ภาคผนวก ก.

ตารางข้อมูลดิบสำหรับการทดสอบความแข็ง

ก.1 ตารางผลทดสอบความแข็งของชิ้นงานโลหะทองแดงและดีบุกก่อนอบผนึก

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	ความแข็งของชิ้นงาน* (HV)	ความแข็งเฉลี่ยของภาวะ** (HV)	หมายเหตุ
0%	30	1	32.7	32.3	*ความแข็งของชิ้นงาน หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็ง 12 จุดบนหนึ่งชิ้นงาน **ความแข็งเฉลี่ยของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งของชิ้นงาน 2 ชิ้นใน 1 ภาวะ
		2	31.9		
	60	1	43.2	43.5	
		2	43.8		
	90	1	45.9	44.8	
		2	43.7		
	120	1	49.6	49.1	
		2	48.6		
	150	1	60.0	58.7	
		2	58.4		
5%	30	1	27.6	28.6	
		2	29.6		
	60	1	32.5	34.2	
		2	35.9		
	90	1	35.3	38	
		2	40.7		
	120	1	39.2	41.6	
		2	44.0		
	150	1	41.8	43.9	
		2	46.0		
10%	30	1	20.8	24.9	
		2	29.0		
	60	1	27.4	30.7	
		2	34.0		
	90	1	32.1	33.2	
		2	34.3		
	120	1	31.6	34.8	
		2	38.0		
	150	1	39.7	42.2	
		2	44.7		
15%	30	1	21.0	22.9	
		2	24.8		
	60	1	23.4	27.5	
		2	31.6		
	90	1	26.9	31.7	
		2	36.5		
	120	1	31.2	33.8	
		2	36.4		
	150	1	37.9	40.9	
		2	43.9		

ก.2 ตารางผลทดสอบความแข็งของชิ้นงานโลหะทองแดงและดีบุกหลังอบผนึก

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	ความแข็งของชิ้นงาน* (HV)	ความแข็งเฉลี่ยของภาวะ** (HV)	หมายเหตุ
0%	30	1	39.4	41.2	*ความแข็งของชิ้นงาน หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็ง 12 จุดบนหนึ่งชิ้นงาน **ความแข็งเฉลี่ยของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งของชิ้นงาน 2 ชิ้นใน 1 ภาวะ
		2	42.0		
	60	1	58.2	61.0	
		2	63.8		
	90	1	69.5	70.8	
		2	72.1		
	120	1	69.4	72.4	
		2	75.4		
	150	1	73.2	76.1	
		2	79.0		
5%	30	1	31.8	35.5	
		2	39.2		
	60	1	32.5	36.1	
		2	39.7		
	90	1	33.8	38.7	
		2	43.6		
	120	1	39.2	43.0	
		2	46.8		
	150	1	42.7	48.4	
		2	54.1		
10%	30	1	29.2	31.2	
		2	33.2		
	60	1	29.7	32.0	
		2	34.3		
	90	1	31.9	35.7	
		2	39.5		
	120	1	32.4	38.4	
		2	44.4		
	150	1	41.3	45.1	
		2	48.9		
15%	30	1	22.7	29.2	
		2	35.7		
	60	1	28.5	30.5	
		2	32.5		
	90	1	29.1	33.4	
		2	37.7		
	120	1	31.2	33.4	
		2	35.6		
	150	1	29.9	33.6	
		2	37.3		

ก.3 ผลทดสอบความแข็งของชิ้นงานโลหะทองแดงและดีบุกก่อนอบผนึกที่มีส่วนผสมของทัลคัม 0% และ 2% ที่เวลาในการบด 30, 360, 1440 และ 2880 นาที

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	ความแข็งของชิ้นงาน*(HV)	ความแข็งเฉลี่ยของภาวะ**(HV)	หมายเหตุ
0%	30	1	31.4	35.2	*ความแข็งของชิ้นงาน หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็ง 12 จุดบนหนึ่งชิ้นงาน **ความแข็งเฉลี่ยของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งของชิ้นงาน 2 ชิ้นใน 1 ภาวะ
		2	39.0		
	360	1	46.1	47.9	
		2	49.7		
	1440	1	44.5	49.3	
		2	54.1		
	2880	1	48.8	50.6	
		2	52.4		
2%	30	1	31.2	32.2	
		2	33.2		
	360	1	40.3	43.4	
		2	46.5		
	1440	1	44.1	45.9	
		2	47.7		
	2880	1	45.3	48.3	
		2	51.3		

ก.4 ผลทดสอบความแข็งของชิ้นงานโลหะทองแดงและดีบุกหลังอบผนึกที่มีส่วนผสมของทัลคัม 0% และ 2% ที่เวลาในการบด 30, 360, 1440 และ 2880 นาที

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	ความแข็งของชิ้นงาน*(HV)	ความแข็งเฉลี่ยของภาวะ**(HV)	หมายเหตุ
0%	30	1	41.7	45.1	*ความแข็งของชิ้นงาน หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็ง 12 จุดบนหนึ่งชิ้นงาน **ความแข็งเฉลี่ยของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งของชิ้นงาน 2 ชิ้นใน 1 ภาวะ
		2	48.5		
	360	1	74.4	77.8	
		2	81.2		
	1440	1	88.2	90.4	
		2	92.6		
	2880	1	90.5	92.0	
		2	93.5		
2%	30	1	39.1	42.0	
		2	44.9		
	360	1	69.3	72.0	
		2	74.7		
	1440	1	82.8	88.4	
		2	94.0		
	2880	1	89.9	91.8	
		2	93.7		

ก.5 ผลทดสอบความแข็งของชิ้นงานโลหะบรอนซ์ดีบุกก่อนอบผนึก

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	ความแข็งของชิ้นงาน* (HV)	ความแข็งเฉลี่ยของภาวะ** (HV)	หมายเหตุ
0%	30	1	41.2	43.0	*ความแข็งของชิ้นงาน หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็ง 12 จุดบนหนึ่งชิ้นงาน **ความแข็งเฉลี่ยของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งของชิ้นงาน 2 ชิ้นใน 1 ภาวะ
		2	44.8		
	60	1	49.5	51.0	
		2	52.5		
	90	1	61.1	63.8	
		2	66.5		
	120	1	69.4	72.5	
		2	75.6		
	150	1	80.9	83.4	
		2	85.9		
5%	30	1	32.7	36.7	
		2	40.7		
	60	1	37.3	39.8	
		2	42.3		
	90	1	39.7	41.5	
		2	43.3		
	120	1	43.2	45.8	
		2	48.4		
	150	1	50.5	52.3	
		2	54.1		
10%	30	1	32.3	33.3	
		2	34.3		
	60	1	32.5	35.1	
		2	37.7		
	90	1	34.9	38.2	
		2	41.5		
	120	1	39.5	41.3	
		2	43.1		
	150	1	42.2	45.1	
		2	48.0		
15%	30	1	28.4	30.0	
		2	31.6		
	60	1	27.4	30.5	
		2	33.6		
	90	1	29.2	31.2	
		2	33.2		
	120	1	30.6	32.3	
		2	34.0		
	150	1	31.1	33.7	
		2	36.3		

ก.6 ผลทดสอบความแข็งของชิ้นงานโลหะบรอนซ์ดีบุกหลังอบผนึก

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	ความแข็งของชิ้นงาน* (HV)	ความแข็งเฉลี่ยของภาวะ** (HV)	หมายเหตุ
0%	30	1	49.5	52.0	*ความแข็งของชิ้นงาน หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็ง 12 จุดบนหนึ่งชิ้นงาน **ความแข็งเฉลี่ยของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งของชิ้นงาน 2 ชิ้นใน 1 ภาวะ
		2	54.5		
	60	1	71.2	73.4	
		2	75.6		
	90	1	80.7	83.7	
		2	86.7		
	120	1	87.3	91.0	
		2	94.7		
	150	1	99.5	101.3	
		2	103.1		
5%	30	1	40.6	43.0	
		2	45.4		
	60	1	41.8	44.6	
		2	47.4		
	90	1	41.2	45.9	
		2	50.6		
	120	1	48.9	52.8	
		2	56.7		
	150	1	58.5	61.3	
		2	64.1		
10%	30	1	38.2	41.2	
		2	44.2		
	60	1	39.5	42.0	
		2	44.5		
	90	1	41.3	43.1	
		2	44.9		
	120	1	45.6	49.8	
		2	54.0		
	150	1	50.7	53.0	
		2	55.3		
15%	30	1	37.8	40.0	
		2	42.8		
	60	1	39.4	40.4	
		2	41.4		
	90	1	37.9	41.0	
		2	44.1		
	120	1	38.8	42.1	
		2	45.4		
	150	1	40.2	43.0	
		2	45.8		

ก.7 ผลทดสอบความแข็งของชิ้นงานโลหะบรอนซ์ดีบุกก่อนอบผนึกที่มีส่วนผสมของทัลคัม 0% และ 2% ที่เวลาในการบด 30, 360, 1440 และ 2880 นาที

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	ความแข็งของชิ้นงาน*(HV)	ความแข็งเฉลี่ยของภาวะ**(HV)	หมายเหตุ
0%	30	1	42.8	44.2	*ความแข็งของชิ้นงาน หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็ง 12 จุดบนหนึ่งชิ้นงาน **ความแข็งเฉลี่ยของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งของชิ้นงาน 2 ชิ้นใน 1 ภาวะ
		2	45.6		
	360	1	88.5	90.5	
		2	92.5		
	1440	1	95.6	97.3	
		2	99.0		
	2880	1	97.3	99.0	
		2	100.7		
2%	30	1	35.9	39.1	
		2	42.3		
	360	1	81.1	84.6	
		2	88.1		
	1440	1	89.5	92.5	
		2	95.5		
	2880	1	96.2	97.8	
		2	99.4		

ก.8 ผลทดสอบความแข็งของชิ้นงานโลหะบรอนซ์ดีบุกหลังอบผนึกที่มีส่วนผสมของทัลคัม 0% และ 2% ที่เวลาในการบด 30, 360, 1440 และ 2880 นาที

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	ความแข็งของชิ้นงาน*(HV)	ความแข็งเฉลี่ยของภาวะ**(HV)	หมายเหตุ
0%	30	1	50.3	53.4	*ความแข็งของชิ้นงาน หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็ง 12 จุดบนหนึ่งชิ้นงาน **ความแข็งเฉลี่ยของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งของชิ้นงาน 2 ชิ้นใน 1 ภาวะ
		2	56.5		
	360	1	98.8	111.2	
		2	113.6		
	1440	1	120.7	123.6	
		2	126.5		
	2880	1	141.1	144.0	
		2	146.9		
2%	30	1	44.2	48.6	
		2	53.0		
	360	1	100.5	102.6	
		2	104.7		
	1440	1	114.4	117.6	
		2	120.8		
	2880	1	139.5	140.4	
		2	141.3		

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลดิบสำหรับการทดสอบการสึกหรอ

ข.1 ผลทดสอบสมบัติการสึกหรอของโลหะทองแดงและดีบุก

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	อัตราการสึกหรอของชิ้นงาน (กรัม/นาที)	อัตราการสึกหรอเฉลี่ย* (กรัม/นาที)	หมายเหตุ
0%	30	1	0.0026	0.0027	*อัตราการสึกหรอเฉลี่ยของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าอัตราการสึกหรอของชิ้นงาน 2 ชิ้นใน 1 ภาวะ
		2	0.0028		
	60	1	0.0027	0.0027	
		2	0.0027		
	90	1	0.0019	0.0020	
		2	0.0021		
	120	1	0.0012	0.0013	
		2	0.0014		
	150	1	0.0012	0.0013	
		2	0.0014		
5%	30	1	0.0265	0.0267	
		2	0.0269		
	60	1	0.0212	0.0213	
		2	0.0214		
	90	1	0.0152	0.0153	
		2	0.0154		
	120	1	0.0145	0.0147	
		2	0.0149		
	150	1	0.0132	0.0133	
		2	0.0134		
10%	30	1	0.0330	0.0333	
		2	0.0336		
	60	1	0.0255	0.028	
		2	0.0305		
	90	1	0.0164	0.0167	
		2	0.0170		
	120	1	0.0157	0.0160	
		2	0.0163		
	150	1	0.0130	0.0133	
		2	0.0136		
15%	30	1	0.5830	0.5840	
		2	0.5850		
	60	1	0.5185	0.5200	
		2	0.5215		
	90	1	0.4910	0.4920	
		2	0.4930		
	120	1	0.3500	0.3513	
		2	0.3526		
	150	1	0.1531	0.1540	
		2	0.1549		

ข.2 ผลทดสอบสมบัติการสึกหรอของโลหะทองแดงและดีบุกที่มีส่วนผสมของทัลคัม 0% และ 2% ที่เวลาในการบด 30, 360, 1440 และ 2880 นาที

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	อัตราการสึกหรอของชิ้นงาน (กรัม/นาที)	อัตราการสึกหรอเฉลี่ย* (กรัม/นาที)	หมายเหตุ
0%	30	1	0.0026	0.0027	*อัตราการสึกหรอเฉลี่ยของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าอัตราการสึกหรอของชิ้นงาน 2 ชิ้น ใน 1 ภาวะ
		2	0.0028		
	360	1	0.0013	0.0013	
		2	0.0013		
	1440	1	0.0013	0.0013	
		2	0.0013		
	2880	1	0.0013	0.0013	
		2	0.0013		
2%	30	1	0.0025	0.0027	
		2	0.0029		
	360	1	0.0019	0.0020	
		2	0.0021		
	1440	1	0.0020	0.0020	
		2	0.0020		
	2880	1	0.0013	0.0013	
		2	0.0013		

ข.3 ผลทดสอบสมบัติการสึกหรอของโลหะบรอนซ์ดีบุก

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	อัตราการสึกหรอของชิ้นงาน (กรัม/นาที)	อัตราการสึกหรอเฉลี่ย* (กรัม/นาที)	หมายเหตุ
0%	30	1	0.0018	0.0020	
		2	0.0022		
	60	1	0.0016	0.0017	
		2	0.0018		
	90	1	0.0015	0.0015	
		2	0.0015		
	120	1	0.0013	0.0013	
		2	0.0013		
	150	1	0.0013	0.0013	
		2	0.0013		
5%	30	1	0.0185	0.0200	
		2	0.0215		
	60	1	0.0145	0.0153	
		2	0.0161		
	90	1	0.0082	0.0100	
		2	0.0118		
	120	1	0.0075	0.0080	
		2	0.0085		
	150	1	0.0065	0.0067	
		2	0.0069		
10%	30	1	0.0257	0.0267	
		2	0.0277		
	60	1	0.0200	0.0213	
		2	0.0226		
	90	1	0.0132	0.0140	
		2	0.0148		
	120	1	0.0127	0.0133	
		2	0.0139		
	150	1	0.0091	0.0100	
		2	0.0109		
15%	30	1	0.5221	0.5233	
		2	0.5245		
	60	1	0.4124	0.4133	
		2	0.4142		
	90	1	0.3857	0.3867	
		2	0.3877		
	120	1	0.2591	0.2600	*อัตราการสึกหรอเฉลี่ยของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าอัตราการสึกหรอของชิ้นงาน 2 ชิ้นใน 1 ภาวะ
		2	0.2609		
	150	1	0.1660	0.1667	
		2	0.1674		

ข.4 ผลทดสอบสมบัติการสึกหรอของโลหะบรอนซ์ดีบุกที่มีส่วนผสมของทัลคัม 0% และ 2% ที่เวลาในการบด 30, 360, 1440 และ 2880 นาที

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	อัตราการสึกหรอของชิ้นงาน (กรัม/นาที)	อัตราการสึกหรอเฉลี่ย* (กรัม/นาที)	หมายเหตุ
0%	30	1	0.0018	0.0020	*อัตราการสึกหรอเฉลี่ยของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าอัตราการสึกหรอของชิ้นงาน 2 ชิ้น ใน 1 ภาวะ
		2	0.0022		
	360	1	0.0012	0.0013	
		2	0.0014		
	1440	1	0.0007	0.0007	
		2	0.0007		
	2880	1	0.0007	0.0007	
		2	0.0007		
2%	30	1	0.0026	0.0027	
		2	0.0028		
	360	1	0.0012	0.0013	
		2	0.0014		
	1440	1	0.0007	0.0007	
		2	0.0007		
	2880	1	0.0007	0.0007	
		2	0.0007		

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลดิบสำหรับการทดสอบการต้านแรงดึง

ค.1 ผลทดสอบสมบัติการต้านแรงดึงของชิ้นงานโลหะทองแดงและดีบุก ที่มีส่วนผสมของทัลคัม 0% และ 2% ที่เวลาในการบด 30, 360, 1440 และ 2880 นาที

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	ความต้านทานแรงดึง(MPa) (MPa)	ความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย (MPa) *	หมายเหตุ
0%	30	1	111	115	*ความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงดึง ของชิ้นงาน 3 ชิ้น ใน 1 ภาวะ
		2	114		
		3	120		
	360	1	118	122	
		2	121		
		3	127		
	1440	1	130	132	
		2	132		
		3	134		
	2880	1	163	170	
		2	171		
		3	176		
2%	30	1	39	42	
		2	41		
		3	46		
	360	1	40	44	
		2	45		
		3	47		
	1440	1	81	85	
		2	87		
		3	87		
	2880	1	95	100	
		2	102		
		3	103		

ค.2 ผลทดสอบสมบัติการต้านแรงดึงของชิ้นงานโลหะบรอนซ์ดีบุก ที่มีส่วนผสมของทัลคัม 0% และ 2% ที่เวลาในการบด 30, 360, 1440 และ 2880 นาที

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	ความต้านทานแรงดึง(MPa) (MPa)	ความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย (MPa) *	หมายเหตุ
0%	30	1	280	281	*ความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงดึง ของชิ้นงาน 3 ชิ้น ใน 1 ภาวะ
		2	281		
		3	282		
	360	1	280	283	
		2	284		
		3	285		
	1440	1	281	285	
		2	285		
		3	289		
	2880	1	289	292	
		2	293		
		3	294		
2%	30	1	128	134	
		2	135		
		3	139		
	360	1	131	136	
		2	135		
		3	142		
	1440	1	162	170	
		2	173		
		3	175		
	2880	1	191	197	
		2	195		
		3	206		

ภาคผนวก ง.

ข้อมูลดิบสำหรับการทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ง.1 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของโลหะทองแดงและดีบุก

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชิ้นงาน	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชิ้นงานเฉลี่ย*	หมายเหตุ
0%	30	1	0.23	0.25	
		2	0.27		
	60	1	0.25	0.25	
		2	0.25		
	90	1	0.19	0.21	
		2	0.23		
	120	1	0.19	0.19	
		2	0.19		
	150	1	0.18	0.18	
		2	0.18		
5%	30	1	0.25	0.25	
		2	0.25		
	60	1	0.23	0.25	
		2	0.27		
	90	1	0.19	0.21	
		2	0.23		
	120	1	0.19	0.19	
		2	0.19		
	150	1	0.18	0.18	
		2	0.18		
10%	30	1	0.19	0.21	
		2	0.23		
	60	1	0.21	0.21	
		2	0.21		
	90	1	0.18	0.18	
		2	0.18		
	120	1	0.18	0.18	
		2	0.18		
	150	1	0.18	0.18	
		2	0.18		
15%	30	1	0.18	0.18	
		2	0.18		
	60	1	0.18	0.18	
		2	0.18		
	90	1	0.14	0.16	
		2	0.18		
	120	1	0.16	0.16	*ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉลี่ยของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 2 ชิ้นใน 1 ภาวะ
		2	0.16		
	150	1	0.16	0.16	
		2	0.16		

ง.2 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของโลหะทองแดงและดีบุกที่มีส่วนผสมของทัลคัม 0% และ 2% ที่เวลาในการบด 30, 360, 1440 และ 2880 นาที

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชิ้นงาน	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชิ้นงานเฉลี่ย*	หมายเหตุ
0%	30	1	0.19	0.21	*ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉลี่ยของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 2 ชิ้นใน 1 ภาวะ
		2	0.23		
	360	1	0.18	0.18	
		2	0.18		
	1440	1	0.14	0.16	
		2	0.18		
	2880	1	0.16	0.16	
		2	0.16		
2%	30	1	0.18	0.18	
		2	0.18		
	360	1	0.14	0.16	
		2	0.18		
	1440	1	0.16	0.16	
		2	0.16		
	2880	1	0.16	0.16	
		2	0.16		

ง.3 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของโลหะบรอนซ์ดีบุก

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชิ้นงาน	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชิ้นงานเฉลี่ย*	หมายเหตุ
0%	30	1	0.21	0.23	
		2	0.25		
	60	1	0.19	0.21	
		2	0.23		
	90	1	0.19	0.19	
		2	0.19		
	120	1	0.19	0.19	
		2	0.19		
	150	1	0.18	0.18	
		2	0.18		
5%	30	1	0.19	0.21	
		2	0.23		
	60	1	0.21	0.21	
		2	0.21		
	90	1	0.19	0.19	
		2	0.19		
	120	1	0.19	0.19	
		2	0.19		
	150	1	0.18	0.18	
		2	0.18		
10%	30	1	0.19	0.19	
		2	0.19		
	60	1	0.19	0.19	
		2	0.19		
	90	1	0.18	0.18	
		2	0.18		
	120	1	0.18	0.18	
		2	0.18		
	150	1	0.18	0.18	
		2	0.18		
15%	30	1	0.18	0.18	
		2	0.18		
	60	1	0.18	0.18	
		2	0.18		
	90	1	0.18	0.18	
		2	0.18		
	120	1	0.16	0.16	*ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉลี่ยของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 2 ชิ้นใน 1 ภาวะ
		2	0.16		
	150	1	0.16	0.16	
		2	0.16		

ง.4 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของโลหะบรอนซ์ดีบุกที่มีส่วนผสมของทัลคัม 0% และ 2% ที่เวลาในการบด 30, 360, 1440 และ 2880 นาที

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชิ้นงาน	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชิ้นงานเฉลี่ย*	หมายเหตุ
0%	30	1	0.19	0.21	*ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉลี่ยของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 2 ชิ้นใน 1 ภาวะ
		2	0.23		
	360	1	0.14	0.16	
		2	0.18		
	1440	1	0.16	0.16	
		2	0.16		
	2880	1	0.16	0.16	
		2	0.16		
2%	30	1	0.18	0.18	
		2	0.18		
	360	1	0.16	0.16	
		2	0.16		
	1440	1	0.16	0.16	
		2	0.16		
	2880	1	0.16	0.16	
		2	0.16		

ภาคผนวก จ.

ข้อมูลดิบสำหรับการทดสอบความขรุขระ

จ.1 ค่าความขรุขระของโลหะทองแดงและดีบุกที่มีส่วนผสมของทัลคัม 0% และ 2% ที่เวลาในการบด 30, 360, 1440 และ 2880 นาที

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ค่าความขรุขระเฉลี่ย* ชิ้นงานก่อนขัด(μm)	ค่าความขรุขระเฉลี่ย** ชิ้นงานหลังขัด(μm)	หมายเหตุ
0%	30	2.3	1.1	*ค่าความขรุขระเฉลี่ยชิ้นงานก่อนขัดคือค่าเฉลี่ยจากการวัดชิ้นงานก่อนขัด ใช้ 2ชิ้นต่อ 1 ภาวะ
	360	1.7	0.6	
	1440	1.7	0.5	
	2880	1.1	0.3	
2%	30	2.8	0.9	**ค่าความขรุขระเฉลี่ยชิ้นงานหลังขัดคือค่าเฉลี่ยจากการวัดชิ้นงานหลังขัด ใช้ 2ชิ้นต่อ 1 ภาวะ
	360	1.4	0.8	
	1440	1.6	0.4	
	2880	1.2	0.3	

จ.2 ค่าความขรุขระของโลหะบรอนซ์ดีบุกที่มีส่วนผสมของทัลคัม 0% และ 2% ที่เวลาในการบด 30, 360, 1440 และ 2880 นาที

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ค่าความขรุขระเฉลี่ย* ชิ้นงานก่อนขัด(μm)	ค่าความขรุขระเฉลี่ย** ชิ้นงานหลังขัด(μm)	หมายเหตุ
0%	30	2.2	0.8	*ค่าความขรุขระเฉลี่ยชิ้นงานก่อนขัดคือค่าเฉลี่ยจากการวัดชิ้นงานก่อนขัด ใช้ 2ชิ้นต่อ 1 ภาวะ
	360	1.5	0.6	
	1440	1.3	0.3	
	2880	1.1	0.3	
2%	30	2.7	0.8	**ค่าความขรุขระเฉลี่ยชิ้นงานหลังขัดคือค่าเฉลี่ยจากการวัดชิ้นงานหลังขัด ใช้ 2ชิ้นต่อ 1 ภาวะ
	360	1.5	0.6	
	1440	1.2	0.3	
	2880	1.1	0.3	

ภาคผนวก ฉ.

ข้อมูลดิบสำหรับการทดสอบความหนาแน่นก้อน

ฉ.1 ค่าความหนาแน่นรวมของชิ้นงานที่เตรียมจากผงโลหะทองแดง คีบุกและทัลคัมที่มีส่วนผสมของทัลคัม 0% และ 2% ที่เวลาในการบด 30, 360, 1440 และ 2880 นาที

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	ค่าความหนาแน่นรวมของชิ้นงาน	ค่าความหนาแน่นรวมของชิ้นงานเฉลี่ย*	หมายเหตุ
0%	30	1	6.8	6.9	*ค่าความหนาแน่นรวมของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นรวม 2 ชิ้นใน 1 ภาวะ
		2	7.0		
	360	1	7.0	7.1	
		2	7.2		
	1440	1	7.2	7.2	
		2	7.2		
	2880	1	7.2	7.3	
		2	7.4		
2%	30	1	6.4	6.5	
		2	6.6		
	360	1	6.5	6.6	
		2	6.7		
	1440	1	6.6	6.7	
		2	6.8		
	2880	1	6.9	6.9	
		2	6.9		

ฉ.2 ค่าความหนาแน่นรวมของชิ้นงานที่เตรียมจากผงโลหะบรอนซ์คีบุกและทัลคัมที่มีส่วนผสมของทัลคัม 0% และ 2% ที่เวลาในการบด 30, 360, 1440 และ 2880 นาที

ปริมาณทัลคัม (%Talc)	เวลาในการบด (นาที)	ชิ้นที่	ค่าความหนาแน่นรวมของชิ้นงาน	ค่าความหนาแน่นรวมของชิ้นงานเฉลี่ย*	หมายเหตุ
0%	30	1	7.5	7.6	*ค่าความหนาแน่นรวมของภาวะ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นรวม 2 ชิ้นใน 1 ภาวะ
		2	7.7		
	360	1	7.6	7.7	
		2	7.8		
	1440	1	7.8	7.8	
		2	7.8		
	2880	1	7.8	7.8	
		2	7.8		
2%	30	1	6.6	6.7	
		2	6.8		
	360	1	6.7	6.8	
		2	6.9		
	1440	1	6.9	7	
		2	7.1		
	2880	1	7.1	7.1	
		2	7.1		

สมบัติของวัสดุผสมระหว่างบรอนซ์ดีบุกกับทัลคัมจากการเตรียมโดยกระบวนการผลิตโลหะผสมเชิงกล

Properties of Tin Bronze/Talcum Composite Material Prepared by Mechanical Alloying Process

ศรีพงษ์ พรรณ์แผ้ว[1] เล็ก สีคง [1] ธวัชชัย ปลูกผล [1] สุธรรม นิยมวาส [2] ประภาศ เมืองจันทร์บุรี [1]

Sripong Phanphaew [1] Lek Srikong [1] Tawatchai Plookpol [1]Sutham Niyomwas [2] and Prapas Muengchanburi [1]

[1]Department of Mining and Material Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112, Thailand

[2]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112, Thailand

บทคัดย่อ:

การศึกษาผลของปริมาณผงทัลคัมและเวลาในการบดผสมต่อสมบัติของวัสดุผสมระหว่างบรอนซ์ดีบุกกับทัลคัมจากการเตรียมโดยกระบวนการโลหะผสมเชิงกล ผลที่ได้หลังจากผ่านการอัดขึ้นรูปและอบผนึกที่อุณหภูมิ 900°C เวลา 60นาที ค่าความแข็งของชิ้นงานก่อนและหลังการอบผนึกจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการบดผสมนานขึ้นแต่จะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณทัลคัมและชิ้นงานหลังการอบผนึกมีค่าความแข็งสูงกว่าก่อนอบผนึกเล็กน้อย จากการทดสอบการสึกหรอพบว่าการสึกหรอจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณผงทัลคัมสูงขึ้นจาก5-15%เพราะว่าเมื่อผสมผงทัลคัมมากขึ้นการกระจายตัวของผงทัลคัมในเนื้อบรอนซ์ไม่ดีทำให้อบผนึกยาก ชิ้นงานจึงมีความแข็งแรงน้อยกว่าเมื่อผสมทัลคัมน้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณทัลคัมก็จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลดลงจึงสรุปว่าควรมีการศึกษาเพิ่มเติมที่ปริมาณทัลคัมไม่เกิน10%โดยเพิ่มเวลาบดให้มากกว่านี้

Abstract:

The objective of this work was to study the influence of various amount of talc at various milling times to the properties of Sn-bronze/talc composite material prepared by mechanical alloying process. The results after mounting and sintering at 900°C for 60 min. revealed that the hardness of the specimens before and after sintering was increased with increasing of milling time and tended to decrease with increasing amount of talc. However, the specimens after sintering had a higher level of hardness than before. Result from the wear test indicated that wear resistance was decreased with increasing amount of talc from 5 to 15%, it was due to higher amount of talc. It caused less distribution of talc powder in bronze which made it difficult to sintering. The specimens then had less hardness when decreasing the amount of talc. However, when increasing the amount of talc, the coefficient of friction of specimens was decreased. Therefore, it can be concluded that, there should have further studies regarding the amount of talc at lower than 10% with the increasing time of milling.

Introduction:

There are many works that have been studied about Sn-bronze mixed with for example graphite, molybdenum disulfide and phosphorus [1,2,4,5,6], but talc mixed in Sn-bronze has been selected for this experiment. Talcum which has lubricating properties has been selected to add to a tin bronze by mechanical alloying method in order to improve the self lubricating property of the bronze composite. The effect of talcum powder content in a

composite and the different milling period on the coefficient of friction and the wear resistance of bronze/talcum composite material has been investigated.

Methodology:

Powders of copper, tin and talcum (90%Cu+10%Sn and various amount of talc of 0%,5%,10% and 15%) were mixed by a vibration ball mill for various time of milling of 30,60,90,120 and 150 minutes. Ar gas was purged in the mill until the mixing finished. The mixed powders were mounted by thermopress machine at P=2000 psi (140bar), T=230°C, time=17min. The hardness of the specimens before and after sintering were tested by Vicker micro hardness tester. The sintering temperature was 900°C for 60min. at the heating rate 10°C/min. The coefficient of friction of specimens was determined. Friction[3] and wear testing were performed by pressing the surface of the specimens on the rotating disk (600rpm) with the force of 150N for 15min. (equal to the distance of 2000m) and then weight loss measuring was observed.

Results and Discussion:

Hardness

The hardness of specimens before and after sintering (Fig.1 and Fig.2) were increased with milling time and tend to decrease with the increasing amount of talc. It was because the higher of amount of talc was the less distribution of talc powder in bronze was observed.

The plot are also shown in Fig.1 and Fig.2

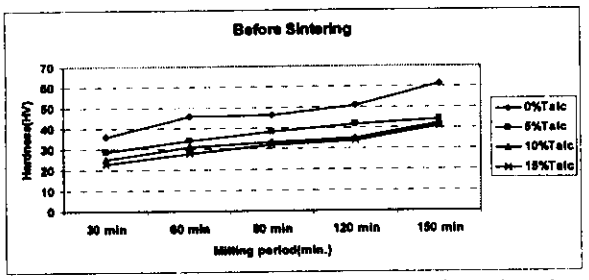

Fig.1 Hardness as the milling period before sintering

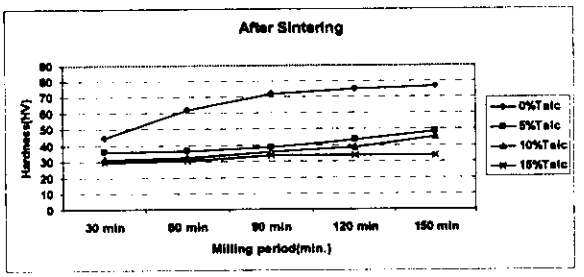

Fig.2 Hardness as the milling period after sintering

Wear test

The weight loss of the specimens tended to decrease, but at 15%talc showed the most significant (Fig.4) and the weight loss was decreased with the increasing of milling period. It caused less distribution of talc powder in bronze which made it difficult to sintering. The relative results are shown in Fig.3 and Fig.4

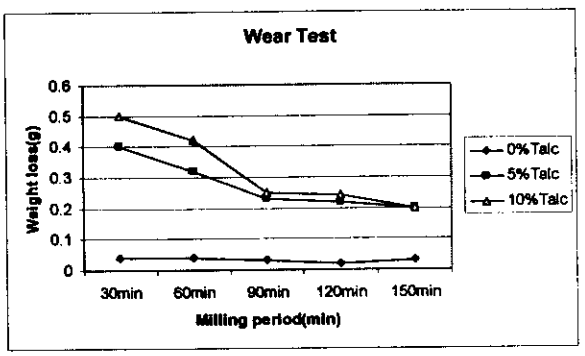

Fig.3 Weight loss as the milling period

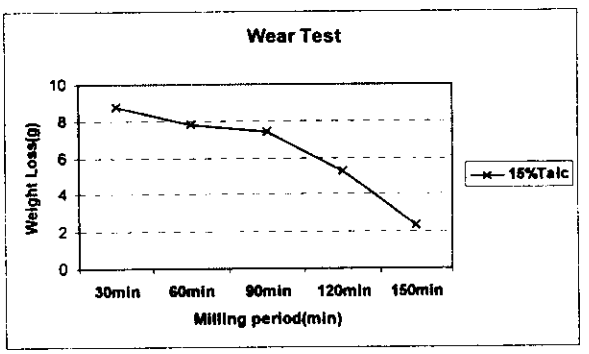

Fig.4 Weight loss as the milling period

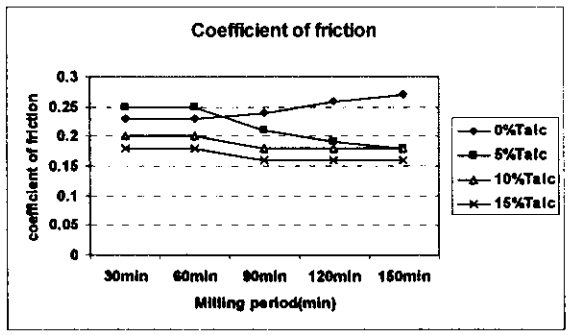

Fig.5 Coefficient of friction as the milling period

Micrographs of the specimens after wear test for the milling period at 150min. are shown in Fig.6. The micrographs indicated there were more black area in C and D compared to A and B. The black areas were the damaged surface.

Fig.6 Micrographs of specimen after wear test at 150min, 200x; A:O%Talc, B:5%Talc, C:10%Talc and D:15%Talc

Coefficient of friction

The coefficient of friction between the hardening disk and the specimens tended to decrease with increasing amount of talc and milling time. The relative results are shown in Fig.5

Conclusion:

The various amount of talc have affected the hardness and coefficient of friction which tended to decrease with the increasing amount of talc but the weight loss was increased. While the milling time was increased, the hardness tended to increase but the weight loss and coefficient of friction was decreased.

It can be concluded that, there should have further studies about the amount of talc at lower than 10% with increasing the milling time.

References:

1.Hirotaka Kato, Masahiro Takama, Yoshiro Iwai, Kazuo Washida, Yoshinori Sasaki, Wear and mechanical properties of sintered copper-tin composites containing graphite or molybdenum disulfide, Wear 255 (2003) 573-578.

2.H. Turhan, M. Aksoy, V. Kuzucu, M.M. Yildirim, The effect of manganese on the microstructure and mechanical properties of leaded-tin bronze, Jornal of Materails Processing Technology 114 (2001) 207-211.

3.Jorn Larsen-Basse, Basic theory of solid friction, National Science Foundation, 1994.

4.M. Kestursatya, J.K. Kim, P.K. Rohatgi, Wear performance of copper-graphite composite and a leaded copper alloy, Materials Science and Engineering A339 (2003) 150-158.

5.Y.Tsuya, H.Shimura, K.Umeda, A study of the properties of copper and copper-tin base self-lubricating composites, 4-12 Igusa, Maech 14, 1972.

6.Zhang Bangwei, Xie Haowen, Liao Shuzhi, Amorphous form an ability in the ternary Cu-Sn-P system by mechanical alloying, Journal of Materials Processing Technology 89-90 (1999) 378-384.

Keywords: self lubricating bronze, Sn-bronze, bronze