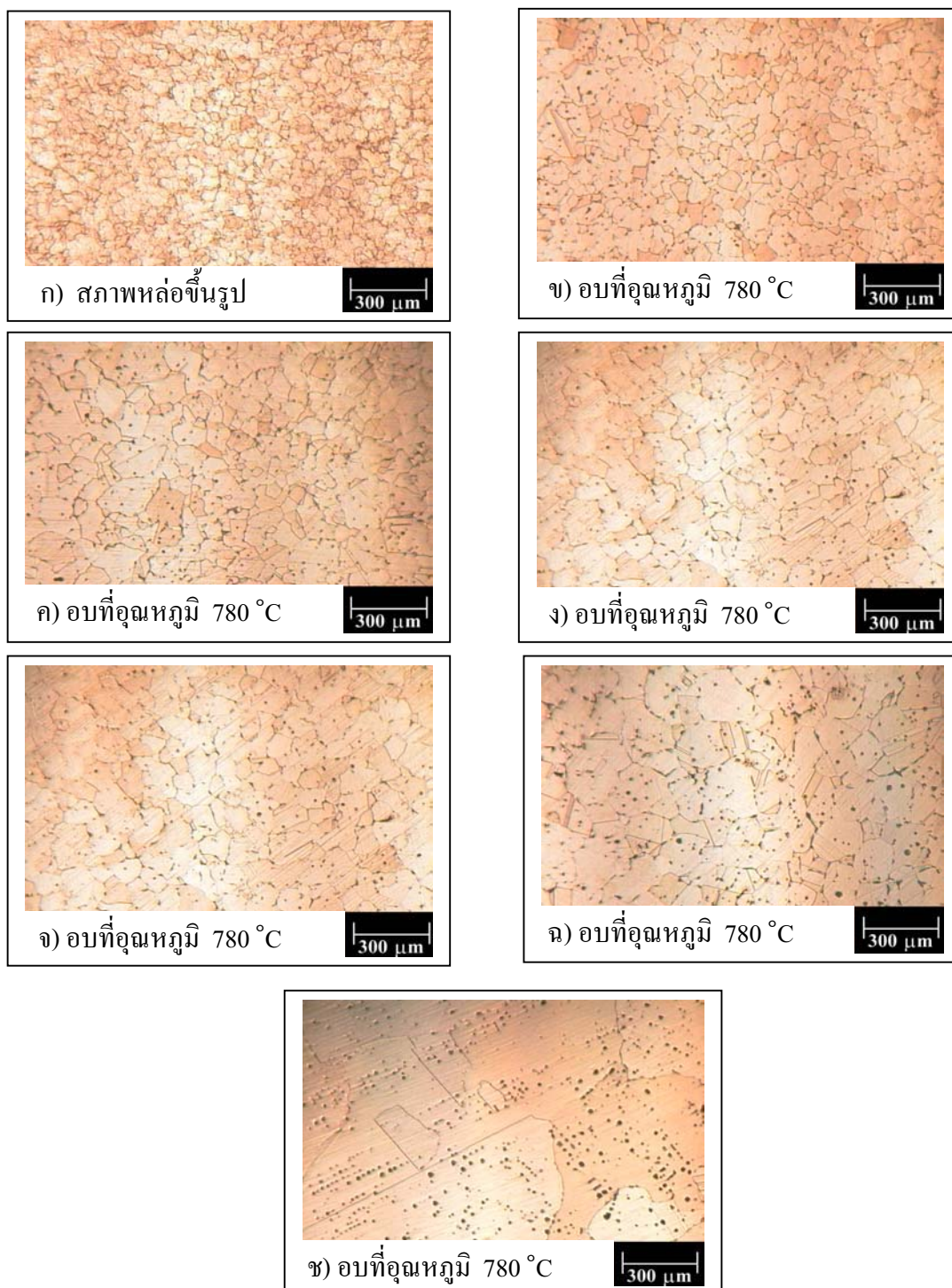
2 0.074%P 0.997%In 5.700%Cu 93.229%Ag หลังจากขึ้นทดสอบผ่านการอบเนื้อเดียวด้วยระยะเวลาต่าง ๆ เมื่อตรวจสอบดูโครงสร้างจุลภาคของขึ้นทดสอบหลังจากการกัดด้วยกรดจากโครงสร้างจุลภาคสภาพหล่อขึ้นรูปที่มีลักษณะเป็นเกรนละเอียดดังแสดงในภาพที่ 2-47(ข) จากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคในภาพที่ 2-47 พบว่าโลหะเงินเจือมีเกรนที่สมบูรณ์และสม่ำเสมอเมื่อระยะเวลาการอบผ่านไปประมาณ 35 นาที ดังแสดงในภาพที่ 2-47(ค) ถ้าหากทำการอบต่อไปอีกขนาดของเกรนที่ก่อตัวเนื่องจากการอบจะขยายใหญ่ขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2-47(ง)

จากการวิเคราะห์ทดสอบค่าความแข็ง ความต้านแรงดึงและความยืดของขึ้นทดสอบพบว่า ค่าความแข็งและความต้านแรงดึงของขึ้นทดสอบมีค่าลดต่ำลงเมื่อระยะเวลาการอบเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพ

โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเจือสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรรณศรี

ที่ 2-43 และภาพที่ 2-44 เนื่องจากโครงสร้างหรือส่วนผสมของธาตุเจือต่าง ๆ ละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกันในสภาวะสารละลายของแข็งอิมิตัวยิ่งยวด และโครงสร้างภายในมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งขึ้นทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูปมีค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 58.6 HV1 และลดลงเหลือประมาณ 44 HV1 เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 35 นาที หลังจากนั้น ค่าความแข็งมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย



ภาพที่ 2-47 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินเจือ 0.074%P 0.997%In 5.700%Cu 93.229%Ag สภาพหล่อขึ้นรูปและอบเนื้อเดียวที่อุณหภูมิ 780 °C ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ

โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเจือสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ
รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรรณศรี

สำหรับค่าความต้านแรงดึงจากภาพที่ 2-44 ขึ้นทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูปก่อนนำมาอบเนื้อเดียวมีค่าความต้านแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 206.6 MPa หลังจากที่ผ่านมาการอบเนื้อเดียวด้วยระยะเวลา 35 นาที ค่าความต้านแรงดึงลดลงเหลือประมาณ 185.5 MPa และเมื่อทำการอบเนื้อเดียวต่อไปอีก ค่าความต้านแรงดึงมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ในทางกลับกันค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดตัวของขึ้นทดสอบปรากฏว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยขึ้นทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูปก่อนนำมาอบเนื้อเดียวมีค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดเฉลี่ยเท่ากับ 37.8 เปอร์เซ็นต์ หลังจากระยะเวลาการอบเนื้อเดียวผ่านไป 35 นาที ค่าความยืดตัวของขึ้นทดสอบจะเพิ่มขึ้นเป็น 47.9 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 2-45 หลังจากนั้น ค่าความยืดตัวมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

การตรวจสอบขนาดและการกระจายของเกรนขึ้นทดสอบโลหะเงินเจือ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการอบเพิ่มขึ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกรนมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกรนที่เวลาในการอบผ่านไป 35 นาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกรนประมาณ 0.065 มม. และจะมีการเติบโตขยายตัวขึ้นเมื่อทำการอบต่อไป โดยเวลาในการอบที่ 95 นาที เกรนจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.139 มม. ดังแสดงในภาพที่ 2-46

3. 0.097%P 0.995%In 6.122%Cu 92.786%Ag หลังจากขึ้นทดสอบผ่านการอบเนื้อเดียวด้วยระยะเวลาต่าง ๆ ตามสภาวะดังที่ได้กำหนดไว้ในบทที่ 3 เมื่อตรวจสอบดูโครงสร้างจุลภาคของขึ้นทดสอบหลังจากการกัดด้วยกรด จากโครงสร้างจุลภาคสภาพหล่อขึ้นรูปที่มีลักษณะเป็นเกรนละเอียดดังแสดงในภาพที่ 2-48(ค) จากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคในภาพที่ 2-48 พบว่าโลหะเงินเจือมีเกรนที่สมบูรณ์และสม่ำเสมอเมื่อระยะเวลาการอบผ่านไปประมาณ 35 นาที ดังแสดงในภาพที่ 2-48(ค) ถ้าหากทำการอบต่อไปอีกขนาดของเกรนที่ก่อตัวเนื่องจากการอบจะขยายใหญ่ขึ้นดังแสดงในภาพที่ 2-48(ข)

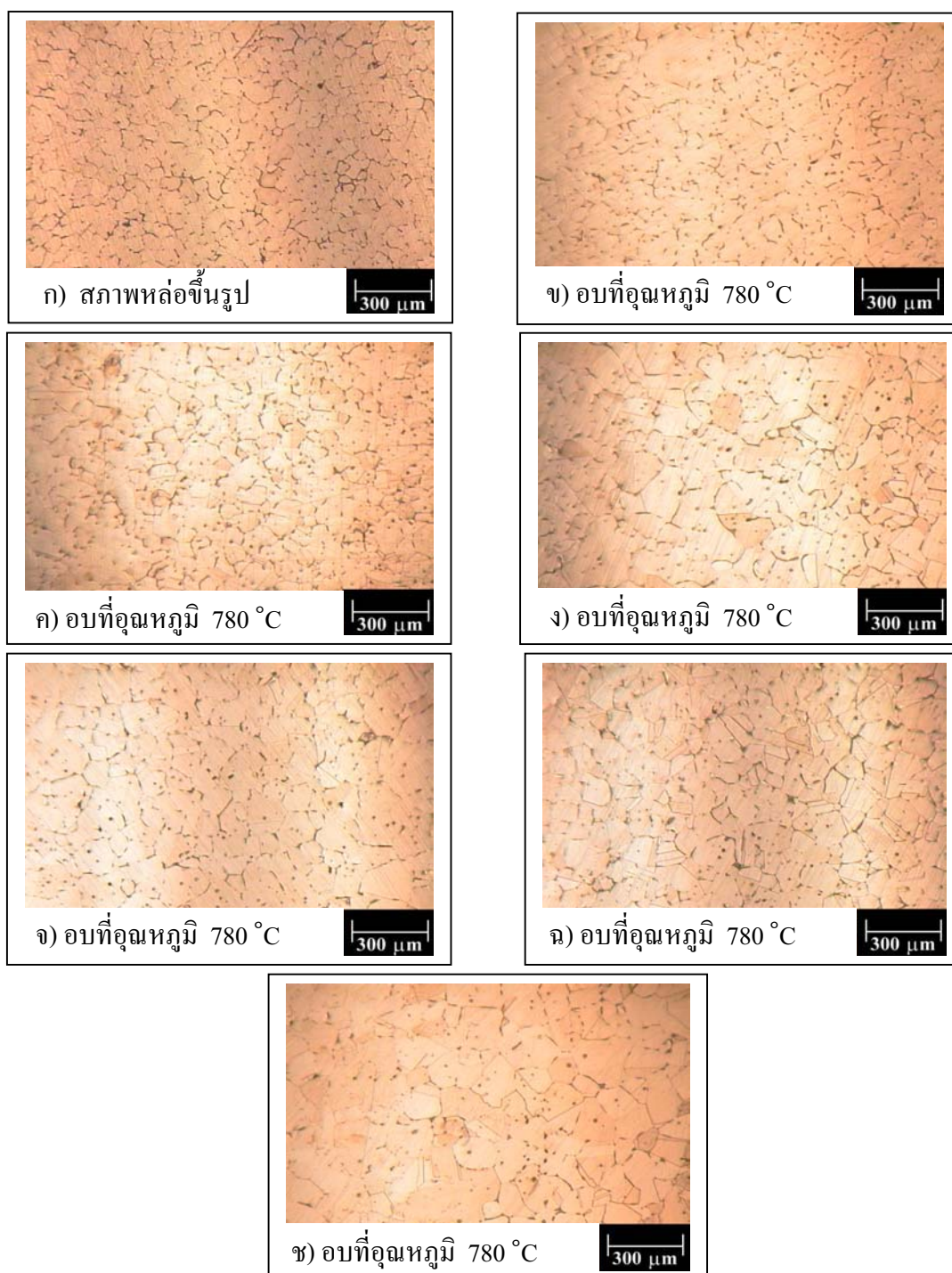
จากการวิเคราะห์ทดสอบค่าความแข็ง ความต้านแรงดึงและความยืดของขึ้นทดสอบพบว่า ค่าความแข็งและความต้านแรงดึงของขึ้นทดสอบมีค่าลดต่ำลงเมื่อระยะเวลาการอบเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 2-43 และภาพที่ 2-44 เนื่องจากโครงสร้างหรือส่วนผสมของธาตุเจือต่าง ๆ ละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกันในสภาวะสารละลายของแข็งอิมตัวยิ่งยวด และโครงสร้างภายในมีความสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น จากภาพที่ 2-43 ขึ้นทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูปก่อนนำมาอบเนื้อเดียวมีค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 61.3 HV1 และลดลงเหลือประมาณ 44.9 HV1 เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 35 นาที หลังจากนั้น ค่าความแข็งมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

สำหรับค่าความต้านแรงดึงจากภาพที่ 2-44 ขึ้นทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูปก่อนนำมาอบเนื้อเดียวมีค่าความต้านแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 196.9 MPa หลังจากที่ผ่านมาการอบเนื้อเดียวด้วยระยะเวลา 35 นาทีค่าความต้านแรงดึงลดลงเหลือประมาณ 177.5 MPa และเมื่อทำการอบเนื้อเดียวต่อไปอีก ค่าความต้านแรงดึงมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดตัวของขึ้นทดสอบปรากฏว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเจือสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรรณศรี

น้อย โดยขึ้นทดสอบสภาพหล่อขึ้นรูป ก่อนนำมาอบเนื้อเดียวมีค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นเท่ากับ 35.5 เปอร์เซ็นต์ หลังจากระยะเวลาการอบเนื้อเดียวผ่านไป 35 นาที ค่าความยืดตัวของขึ้นทดสอบจะเพิ่มขึ้นเป็น 39.3 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 2-45 หลังจากนั้นค่าความยืดตัวมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย



ภาพที่ 2-48 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินเจือ 0.097%P 0.995%In 6.122%Cu 92.786%Ag สภาพหล่อขึ้นรูปและอบเนื้อเดียวที่อุณหภูมิ 780 °C ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ

การตรวจสอบขนาดและการกระจายของเกรนขึ้นทดสอบโลหะเงินสเตอร์ลิง พบว่าเมื่อระยะเวลาในการอบเพิ่มขึ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกรนโครงสร้างจุลภาคมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกรนที่เวลาในการอบผ่านไป 35 นาทีจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกรนประมาณ 0.083 มม. และจะมีการเติบโตขยายตัวขึ้นเมื่อทำการอบต่อไป โดยเวลาในการอบที่ 95 นาที เกรนจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.123 มม. ดังแสดงในภาพที่ 2-46

จากผลการศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติ และโครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินสเตอร์ลิงสภาพ อบเนื้อเดียวที่อุณหภูมิ 780 °C ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการอบเนื้อเดียวเพิ่มขึ้น โครงสร้างภายในขึ้นทดสอบที่เกิดจากการหล่อขึ้นรูปมีการเปลี่ยนแปลง เช่น ในขึ้นทดสอบที่อัตราส่วนผสม 0.018%P 0.931%In 5.129%Cu 93.922%Ag ที่เป็นโครงสร้างเดนไดรต์และความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างภายในขึ้นทดสอบที่เกิดจากการหล่อขึ้นรูปค่อย ๆ ถูกจัดให้หมดไป เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและส่วนผสมของธาตุเจือต่าง ๆ ละลายเข้าด้วยกันในลักษณะสารละลายของแข็งอิ่มตัวยิ่งยวด (Super Saturate Solid Solution) แต่ในขึ้นทดสอบที่อัตราส่วนผสม 0.074%P 0.997%In 5.700%Cu 93.229%Ag และ 0.097%P 0.995%In 6.122%Cu 92.786%Ag ที่มีโครงสร้างจุลภาคสภาพหล่อขึ้นรูปค่อนข้างสม่ำเสมอ จึงทำให้การอบเป็นเนื้อเดียวใช้เวลาในการอบไม่มากนักเมื่อเทียบกับอัตราส่วนผสมแรก นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลของขึ้นทดสอบที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ได้ดังแสดงในภาพที่ 2-43 ภาพที่ 2-44 ภาพที่ 2-45 ตารางที่ 2-14 และตารางที่ 2-15 และจากการศึกษาวิเคราะห์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ผู้วิจัยได้เลือกเวลาที่จะทำการอบเนื้อเดียวของขึ้นทดสอบที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ เพื่อที่จะนำไปใช้สำหรับการทดลองในส่วนของการอบเพิ่มความแข็งแรงต่อไป ดังต่อไปนี้

1. 0.018%P 0.931%In 5.129%Cu 93.922%Ag เวลาสำหรับการอบเป็นเนื้อเดียว 50 นาที
2. 0.074%P 0.997%In 5.700%Cu 93.229%Ag เวลาสำหรับการอบเป็นเนื้อเดียว 35 นาที
3. 0.097%P 0.995%In 6.122%Cu 92.786%Ag เวลาสำหรับการอบเป็นเนื้อเดียว 35 นาที

จากผลการทดลองข้างต้น เป็นช่วงเวลาที่ผู้วิจัยได้เลือกโดยพิจารณาจากโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติทางกลของขึ้นทดสอบแต่ละอัตราส่วนผสม โดยช่วงเวลาที่เลือกดังกล่าวผู้วิจัยจะนำไปทำการอบเนื้อเดียวเพื่อดำเนินการทดลองในส่วนของการศึกษาเรื่องการปรับปรุงคุณสมบัติทางกลด้วยกรรมวิธีทางความร้อนด้วยการอบเพิ่มความแข็งแรงต่อไป ซึ่งในการปฏิบัติจริงผลของช่วงเวลาดังกล่าวอาจมีการเปลี่ยนแปลงสืบเนื่องจากผลการเลือกอุณหภูมิที่ใช้ในการอบ และเมื่อพิจารณากราฟการเปลี่ยนแปลงจากภาพที่ 2-43 ภาพที่ 2-44 ภาพที่ 2-45 ตารางที่ 2-14 และตารางที่ 2-15 จะพบว่าช่วงเวลาในการอบตั้งแต่ 20 นาที ถึง 95 นาที คุณสมบัติทางกลที่ประกอบไปด้วย ค่าความแข็ง ความต้านแรงดึง

โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเพื่อการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรรณศรี

และความยืด มีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่โครงสร้างจุลภาคมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ใช้ในการอบ โดยผู้ปฏิบัติสามารถเลือกช่วงเวลาดังกล่าวนำมาใช้ในการอบเป็นเนื้อเดียวได้ตามความเหมาะสม

2.5.2 ผลการศึกษาวิเคราะห์สมบัติทางกลของโลหะเงินเจือสภาพอบเพิ่มความแข็ง

ขั้นตอนทดสอบโลหะเงินเจือที่ผ่านการอบเนื้อเดียวด้วยอุณหภูมิ 780 °C และระยะเวลาดังที่ได้สรุปจากขั้นตอนการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลของโลหะเงินเจือสภาพอบเนื้อเดียว จะถูกนำมาอบซ้ำอีกครั้งเพื่อศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลสภาพอบเพิ่มความแข็งด้วยอุณหภูมิ 200, 300 และ 400 °C ด้วยระยะเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง หลังจากที่ยืนยันทดสอบผ่านการอบเพิ่มความแข็งแล้ว จะถูกนำไปทดสอบเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาค ซึ่งผลของการศึกษาสามารถแบ่งออกได้ตามอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2-16 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลของโลหะเงินเจือทองแดง อินเดียม และฟอสฟอรัสที่อัตราส่วนผสมต่างๆ สภาพอบเพิ่มความแข็งด้วยอุณหภูมิ และด้วยระยะเวลาต่างๆ

ส่วนผสม	สมบัติทางกล	Homo.	อบ 200°C ด้วยเวลา (ชม.)			อบ 300°C ด้วยเวลา (ชม.)			อบ 400°C ด้วยเวลา (ชม.)		
			2	3	4	2	3	4	2	3	4
0.018P 0.931In 5.129Cu 93.922Ag	ความแข็ง HV1	46.80	68.03	74.13	76.47	133.63	140.60	128.13	116.67	126.43	116.53
	ความต้านแรงดึง Mpa	187.57	212.80	230.17	207.40	326.40	336.17	325.67	278.27	275.50	259.43
	ความยืด %	51.47	38.00	34.37	35.73	18.40	15.17	15.47	21.87	13.13	17.20
0.074P 0.997In 5.700Cu 93.229Ag	ความแข็ง HV1	43.70	70.33	74.73	81.20	124.23	129.20	129.83	115.13	105.43	101.83
	ความต้านแรงดึง Mpa	185.53	183.30	240.57	259.70	341.67	319.30	307.07	224.73	272.93	249.97
	ความยืด %	47.93	17.67	33.53	36.87	19.40	17.43	22.53	24.03	18.63	22.00
0.097P 0.995In 6.122Cu 92.786Ag	ความแข็ง HV1	44.90	71.10	77.20	87.40	121.97	130.10	132.17	109.67	100.33	96.80
	ความต้านแรงดึง Mpa	177.50	225.27	222.63	215.33	244.60	305.90	277.13	273.80	275.07	248.13
	ความยืด %	39.30	32.60	35.67	38.57	29.33	16.10	16.13	17.67	18.33	21.00

2.5.2.1 0.018P 0.931In 5.129Cu 93.922Ag ผลจากการวิเคราะห์และทดสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลของชิ้นทดสอบสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 2-52 ซึ่งประกอบด้วยค่าความแข็ง ความต้านแรงดึงและความยืดตัว

หลังจากโลหะเงินเจือผ่านการอบเนื้อเดียว โครงสร้างภายในของโลหะเงินเจือที่มีธาตุเจือต่าง ๆ จะละลายเข้าด้วยกันในสภาวะสารละลายของแข็งอิมิตัวที่ยืดและเมื่อนำมาผ่านการอบซ้ำอีกครั้งด้วย

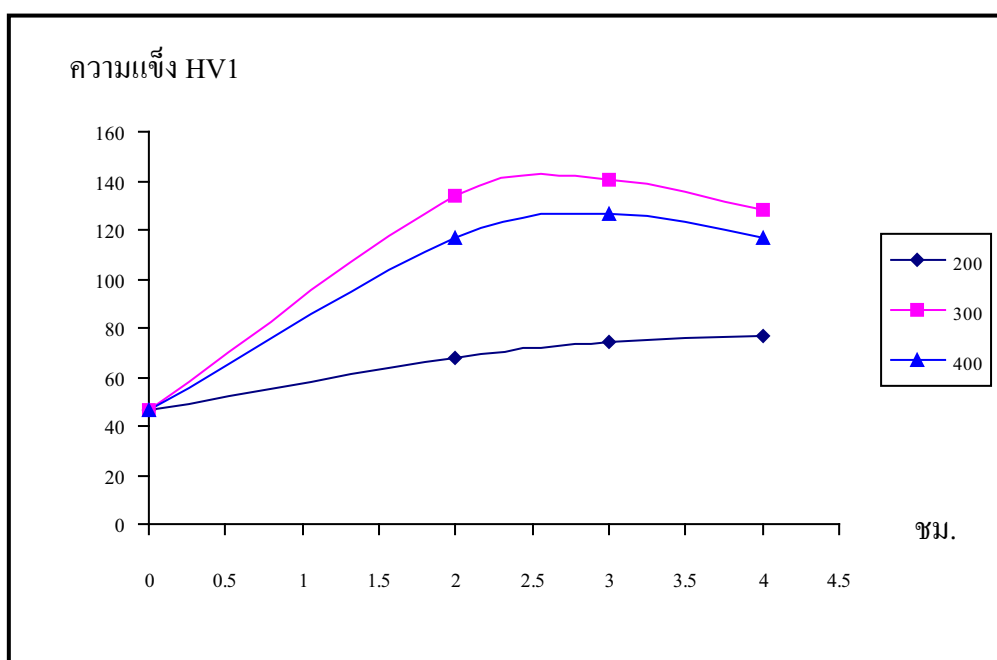
โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเจือสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ

รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล ผศ.ศิริพร ดาวพิเศษ อ.สุรัตน์ วรรณศรี

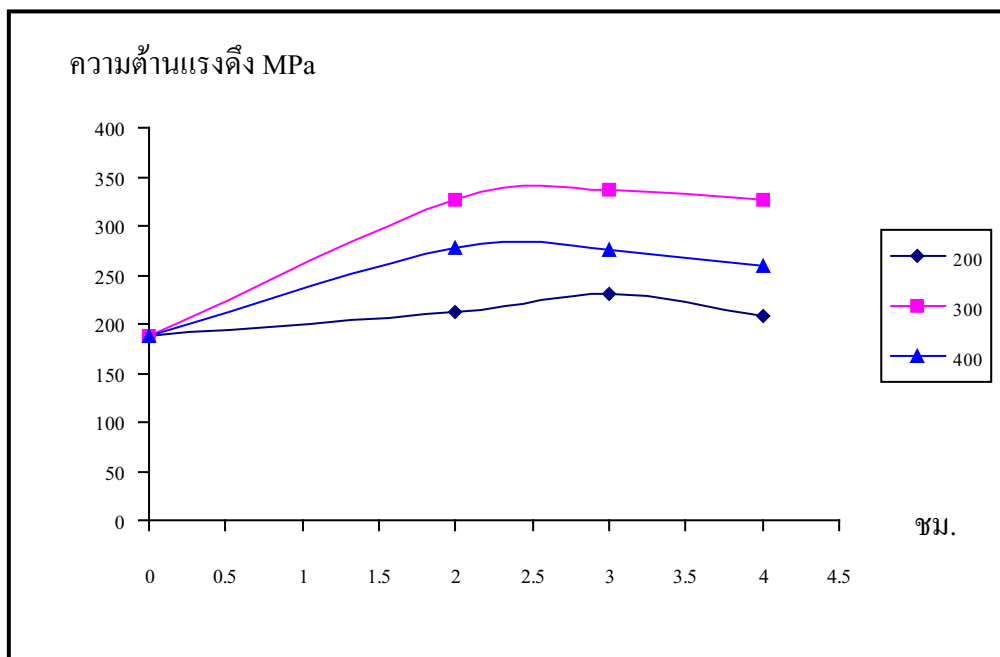
กรรมวิธีอบเพิ่มความแข็งที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ ที่กำหนดตามวิธีการวิจัย จากผลการทดลองพบว่า โลหะเงินเจือมีความความแข็งและความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้น แต่ความยืดกลับลดลง ทั้งนี้สังเกตจากกราฟการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติดังภาพที่ 2-52 และสามารถสรุปให้เห็นถึงลำดับขั้นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนดังตารางที่ 2-16 และนอกจากโครงสร้างจุลภาคยังเกิดการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการอบ

เมื่อพิจารณาจากกราฟความแข็งที่เปลี่ยนแปลงดังภาพที่ 2-49 พบว่าค่าความแข็งและความต้านแรงดึงเริ่มต้นของชิ้นทดสอบสภาพละลายอิมตัวยังขดมีค่าเท่ากับ 48.8 HV1 และ 187.57 MPa เมื่อทำการอบด้วยอุณหภูมิ 200°C ค่าความแข็งและความต้านแรงดึงของชิ้นทดสอบจะเพิ่มขึ้นเป็น 68.03, 74.14, 76.47 HV1 และ 212.76, 230.16, 207.39 MPa ด้วยระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น 2, 3 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ แสดงว่าเวลาที่ใช้ในการอบเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความแข็งและความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันค่าความยืดลดลง แต่เมื่อพิจารณาการอบที่อุณหภูมิ 300°C และ 400°C จะพบว่า เมื่อใช้เวลาในการอบเพิ่มขึ้นค่าความแข็งและความต้านแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงช่วงเวลาหนึ่งค่าความแข็งและความต้านแรงดึงก็จะเริ่มลดลง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการอบเพิ่มความแข็งที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง จะมีช่วงเวลาหนึ่งที่จะให้ค่าความแข็งและความต้านแรงดึงสูง สำหรับแต่ละอัตราส่วนผสมในชิ้นทดสอบและอุณหภูมินั้น ๆ

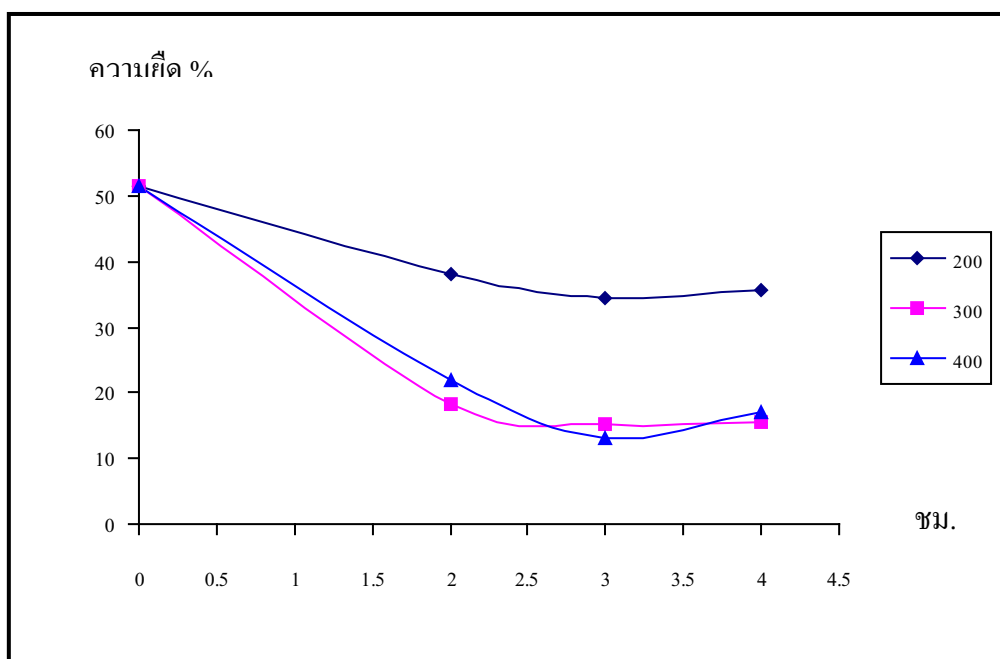
เมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคภาพที่ 2-52 ที่อุณหภูมิ 300°C และ 400°C เช่น ภาพที่ 2-52(จ) พบว่าโครงสร้างจุลภาคมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีเฟสเกิดขึ้นบริเวณขอบเกรนโดยจะพบธาตุเจือทองแดง-ฟอสฟอรัส มีปริมาณค่อนข้างสูงกว่าบริเวณเกรน และเฟสดังกล่าวบางส่วนจะหลุดได้ด้วยการขัดและการกัดกรด ซึ่งการเกิดเฟสดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ชิ้นทดสอบมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น



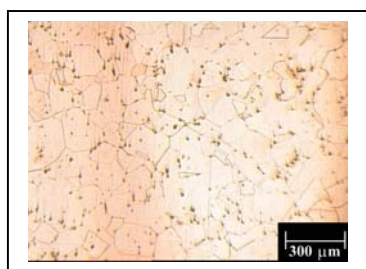
ภาพที่ 2-49 ความแข็งที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบ 0.018P 0.931In 5.129Cu 93.922Ag



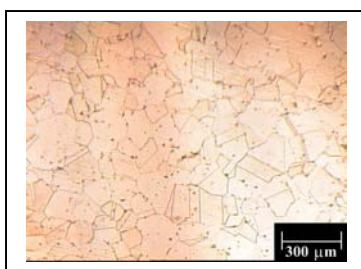
ภาพที่ 2-50 ความต้านแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบ 0.018P 0.931In 5.129Cu 93.922Ag



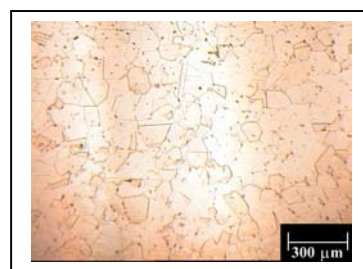
ภาพที่ 2-51 ความยืดที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบ 0.018P 0.931In 5.129Cu 93.922Ag



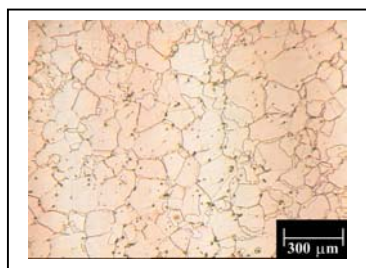
ก) อบที่ 200°C 2 ชั่วโมง



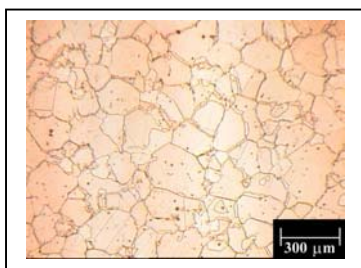
ข) อบที่ 200°C 3 ชั่วโมง



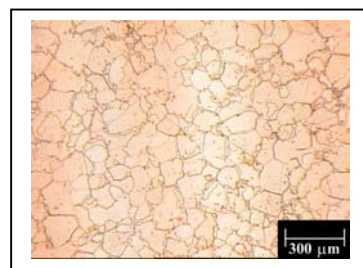
ค) อบที่ 200°C 4 ชั่วโมง



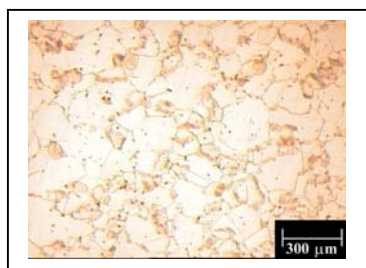
ง) อบที่ 300°C 2 ชั่วโมง



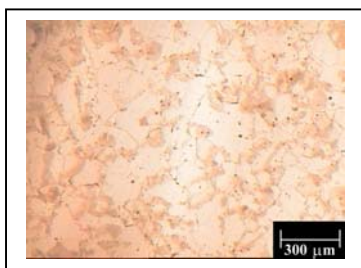
จ) อบที่ 300°C 3 ชั่วโมง



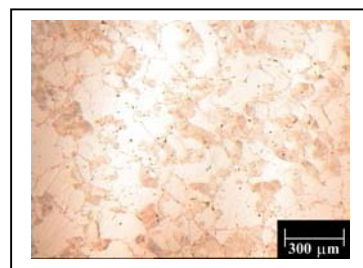
ฉ) อบที่ 300°C 4 ชั่วโมง



ช) อบที่ 400°C 2 ชั่วโมง



ซ) อบที่ 400°C 3 ชั่วโมง



ฅ) อบที่ 400°C 4 ชั่วโมง

ภาพที่ 2-52 โครงสร้างจุลภาคของโลหะเงินเจือ 0.018%P 0.931%In 5.129%Cu 93.922%Ag ที่เปลี่ยนแปลงหลังจากผ่านการอบเพิ่มความแข็งแรงด้วยอุณหภูมิและระยะเวลาต่าง ๆ

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลขึ้นทดสอบที่ผ่านการอบเพิ่มความแข็งแรงของโลหะเงินเจือ 0.018%P 0.931%In 5.129%Cu 93.922%Ag พบว่าการอบที่อุณหภูมิ 300 °C และเวลาในการอบ 3 ชั่วโมง ให้ผลของค่าความแข็งแรงและความต้านแรงดึงสูงที่สุด

โดยในทางปฏิบัติงานจริงนั้น การเลือกใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบเพิ่มความแข็งแรงอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปจากที่ผู้วิจัยได้นำเสนอข้างต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของชิ้นงานที่จะทำการอบเพิ่มความแข็งแรงและค่าของคุณสมบัติทางกลที่ผู้ปฏิบัติงานต้องการ