สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

บทที่ 4
การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเหล็กหล่อ โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง ในการหาอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเหล็กหล่อเทาที่เหมาะสมที่สุด โดยทดสอบสมบัติเชิงกลของเหล็กหล่อเทา ได้แก่ ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความแข็ง ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปรตอบสนองในแผนการทดลองครั้งนี้ สำหรับปัจจัยที่ทำการศึกษามี 4 ปัจจัย ได้แก่ เศษเหล็กหล่อ เศษเหล็กเหนียว ผงคาร์บอน และเฟอร์โรซิลิกอน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้คือการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมและวิธีพื้นผิวผลตอบสนอง

1. รูปแบบสมการการออกแบบส่วนผสม

สำหรับปัญหาการคัดเลือกอัตราส่วนผสมของชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์เหล็กหล่อเทา มีปัจจัยที่ทำการทดลองทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ เศษเหล็กหล่อ เศษเหล็กเหนียว ผงคาร์บอน และเฟอร์โรซิลิกอน ที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของชิ้นงานเหล็กหล่อเทา มีรูปแบบสมการของการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมดังสมการที่ (26)

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 100 \quad (26)$$

$$73 \leq x_1 \leq 80 \quad (27)$$

$$13 \leq x_2 \leq 20 \quad (28)$$

$$2.5 \leq x_3 \leq 4 \quad (29)$$

$$1 \leq x_4 \leq 3 \quad (30)$$

โดยที่ตัวแปร x_1 คือ เศษเหล็กหล่อ x_2 คือเศษเหล็กเหนียว x_3 คือผงคาร์บอน และ x_4 คือเฟอร์โรซิลิกอน คิดเป็นผลรวมเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และสมการที่ (27) สมการที่ (28) สมการที่ (29) และสมการที่ (30) เป็นอสมการข้อจำกัด

2. วิเคราะห์รูปแบบสมการการออกแบบส่วนผสม

สำหรับการวิเคราะห์รูปแบบสมการจะใช้วิธีการออกแบบส่วนผสมแบบ D-Optimal เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นรูปแบบการทดลองภายใต้ข้อจำกัด (Constrained) (Myers & Montgomery, 2002) โดยใช้การเลือกรูปแบบที่ให้ค่าดีเทอร์มิแนนท์ของเมตริกซ์ของค่า $\mathbf{X}$ ที่มากที่สุดคือ $|\mathbf{X}'\mathbf{X}|$ (Hoskins et al., 2004) ตามสมการที่ (31)

$$\beta = (x'x)^{-1}x'y \qquad (31)$$

เมื่อ β คือเวกเตอร์ข้อจำกัดของสัมประสิทธิ์ในสมการรีเกรสชันที่สัมพันธ์กับเวกเตอร์ตอบสนองy และเมตริกซ์ x ซึ่งจุดการทดลองที่เลือกจะขึ้นอยู่กับรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่แตกต่างกันจากสมการโพลิโนเมียลดั้งเดิมที่มีข้อจำกัดว่า $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 1$

ในการประเมินรูปแบบอัตราส่วนผสมทั้งหมดจะทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Design-expert เวอร์ชั่น 8 ได้อัตราส่วนผสมทั้งหมด 15 อัตราส่วนผสม โดยมีจำนวนการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.1 เพื่อนำไปเตรียมเป็นชิ้นงานในการทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป

ข้อมูลจากการทดสอบสมบัติเชิงกลถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้สมการสมการโพลิโนเมียลของวิธีกำลังสองน้อยสุด (Least squares method) ที่พัฒนามาจากรูปแบบของส่วนผสม (Cornell, 1990) ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะทางคุณภาพ ได้แก่ ตัวแปรตาม (Dependent variables) คือ ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความแข็ง กับตัวแปรอิสระ (Independent variables) ประกอบด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต คือ เศษเหล็กหล่อ เศษเหล็กเหนียว ผงคาร์บอน และเฟอร์โรซิลิกอน ได้สมมติฐานของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อธิบายความสำคัญระหว่างตัวแปรตามหรือตัวแปรตอบสนองกับตัวแปรอิสระ ดังแสดงในสมการที่ (32)

$$y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_1x_2, x_1x_3, x_1x_4, x_2x_3, x_2x_4, x_3x_4) \qquad (32)$$

เมื่อ y คือ ค่าประมาณของตัวแปรตามหรือตัวแปรตอบสนอง x_1, x_2, x_3, x_4 แทนตัวแปรอิสระ โดยบางครั้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อาจจะแทนตัวแปรอิสระด้วยสัญลักษณ์ x' และ $x_1, x_2, x_3, x_4, x_1x_2, x_1x_3, x_1x_4, x_2x_3, x_2x_4, x_3x_4$ แทนอิทธิพลร่วมของตัวแปรอิสระ ซึ่งสามารถเรียกรูปแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ว่า รูปแบบจำลองของการออกแบบส่วนผสม

ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนของการวางแผนการทดลองแบบส่วนผสม

อัตราส่วนผสมที่	x_1(%)	x_2(%)	x_3(%)	x_4(%)
1	78.7	17.0	3.1	1.2
2	74.9	20.0	3.2	1.9
3	76.9	19.6	2.5	1.0
4	80.0	15.1	2.5	2.4
5	77.4	16.2	3.4	3.0
6	75.3	19.2	2.5	3.0
7	80.0	13.0	4.0	3.0
8	77.6	18.2	3.2	1.0
9	76.1	18.4	4.0	1.5
10	75.0	20.0	4.0	1.0
11	75.2	17.8	4.0	3.0
12	79.8	15.6	3.4	1.1
13	77.7	17.5	2.5	2.3
14	73.0	20.0	4.0	3.0
15	77.0	16.9	4.0	2.1

3. การทดสอบสมบัติเชิงกล การหาองค์ประกอบธาตุทางเคมีและการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อเทา

3.1 การทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึง

ค่าความต้านทานต่อแรงดึง คือ ความเค้นแรงดึงสูงสุดที่ตัวอย่างได้รับในระหว่างการดึง ถ้าที่จุดคราก (Yield point) มีค่าความเค้นสูงสุด เรียกว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึง ณ จุดคราก (Tensile strength at yield) แต่ถ้าที่จุดขาดมีค่าความเค้นสูงสุดเรียกว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile strength at break) และค่าความต้านทานต่อแรงดึงเป็นตัวบอกความแข็งแรงและความสามารถในการทนรับแรงดึงของวัสดุจนขาดในช่วงระยะเวลาสั้น ๆด้วยอัตราการดึงคงที่ โดยใช้เครื่องมือทดสอบเครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine) ดังแสดงในภาพที่ 4.1 และเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบ โดยแท่งทดสอบแรงดึงนี้จะถูกนำไปกลึง (Machine) ให้อยู่ในรูปของดัมเบลล์ (Dumbbell) โดยใช้ขนาดตามมาตรฐาน JIS 1994 No.Z2201 ดังแสดงในภาพที่ 4.2 ผลที่ได้จากการทดสอบจะแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress)

และความเครียด (Strain) โดยค่าดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสูตรที่แสดงในสมการที่ (33) และสมการที่ (34) ดังนี้

$$Stress(\delta) = \frac{F}{A_0} \tag{33}$$

$$Strain(\varepsilon) = \frac{L_i - L_0}{L_0} \tag{34}$$

เมื่อ

$\text{Stress}(\delta)$ คือ ความเค้นมีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร

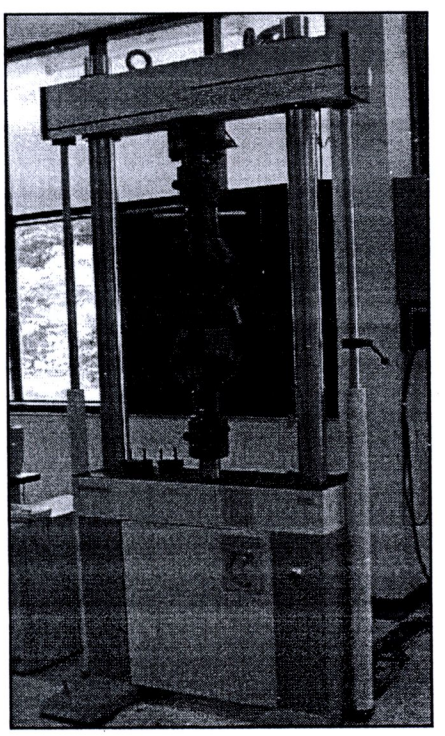
$\text{Strain}(\varepsilon)$ คือ ความเครียด

F คือ แรงดึงที่ให้กับชิ้นงานมีหน่วยเป็นนิวตัน

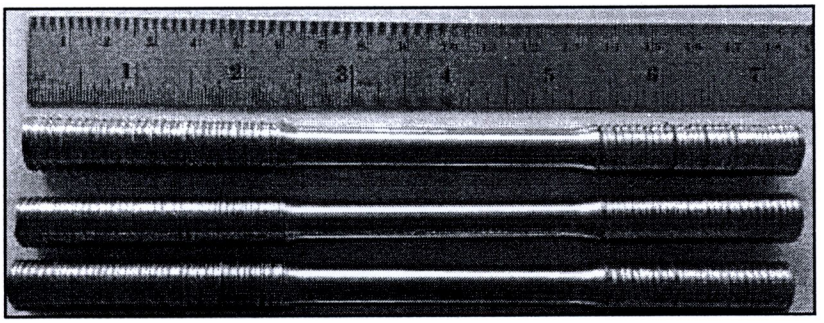
A_0 คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานในช่วงความยาวเกจ (Gauge length) มีหน่วยเป็นตารางเมตร

L_i คือ ความยาวชิ้นงาน ณ ตำแหน่งหรือระยะยืดใด ๆ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

L_0 คือ ความยาวของชิ้นงานเริ่มต้นในช่วงความยาวเกจมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร



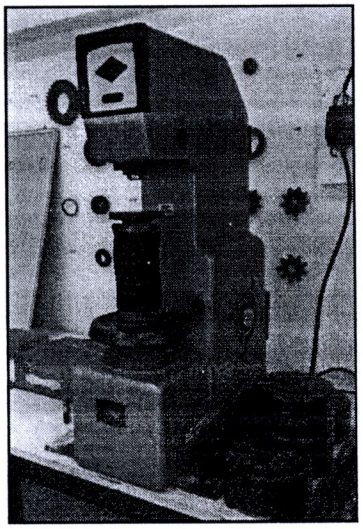
ภาพที่ 4.1 เครื่องทดสอบแรงดึงอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) SHIMADZU รุ่น EHF-EG10-20L



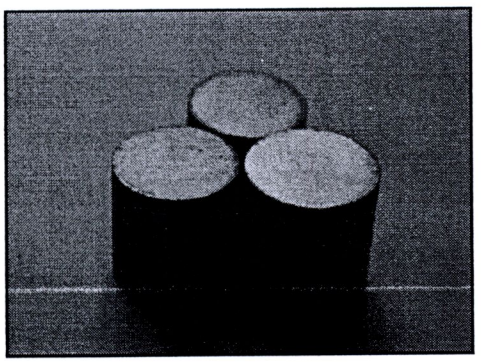
ภาพที่ 4.2 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง

3.2 การทดสอบค่าความแข็ง

ความแข็งเป็นความต้านทานต่อการผิดรูปอย่างถาวรของวัสดุ วัสดุที่มีความแข็งสูงก็จะมีความแข็งแรงสูงตามไปด้วย ดังนั้นการวัดความแข็งเป็นวิธีที่สะดวก ในการที่จะทราบค่า Ultimate tensile strength ของวัสดุนั้น ๆ จะใช้เครื่องทดสอบความแข็ง ดังแสดงในภาพที่ 4.3 โดยเลือกใช้หน่วยวัดแบบบริเนล หัวกดลูกบอลขนาด 10 มิลลิเมตร เป็นเวลา 10-15 วินาที การทดสอบแต่ละชิ้นงาน ตรวจวัด 3 จุด ที่บริเวณใจกลางชิ้นงานและหาค่าเฉลี่ย โดยมีหลักการคือ เครื่องวัดความแข็งจะมีหัวกด (Indenter) ที่มีรูปร่างทรงกลมสำหรับกดลงบนพื้นผิววัสดุด้วยแรงขนาดต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้เกิดรอยกดขนาดต่าง ๆกันด้วย จากนั้นจะทำการวัดขนาดรอยกดเพื่อนำมาคำนวณเพื่อหาค่าความแข็ง



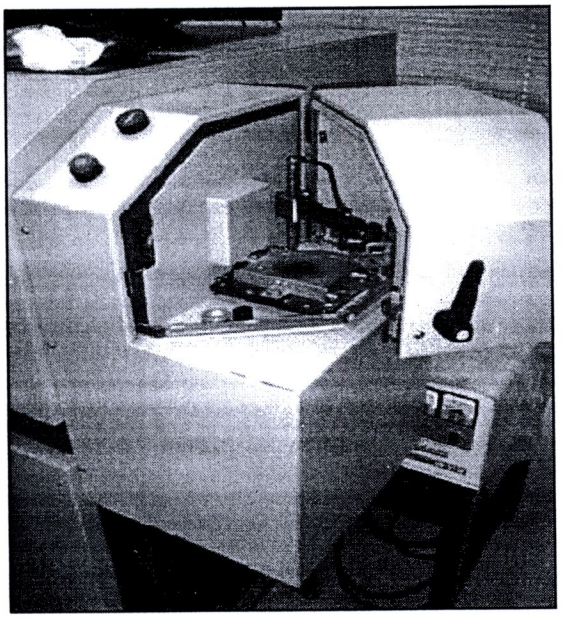
ภาพที่ 4.3 เครื่องมือทดสอบความแข็งหน่วยวัดแบบบริเนล รุ่น CMC 6250101



ภาพที่ 4.4 ชิ้นงานทดสอบความแข็ง

3.3 การหาองค์ประกอบธาตุทางเคมี

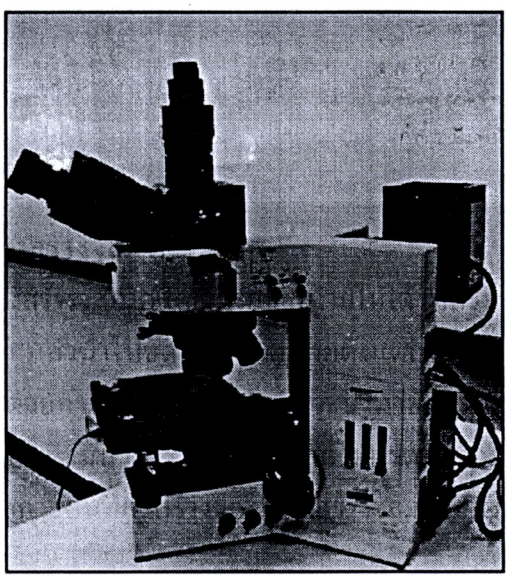
การตรวจสอบองค์ประกอบธาตุทางเคมี โดยเตรียมชิ้นงานให้ได้ให้ได้รูปทรงขนาดประมาณ 10 x 15 x 10 มิลลิเมตร (กว้างxยาวxสูง) แล้วขัดด้วยกระดาษทรายให้เรียบเสมอกัน และนำไปทดสอบโดยใช้เครื่อง Spectrometer



ภาพที่ 4.5 เครื่อง OE Spectrometer ที่ใช้ตรวจสอบองค์ประกอบธาตุทางเคมี รุ่น Thermo ARL 3460

3.4 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค โดยเตรียมชิ้นงานให้ได้รูปทรงขนาดประมาณ 10 x 15 x 10 มิลลิเมตร (กว้างxยาวxสูง) แล้วนำไปขัดกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 220 320 400 600 จนถึง 1200 หลังจากทำการขัดด้วยกระดาษทรายเสร็จจึงจะนำมาขัดละเอียด (Polishing) ด้วยผ้าสักหลาดโดยขัดจนกระทั่งเป็นผิวมันวาว แล้วนำไปกัดด้วยกรดไนตอนเข้มข้น2% ก่อนนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ แล้วทำการบันทึกรูปร่างของโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ



ภาพที่ 4.6 กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค OLYMPUS รุ่น BX60