

ชื่อโครงการ “การปรับปรุงคุณภาพ งานหล่อนิกเกิล – อลูมิเนียม บรอนซ์ โดยวิธีการของทาคุชิ”

The Quality Improvement of Nickel-Aluminum Bronze Casting by Taguchi's Method

กิตติกร ฤทธิ์สิงห์ เลอศักดิ์ สุมาลย์ และ คมสัน จิระภัทรศิลป์*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

91 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กทม. 10140 * E-mail KOMSON.JIR @ K MUTT.AC.TH

บทคัดย่อ

นิกเกิล – อลูมิเนียม บรอนซ์ เป็นวัสดุที่ใช้ผลิตอะไหล่ ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ชิ้นส่วนยานยนต์และอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ การหล่อโลหะจำพวก นิกเกิล – อลูมิเนียม บรอนซ์ ในบริษัท โรงหล่อ ก.เจริญ จำกัด มักพบปัญหาจากผลิตภัณฑ์ มีความแข็ง และเปราะ จึงทำให้ยากต่อการแปรรูป เช่น การกลึง และเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อเช่น งานหดตัว โพรงอากาศ งานไม่เต็ม เป็นต้น ทั้งนี้การพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของงานหล่อ นิกเกิล – อลูมิเนียม บรอนซ์ ดังกล่าว โดยการใช้วิธีทาคุชิ(Taguchi's method) ที่เป็นแนวคิดที่จะรวมคุณภาพให้อยู่ในผลิตภัณฑ์ และเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการสร้างคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์ วิธีการของทาคุชิพยายามทำให้กระบวนการทำได้ตามที่ถูกต้อง ออกแบบไว้และควบคุมตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการให้เกิดความแน่นอนมากขึ้นและทำให้ทราบถึงตัวแปรที่ต้องมีการควบคุมตามเงื่อนไขและสภาวะต่างๆ วิธีการทดลองกำหนดปัจจัยไว้ 4 ตัว คือ อุณหภูมิเท %นิกเกิล %อลูมิเนียม และ %สังกะสี โดยแบ่งปัจจัยเป็น 3 ระดับ ทำให้ได้แผนการทดลองแบบ $L_9 (3^4)$ และทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้ ค่า S/N-Ratio และการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ANOM ผลศึกษาพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพ มากที่สุดคือ ปัจจัยอุณหภูมิเท รองลงมาคือส่วนผสมอลูมิเนียม ปัจจัยที่และเงื่อนไขที่ดีที่สุดคือ ปัจจัยอุณหภูมิเทที่ $1350\text{ }^{\circ}\text{C}$, นิกเกิล 14% , อลูมิเนียม 12 % และ สังกะสี 8 % ผลการทดสอบสมบัติของ นิกเกิล – อลูมิเนียม บรอนซ์ดีขึ้นและลดจำนวนของเสียให้น้อยลงได้

คำสำคัญ : นิกเกิล – อลูมิเนียม บรอนซ์, การปรับปรุงคุณภาพ, งานหล่อ, วิธีการของทาคุชิ

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการหล่อโลหะนับว่าเป็นส่วนหนึ่งของอุตสาหกรรมขั้นพื้นฐานที่รัฐบาลได้ให้ความสำคัญเป็นพิเศษ เนื่องจากอุตสาหกรรมหล่อโลหะพื้นฐานเกี่ยวข้องกันโดยตรงกับการพัฒนาเทคโนโลยี มีความสำคัญต่อการผลิตของอุตสาหกรรมอื่น ๆ ซึ่งอุตสาหกรรมหล่อโลหะในประเทศไทยนั้น มีการพัฒนาและมีการขยายตัวอย่างมากก็ตามลำดับ ทำให้จำเป็นต้องมีการพัฒนาในด้านคุณภาพอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในงานหล่อโลหะ มักพบปัญหาในการผลิตอยู่เป็นประจำ(หริส สุตะบุตรและคณะ, 2543) อาทิ จุดบกพร่องในงานหล่อ สมบัติทางกายภาพของวัสดุไม่

เป็นไปตามข้อกำหนด เนื่องจาก กรรมวิธีการทางแบบหล่อและกรรมวิธีการหล่อโลหะ เช่นโลหะเหลวที่ความร้อนสูงมาก ได้คลายความร้อนจากชิ้นงานออกไปอย่างรวดเร็ว ทำให้โครงสร้างทางโลหะวิทยาเปลี่ยนแปลงไปเกิดโครงสร้างใหม่ อาจทำให้ที่มีความแข็งแรงสูง มีความเปราะแตกหักง่าย ยากต่อการแปรรูป เช่น การกลึง การเจาะรู การไส เป็นต้น คุณภาพของงานที่ออกมาต่ำไม่ดีเท่าที่ควร เช่นชิ้นงาน เกิดการหดตัว มีโพรงอากาศ ในงาน ทำให้ชิ้นงานเสีย และเป็นการ เพิ่มต้นทุนในการผลิต

สำหรับนิกเกิล – อลูมิเนียม บรอนซ์ เป็นวัสดุที่ใช้ผลิตอะไหล่ ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ชิ้นส่วนยานยนต์และ

อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ (Avner,1974) (Wenschot ,1997) การหล่อโลหะจำพวก นิกเกิล – อลูมิเนียม บรอนซ์ ใน บริษัท โรงหล่อ ก.เจริญ จำกัด มักพบปัญหาจากผลิตภัณฑ์ มีความแข็งแรงและเปราะ จึงทำให้ยากต่อการแปรรูป เช่น การกลึง และเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ เช่น งานหดตัว โพรงอากาศ งานไม่เต็ม เป็นต้น ทำให้ไม่ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีและไม่มีคุณภาพตามที่ลักษณะงาน ที่กำหนด ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตที่มากขึ้น ทั้งนี้ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตนิกเกิล – อลูมิเนียม บรอนซ์หล่อได้แก่ การหลอมหล่อ อุณหภูมิการหลอมและการเทลงแบบ ระยะเวลาการเย็นตัว ช่วงเวลาการเปลี่ยนโครงสร้างของชิ้นงานหล่อ (Lorimer,1986) (Wenschot,1997) การพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของงานหล่อ นิกเกิล – อลูมิเนียม บรอนซ์ ดังกล่าว โดยศึกษาถึงสภาวะที่แท้จริงของกระบวนการทำแบบหล่อ โดยใช้วิธีทางทฤษฎีที่เป็นแนวคิดที่จะรวมคุณภาพให้อยู่ในผลิตภัณฑ์ แทนที่จะใช้การสุ่มตรวจสอบคุณภาพที่ผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้เกิดขึ้นอย่างเดียว กระบวนการต่างหากที่ก่อให้เกิดคุณภาพและสำคัญกว่าการสุ่มตัวอย่างมากมายนัก วิธีของทาคุชิ (Teruo,1994) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการสร้างคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปแล้วคุณภาพจะลดลงโดยการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอนของสภาวะแวดล้อม ดังนั้นวิธีการของทาคุชิพยายามทำให้กระบวนการทำได้ตามที่ถูกต้องแบบไว้และควบคุมตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการให้เกิดความแน่นอนมากขึ้น (Tapan ,1993) จะส่งผลให้เกิดวิธีการผลิตที่มีคุณภาพทราบถึงตัวแปรที่ต้องมีการควบคุมตามเงื่อนไขและสภาวะต่างๆ ทำให้สมบัติของ นิกเกิล – อลูมิเนียม บรอนซ์ดีขึ้นและลดจำนวนของเสียให้น้อยลงได้

วัตถุประสงค์ของการศึกษาได้แก่

1. เพื่อปรับปรุง งานหล่อ นิกเกิล - อลูมิเนียม บรอนซ์ ให้มีคุณภาพมากขึ้น
2. เพื่อปรับปรุงคุณภาพของการผลิตให้ที่ดีและเหมาะสมต่อการผลิต นิกเกิล - อลูมิเนียม บรอนซ์ หล่อ โดยใช้วิธีการของ ทาคุชิ

3. เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการของทาคุชิในการปรับปรุงคุณภาพของงานหล่อโลหะ

2. วิธีการวิจัย

2.1การเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

การเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น โดยข้อมูลที่มีการเก็บรวบรวมนั้นจะเป็นเรื่องสมบัติวัสดุ โครงสร้างจุลภาค กรรมวิธีการผลิตงานหล่อในโรงงาน การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการของทาคุชิ

2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานของวัสดุ

1. สมบัติทางกายภาพของวัสดุ โครงสร้างจุลภาคและส่วนประกอบทางเคมี
2. กรรมวิธีการหล่อในปัจจุบันของโรงงาน
3. จุดเสียและข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในงานหล่อ ประเภท นิกเกิล - อลูมิเนียม บรอนซ์ ที่เกิดขึ้นในโรงงาน ตั้งแต่ กรรมวิธีการทำแบบหล่อ การหลอม การเย็นตัว

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่

- เตาหลอมโลหะ
- เครื่องวิเคราะห์หาส่วนผสมทางเคมี ชนิด Emission Spectrometre
- กล้องจุลทรรศน์ พร้อมระบบถ่ายภาพดิจิทัล
- เครื่องทดสอบความแข็งแรง
- เครื่องวัดอุณหภูมิ

2.4 การออกแบบแผนการทดลอง (Design of Experiment)

พิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อการหล่อหลอม โดยพิจารณาเลือกตัวแปรที่ต้องการศึกษา ส่วนตัวแปรที่ไม่ต้องการศึกษาจะต้องกำหนดวิธีการควบคุมตัวแปร เพื่อให้ความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยภายนอกเกิดขึ้นน้อยที่สุด

การกำหนดตัวแปรที่มีผลกระทบ ซึ่งได้จากศึกษาข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ อุณหภูมิหลอมละลาย ส่วนประกอบของธาตุ นิกเกิล อลูมิเนียมและสังกะสี และได้กำหนดระดับของปัจจัยที่เป็นตัวแปรการทดลองจำนวน 3 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยใช้แผนการ

ทดลองตาม Standard Orthogonal Array ของทากูชิ (Tapan ,1993) ที่เรียกว่า L9 (3⁴) ดังแสดงในตารางที่ 2 ตารางที่ 1 แสดง ปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลอง

ระดับ (LEVEL)	ปัจจัย (FACTOR)			
	A	B	C	D
	อุณหภูมิเท(°C)	Ni (%)	Al (%)	Zn (%)
1	1150	10	10	6
2	1250	12	12	8
3	1350	14	14	10

ตารางที่ 2 แสดงแผนการทดลอง L9 Orthogonal Array

การทดลองที่	อุณหภูมิเท(C°)	Ni (%)	Al(%)	Zn(%)
1	1150	10	10	6
2	1150	12	12	8
3	1150	14	14	10
4	1250	10	12	10
5	1250	12	14	6
6	1250	14	10	8
7	1350	10	14	8
8	1350	12	10	10
9	1350	14	12	6

2.5 การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบ ใช้ค่า Signal to Noise Ration (S/N-Ratio) ชนิด Static S/N-Ratio ในรูปแบบ larger-the-better เนื่องจากต้องการค่าที่เหมาะสมที่สุดเป็นค่ามากที่สุด นั่นคือ ความแข็งแรงตามทีระบุในข้อกำหนดของการผลิต

$$S/N = -10\log \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{y_j^2} \right] \quad (1)$$

เมื่อ

S/N = อัตราส่วนของ S/N ในแต่ละ การทดลอง

n = จำนวนการทดลองซ้ำในแต่ละ การทดลอง

y_j = ค่าตอบสนอง(Response)ในแต่ละครั้งของการทดลอง ของแต่ละการทดลอง (j =1,2,...,r)

การประมาณอิทธิพลของแต่ละปัจจัยโดยใช้การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ANOM (The Analysis of Means) สำหรับ L9 โดยคำนวณค่าเฉลี่ยรวมของ S/N Ratio สำหรับ L9 ในการทดลอง โดยใช้เมื่อ

$$\overline{S/N} = \text{ค่าเฉลี่ยรวมของ S/N Ratio}$$

$$\overline{S/N} = \frac{1}{9} \left[\sum_{i=1}^9 S/N_i \right] \quad (2)$$

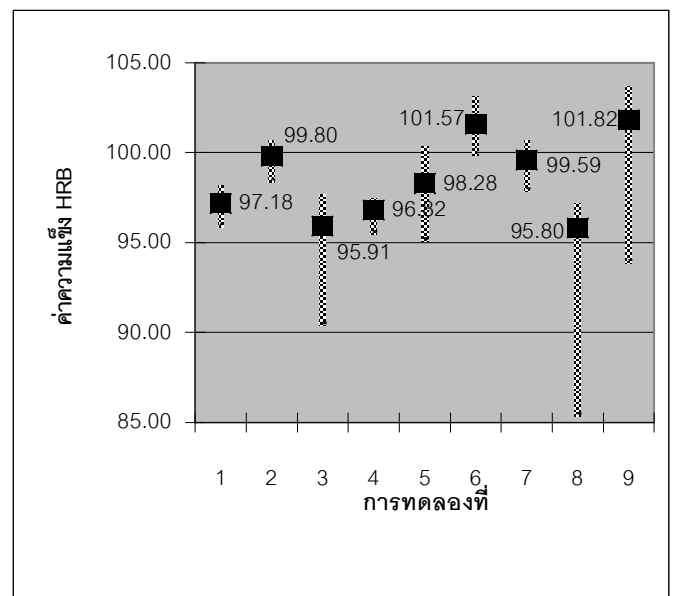
S/N_i = S/N Ratio ของแต่ละการทดลอง

i = ลำดับของการทดลอง

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ความแข็ง

ความแข็งของชิ้นงานปรากฏว่า ชิ้นงานทดลองที่ 9 มีความแข็งแรงมากที่สุด 101.82 HRB รองลงมาได้แก่ ชิ้นงานทดลองที่ 6 101.57 HRB ดังแสดงในรูปที่ 1

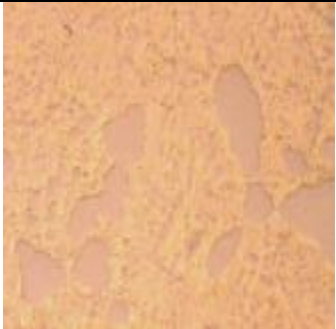
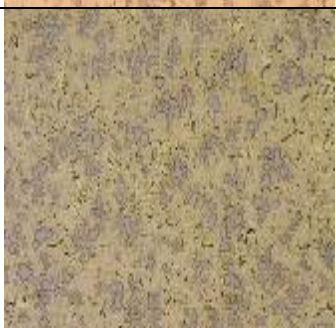
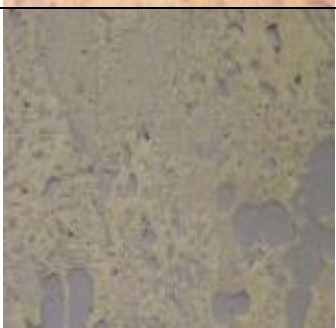
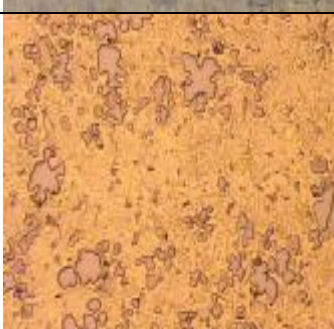


รูปที่ 1 แสดงค่าความแข็งของชิ้นงานทดลอง

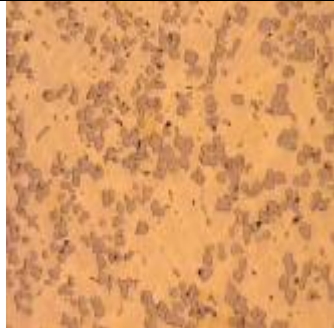
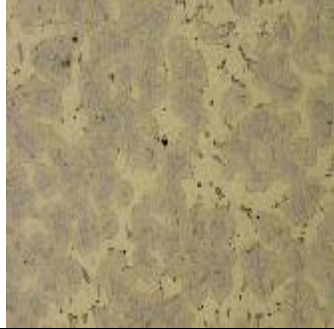
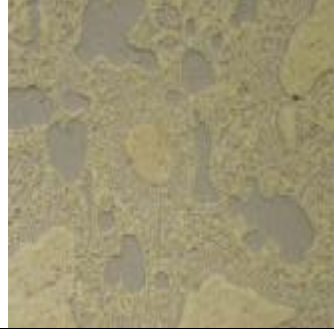
3.2 โครงสร้างจุลภาค

โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง

จำนวน 9 ชิ้นงาน ที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า พบว่า โครงสร้างแบบ dendrite ผสม มีลักษณะของ ดังแสดงในรูปที่ 2

ชั้นทดลองที่	50x	100 x	500 x
1			
2			
3			
4			
5			

รูปที่ 2 แสดงภาพโครงสร้างจุลภาคของชั้นงานทดลอง

ชั้นทดลองที่	50x	100 x	500 x
6			
7			
8			
9			

รูปที่ 2 (ต่อ) แสดงภาพโครงสร้างจุลภาคของชั้นงานทดลอง

3.3 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพ

ค่า S/N-Ratio ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งค่า S/N-Ratio นั้นได้มาจากการคำนวณโดยใช้สมการที่ 1 โดยที่ค่า S/N-Ratio เป็นชนิดค่าตอบสนองที่มากที่สุดคือค่าที่ดีที่สุด(Larger – the – better type)

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองและค่า S/N-Ratio ของแต่ละการทดลอง

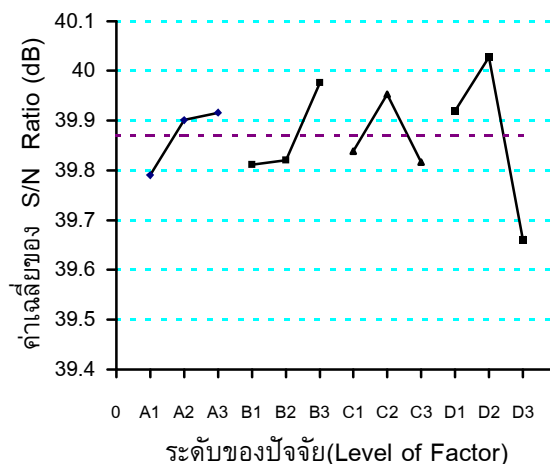
การทดลองที่	ค่าความแข็ง	S/N ration
1	97.18	39.75
2	99.80	39.98
3	95.91	39.63
4	96.82	39.71
5	98.28	39.84
6	101.57	40.13
7	99.59	39.96
8	95.80	39.62
9	101.82	40.15

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (ANOM) นั้น ค่า S/N-Ratio เฉลี่ยของแต่ละระดับของแต่ละปัจจัยควบคุมแสดงถึงผลของระดับแต่ละระดับของแต่ละปัจจัยควบคุม ถ้าค่า S/N-Ratio เฉลี่ยของระดับของปัจจัยควบคุมใดมีค่ามากก็จะมีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน ดังแสดงในตารางที่ 4 เป็นค่า S/N-Ratio เฉลี่ย ของแต่ละระดับของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง พบว่าปัจจัยอุณหภูมิเทมีความแตกต่างของค่า S/N-Ratio เฉลี่ยมากที่สุด(ค่า Max – Min) รองลงมาคือ ค่าส่วนผสมของอลูมิเนียม ซึ่งแสดงว่า อุณหภูมิเทมีผลต่อความแข็งแรงมากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแข็งตัวของโลหะในช่วงถ่ายเทความร้อนทำให้โครงสร้างที่แข็งแรง

การเลือกเงื่อนไขที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองพิจารณาจากค่า S/N-Ratio เฉลี่ยของแต่ละระดับของปัจจัยควบคุมทั้งหมด โดยเลือกจากระดับของแต่ละปัจจัยที่ให้ค่า S/N-Ratio เฉลี่ยมากที่สุด ดังกราฟในรูปที่ 3 ดังนั้นเงื่อนไขที่ดีที่สุดคือ อุณหภูมิเท (A3) , % นิกเกิล (B3) , % อลูมิเนียม (C2) และ % สังกะสี (D2)

ตารางที่ 4 แสดงค่า S/N-Ratio เฉลี่ยของแต่ละระดับของแต่ละปัจจัย

ปัจจัย	ค่า S/N-Ratio เฉลี่ย (dB.)			Max – Min (dB.)
	ระดับ 1	ระดับ 2	ระดับ 3	
อุณหภูมิเท	53.40	59.42	60.19	6.79
%Ni	56.58	57.55	58.87	2.29
%Al	59.75	59.62	53.63	6.12
%Zn	58.85	56.76	57.41	2.09



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ของระดับต่างๆของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองกับค่า S/N-Ratio เฉลี่ย

4. สรุปผล

การปรับปรุงคุณภาพของงานหล่อ นิกเกิล – อลูมิเนียม บรอนซ์ ได้ทำการทดลองตามวิธีการของทากูชิ โดยแบ่งการทดลองเป็น 9 ครั้ง นำชิ้นงานมาตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค และวัดความแข็งแรง ได้ผลสรุปว่า

- ชิ้นงานที่มี 9 มีความแข็งแรงมากที่สุด คือ 101.82
- ปัจจัยที่ทำให้ความแข็งแรงที่สุดคือ ปัจจัยอุณหภูมิเท รองลงมาคือส่วนผสมอลูมิเนียม

- บั๊จจัยแลลว็ญไซท่ดี่ท่ส่ด คี่อ อุนหภูมิเท 1350 °C, นีเกิล 14% , อลูมิเนียม 12 % แลลว็ สั๊งกะสึ 8 %

Wenschot A P. New Nickel-Aluminum Bronze Alloy with Low Magnetic Permeability, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 1997; 28A (3); pp 689-697.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงการอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2546

เอกสารอ้างอิง

หริส สุตะบุตรและเคนยิ จิยิอิวา หส่อโลหะ พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์ดวงกมล 2543

Avner S.H. *Introduction to Physical Metallurgy* 2nd Edition, McGraw-Hill Book Co., Singapore 1974

Burns T.A. *The Fescso Foundrymen's Handbook* 9th edition USA

Hyatt C. V. ; Magee K. H.; Betancourt T. The Effect of Heat Input on the Microstructure and Properties of Nickel Aluminum Bronze Laser Clad with a Consumable of Composition Cu-9.0Al-4.6Ni-3.9Fe-1.2Mn; *Metallurgical and Materials Transactions A*;1998; 29A (6); pp 67-1690.

Kaplan M. ; Yildiz A. K. The effects of production methods on the microstructures and mechanical properties of an aluminum bronze; *Materials Letters*, 2003

Lorimer G. W. An analytical electron microscopic investigation of a nickel- aluminium-bronze alloy; *Ultramicroscopy*; 1986; 19(4); pp 405.

Tapan P.B *Taguchi Method Explained practical step to robust design*; Prentice-Hall , India; 1993

Teruo M.; *Taguchi Techniques for Image and Pattern Developing Technology*; Prentice-Hall Co.; USA 1994.