

บทที่ 3

การทดลอง

การเตรียมชิ้นงานทดลอง

1. การหล่อ หล่อชิ้นงานทดลองเหล็กกล้าโลหะผสมดำขนาด $120 \times 120 \times 120$ มม.³ โดยใช้เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำความถี่สูงของ Pillar ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำความถี่สูง

และได้ตั้งโปรแกรมการหล่อทั้งสิ้น 12 ชิ้นงานทดลอง แบ่งเป็น

ชิ้นงานที่ไม่ได้ควบคุมรูปร่างของซิลิโคนคลุชันและไม่ได้ทุบขึ้นรูป

จำนวน 1 ชิ้นงาน

ชิ้นงานที่ไม่ได้ควบคุมรูปร่างของซิลิโคนคลุชัน

จำนวน 1 ชิ้นงาน

ชิ้นงานที่ใส่ MM.

จำนวน 7 ชิ้นงาน

ชิ้นงานที่ใส่ CaSi

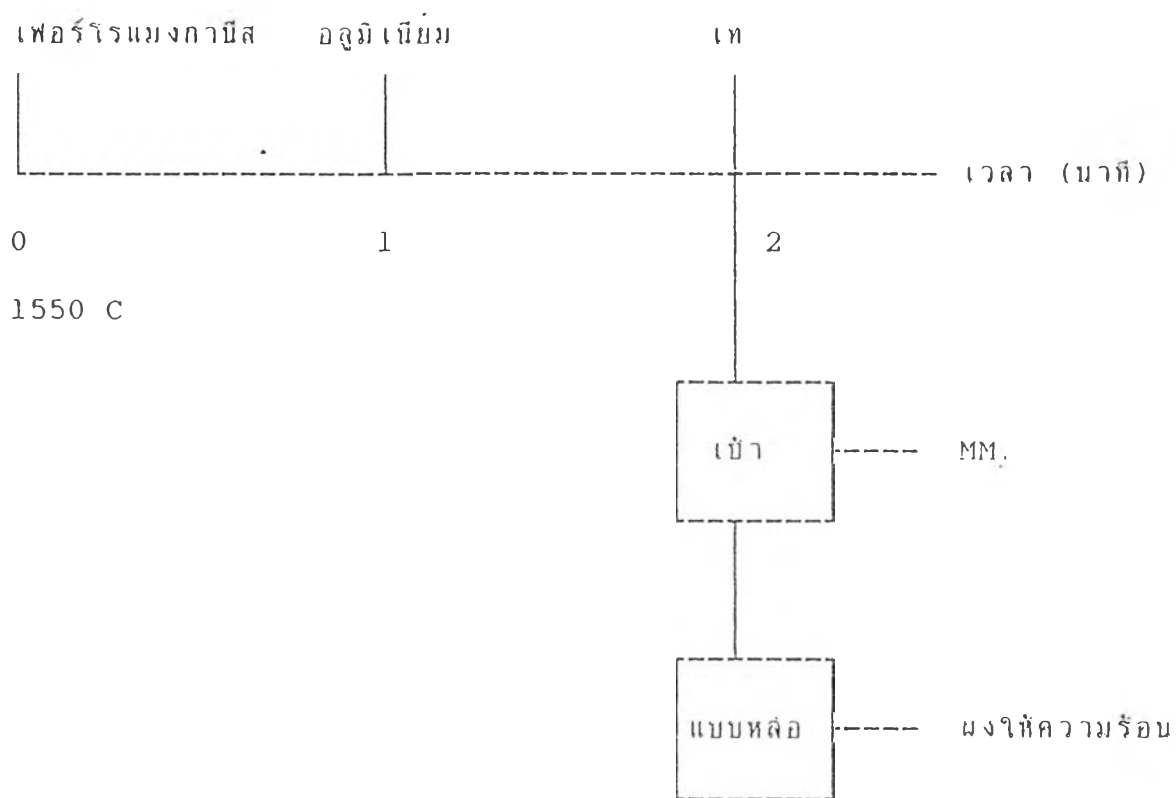
จำนวน 3 ชิ้นงาน

โดยชิ้นงานหล่อเหล็กกล้าโลหะผสมค่าทั้งหมดจะมีส่วนประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน JIS G 5111 (1991) Class SCMn3 ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบทางเคมีของชิ้นงานทดลองเหล็กกล้าโลหะผสมค่าที่ใช้เป็นมาตรฐาน

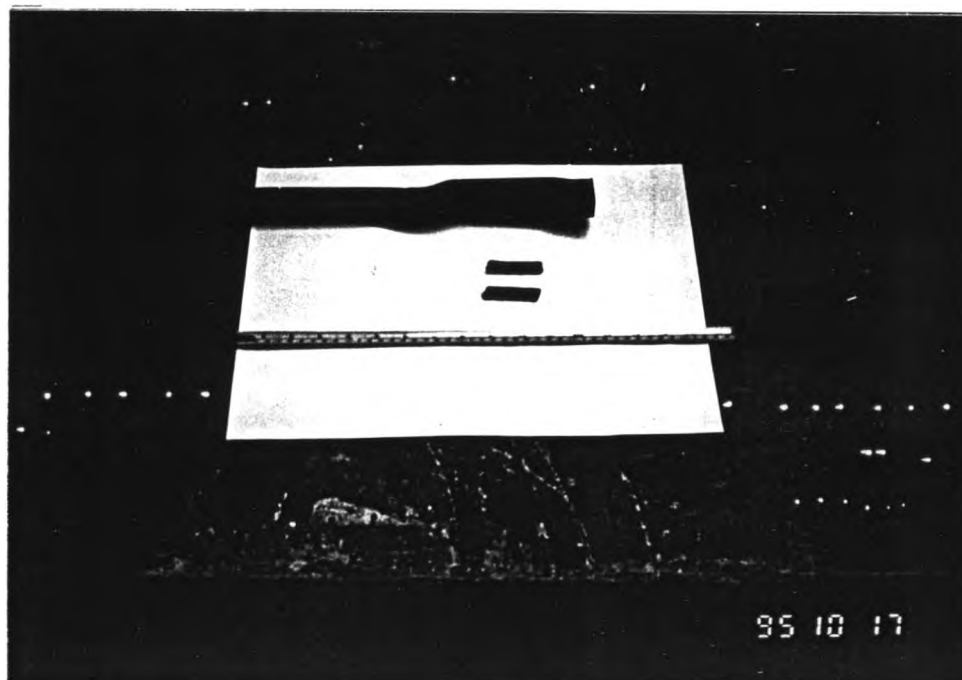
| ธาตุ | C | Si | Mn | P | S |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|--------------|
| เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก | 0.30 - 0.40 | 0.30 - 0.60 | 1.00 - 1.60 | 0.04 max. | 0.04 max. |

การหล่อใช้ไม้สักทำแบบจำลองและใช้แบบหล่อทรายในพิมพ์ไม้ แบบหล่อจะทาด้วยสีเซอร์คอนของ Prometal ชนิด Diamant 5 การแก้ปัญหาการหดตัวของงานหล่อโดยวิธี Directional Solidification ใช้โรเซอร์ประเภทเปิดโดยอาศัย Heuvers Circles และโรยผงให้ความร้อน Exothermic Powder ชนิด Termia 2102 ไล่ลงไปทางคอนบนของโรเซอร์หลังจากเทน้ำเหล็กหมดแล้ว การเติมโลหะผสมต่าง ๆ จะเริ่มเติมเมื่อน้ำเหล็กหลอมเหลวมีอุณหภูมิประมาณ 1550 C และลำดับการเติมดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลำดับการเติมโลหะผสม

โดยจะเติม MM. ลงในเข้า การเติม MM. จะใช้วิธี Plunging Technic ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์การใส่ MM. โดยใช้วิธี Plunging Technic

หลังจากใส่ MM. แล้วจะทำกรกวนน้ำเหล็กอยู่ประมาณ 15 วินาที จึงเทลงแบบหล่อ ปริมาณของธาตุมาตรฐานที่จะบ่อนใส่ลงในหนึ่งเตา (ยกเว้นธาตุที่เป็นพารา-มิเตอร์) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

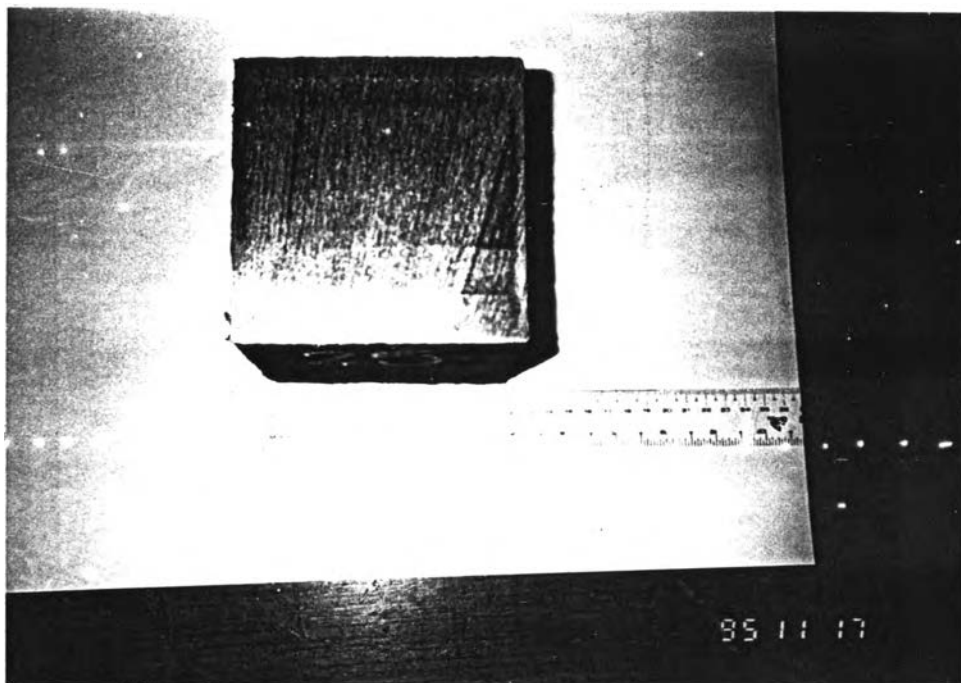
ตารางที่ 3.2 ปริมาณของธาตุมาตรฐานที่บ่อนใส่ลงในหนึ่งเตา

| วัสดุ | ปริมาณ |
|-----------------|--------|
| เหล็กกล้า | 30 กก. |
| ผงคาร์บอน | 50 ก. |
| เฟอร์โรแมงกานีส | 180 ก. |
| อลูมิเนียม | 35 ก. |

รูปที่ 3.4 และ 3.5 แสดงชิ้นงานหล่อหลังจากตัดโรเซอร์ออกแล้ว ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการทำงานที่สมบูรณ์ของโรเซอร์



รูปที่ 3.4 ชิ้นงานหล่อหลังจากตัดไรเซอร์ออกแล้ว



รูปที่ 3.5 ผิวหน้าสัมผัสของชิ้นงานหล่อกับไรเซอร์

2. การตรวจสอบผลสมทางเคมี โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ 2 ประเภท

คือ

ก. เครื่อง Spark Emission Spectrometer (Model Spectrolab-M7) เพื่อตรวจสอบผลสมทางเคมีในเหล็กกล้าโลหะผสมต่ำหล่อ

ข. เครื่อง Nitrogen/Oxygen Determinator (Model TC-436) เพื่อตรวจสอบออกซิเจนในเหล็กกล้าโลหะผสมต่ำหล่อ

การกำหนดหมายเลขของชิ้นงานทดลองกำหนดดังนี้

X0 ; เลข 0 ตัวหลังหมายถึงชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านการชุบขึ้นรูป

1X ; เลข 1 ตัวแรกหมายถึงชิ้นงานที่ไม่ได้ควบคุมรูปร่างของ
ซิลไฟด์อินคลูชัน

2X ; เลข 2 ตัวแรกหมายถึงชิ้นงานที่ควบคุมรูปร่างของ
ซิลไฟด์อินคลูชันด้วย MM.

3X ; เลข 3 ตัวแรกหมายถึงชิ้นงานที่ควบคุมรูปร่างของ
ซิลไฟด์อินคลูชันด้วย CaSi

XX ; ตัวเลข X ตัวหลังจะแสดงลำดับที่ของชิ้นงานในแต่ละ
ประเภท

ชิ้นงานทดลองที่ผ่านการหล่อได้นำมาตรวจสอบผลสมทางเคมี ดัง
แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานทดลอง

| หมายเลข ชิ้นงาน ทดลอง | ส่วนประกอบทางเคมี, เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก | | | | | | | |
|-----------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | C | Si | Mn | P | S | O | Ce | อื่น ๆ |
| 10 | 0.330 | 0.514 | 1.230 | 0.017 | 0.020 | 0.011 | 0.004 | |
| 11 | 0.309 | 0.436 | 1.140 | 0.017 | 0.019 | 0.012 | 0.004 | |
| 21 | 0.353 | 0.550 | 1.270 | 0.021 | 0.021 | 0.010 | 0.010 | |
| 22 | 0.303 | 0.359 | 1.040 | 0.017 | 0.019 | 0.015 | 0.015 | |
| 23 | 0.310 | 0.480 | 1.150 | 0.017 | 0.017 | 0.011 | 0.025 | |
| 24 | 0.327 | 0.526 | 1.230 | 0.022 | 0.017 | 0.017 | 0.032 | |
| 25 | 0.329 | 0.473 | 1.170 | 0.018 | 0.017 | 0.012 | 0.049 | |
| 26 | 0.307 | 0.547 | 1.280 | 0.022 | 0.016 | 0.012 | 0.059 | |
| 27 | 0.312 | 0.421 | 1.160 | 0.022 | 0.020 | 0.012 | 0.080 | |
| 31 | 0.354 | 1.060 | 1.410 | 0.020 | 0.021 | 0.004 | 0.005 | Ca=0.011 |
| 32 | 0.382 | 1.120 | 1.420 | 0.021 | 0.017 | 0.003 | 0.005 | Ca=0.011 |
| 33 | 0.352 | 1.230 | 1.400 | 0.020 | 0.018 | 0.003 | 0.005 | Ca=0.011 |

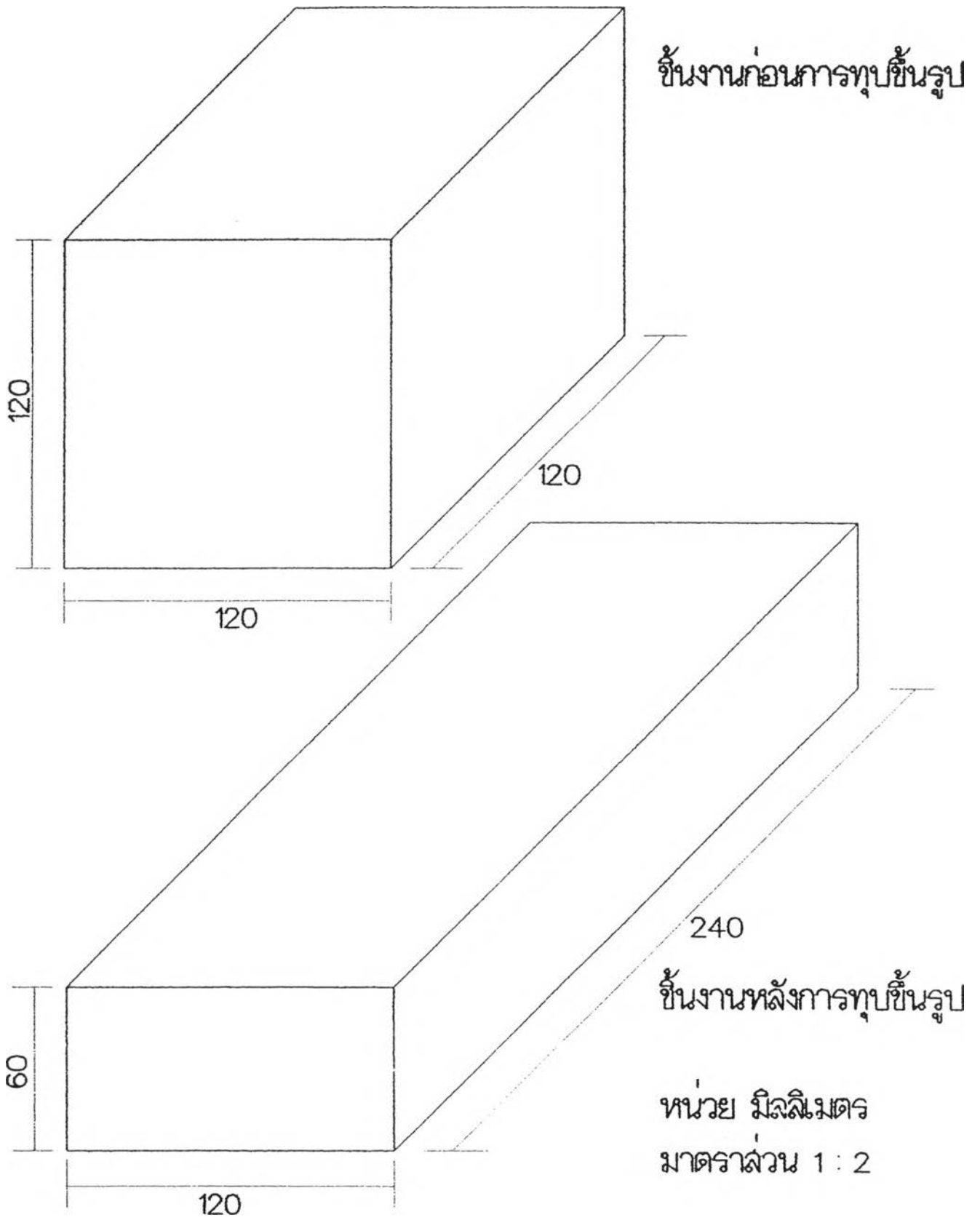
ปริมาณการใส่ Mn. และ CaSi แสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การใส่ MM. และ CaSi ในชิ้นงานทดลอง

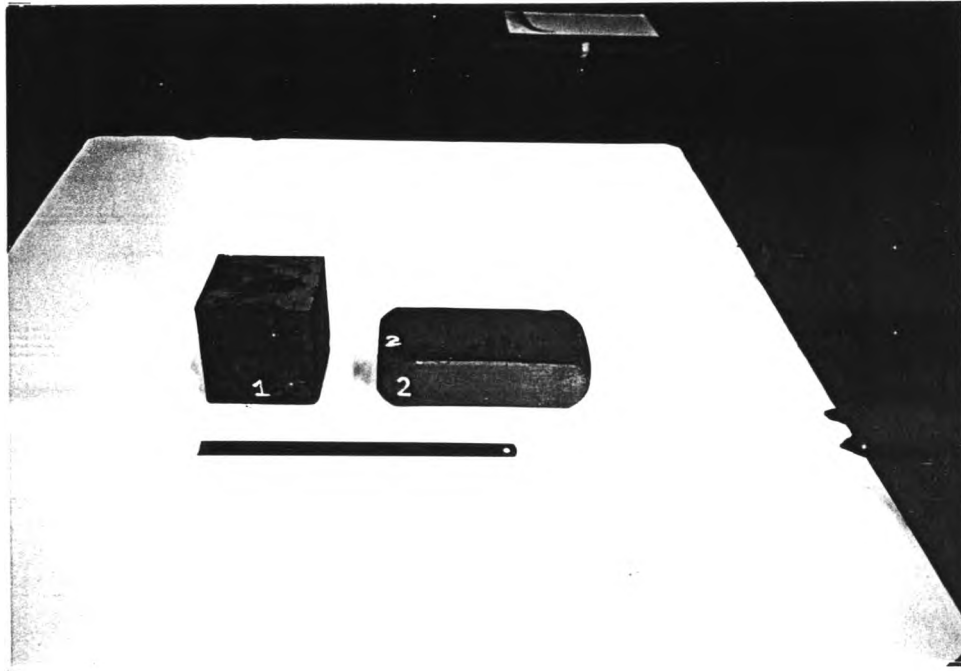
| หมายเลขชิ้นงานทดลอง | ปริมาณการใส่ MM. (กรัม) ต่อเหล็ก 30 กก. | ปริมาณการใส่ CaSi (กรัม) ต่อเหล็ก 30 กก. |
|---------------------|--|---|
| 10 | - | - |
| 11 | - | - |
| 21 | 10 | - |
| 22 | 15 | - |
| 23 | 20 | - |
| 24 | 25 | - |
| 25 | 40 | - |
| 26 | 55 | - |
| 27 | 65 | - |
| 31 | - | 270 |
| 32 | - | 300 |
| 33 | - | 360 |

3. การอบชุบความร้อนนอร์มัลไลซ์ซิง เหล็กที่ผ่านการหล่อมีกจะมี ความแข็งหรือความเหนียวไม่สม่ำเสมอตลอดชิ้นงาน จึงต้องนำมาทำนอร์มัล-ไลซ์ซิงเพื่อทำให้คุณสมบัติของเหล็กสม่ำเสมอและเพื่อลดขนาดเกรนของเหล็ก สำหรับปรับปรุงความเหนียว การทำนอร์มัลไลซ์ซิงยังช่วยในการลดความเครียด ภายในชิ้นงานด้วย (มณี สติรจิตา, 2529) การทำนอร์มัลไลซ์ซิงจะให้ความร้อนกับเหล็กที่อุณหภูมิเหนือเส้น A3 ประมาณ 30-50 C และทิ้งไว้ที่อุณหภูมินี้ 30-60 นาที ต่อความหนา 25 มม. สำหรับงานวิจัยนี้ทำการอบชุบความร้อนด้วย เตา Naber (Model N20H) โดยให้ความร้อนกับชิ้นงานทดลองที่อุณหภูมิ 850 C และคงอุณหภูมินี้ไว้เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จึงนำชิ้นงานมาปล่อยให้เย็นในอากาศนึ่งนอกเตา การตรวจวัดอุณหภูมินอกจากคูที่เตาแล้วยังตรวจซ้ำด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ Electronic Temperature Indicator ของ Shinko Technos (Model RIN-501-E)

4. การทุบขึ้นรูป จากชิ้นงานหล่อขนาด 120 x 120 x 120 มม.³ นำไปผ่านการทุบขึ้นรูปจนได้ขนาด 120 x 60 x 240 มม.³ ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดขนาดความหนาเท่ากับ 50% ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และ 3.7

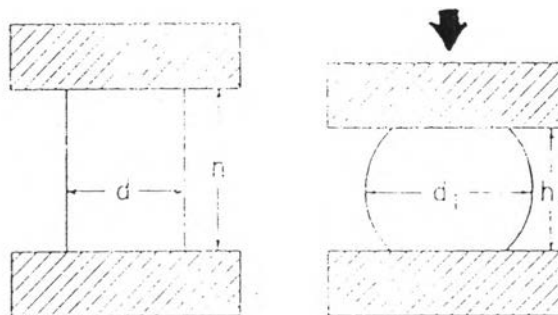


รูปที่ 3.6 ขั้นงานทดลองก่อนและหลังการทุบขึ้นรูป



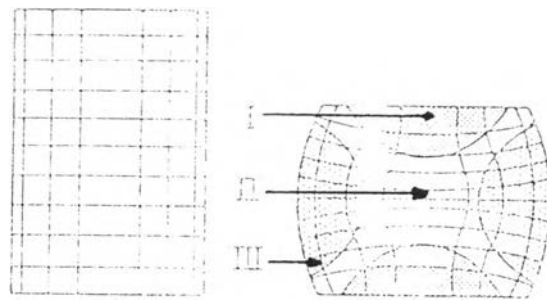
รูปที่ 3.7 ชิ้นงานทดลองจริงก่อนและหลังการทุบขึ้นรูป

การทุบขึ้นรูปทำโดยใช้เครื่อง Forging Hammer แบบ Power ที่อุณหภูมิ 1200 ± 50 C ซึ่งวัดอุณหภูมิโดย Spot Thermometer ของ Minolta (Model TR-630) และใช้แม่พิมพ์หน้าเรียบ ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า Upsetting ดังแสดงในรูปที่ 3.8

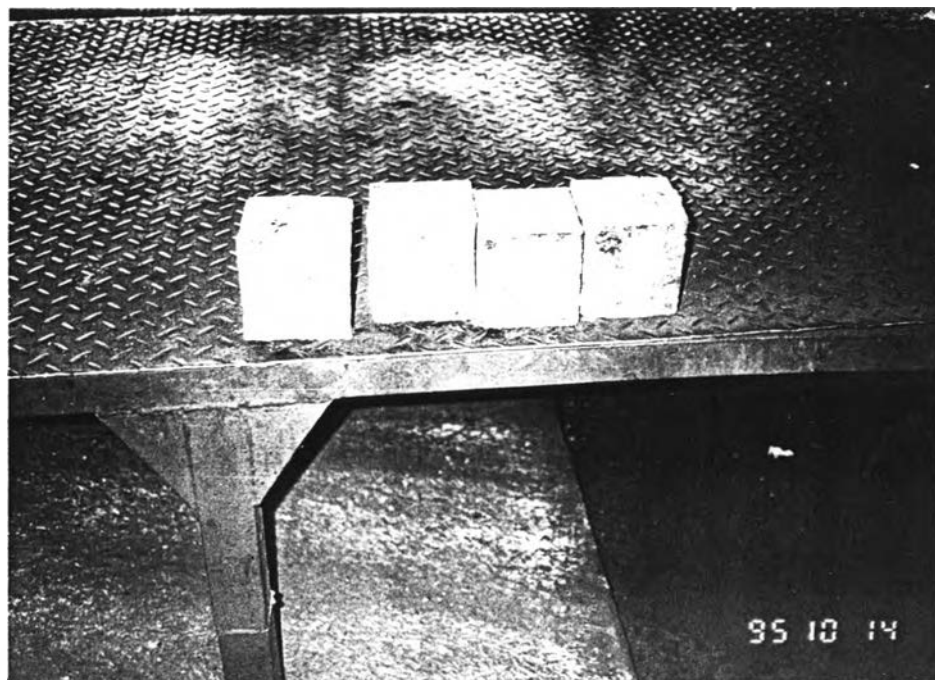


รูปที่ 3.8 การทุบขึ้นรูป Upsetting (Jenson, 1970)

จากรูป 3.8 การแปรรูปภายในชิ้นงานจะไม่เท่ากันทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.9 บริเวณส่วนที่ I เป็นส่วนที่มีการแปรรูปน้อยมากเรียกว่า Dead Zone ส่วนที่ III เรียกว่า Minor Zone มีการแปรรูปมากกว่าส่วนที่ I ซึ่งเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของเนื้อวัสดุในส่วนที่ II บริเวณส่วนที่ II ในรูป 3.9 จะเป็นส่วนที่เกิดการแปรรูปมากที่สุด (Jenson, ed., 1970) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำส่วนดังกล่าวไปเป็นชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.9 การแปรรูปในส่วนต่างๆของชิ้นงานจากการทำ Upsetting (Jenson, 1970)



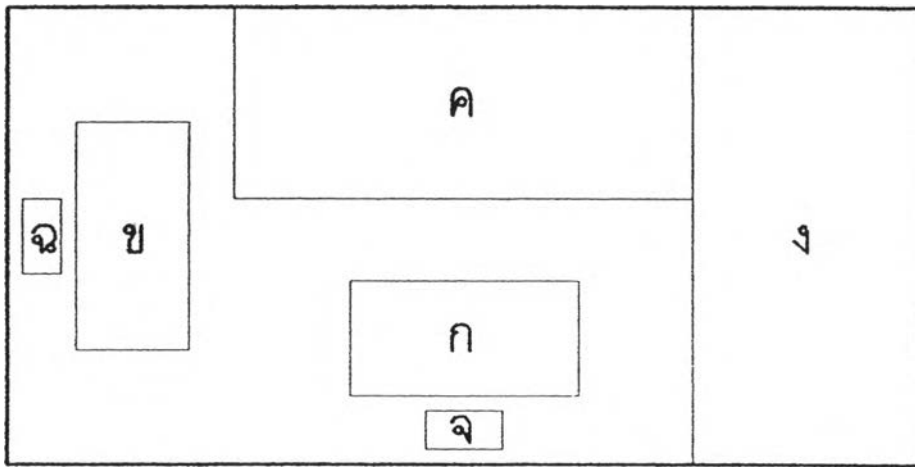
รูปที่ 3.10 ชิ้นงานจริงขณะเข้าแถวรอกระบวนการทุบขึ้นรูป



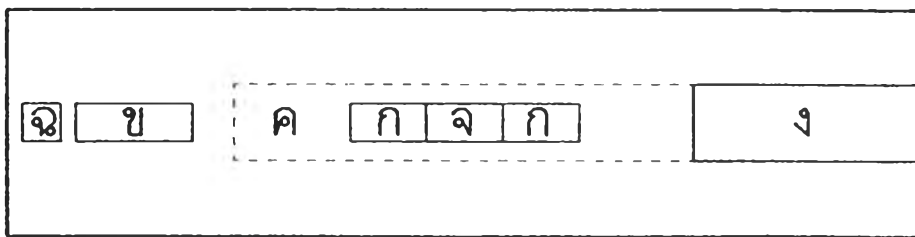
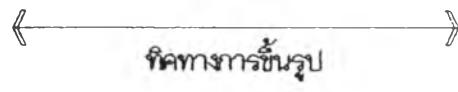
รูปที่ 3.11 ช่างงานจริงขณะกำลังจะทาบขึ้นรูป

การทดสอบ

การกำหนดตำแหน่งทดสอบในชิ้นงานได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.12



ภาพด้านบน



ภาพด้านข้าง

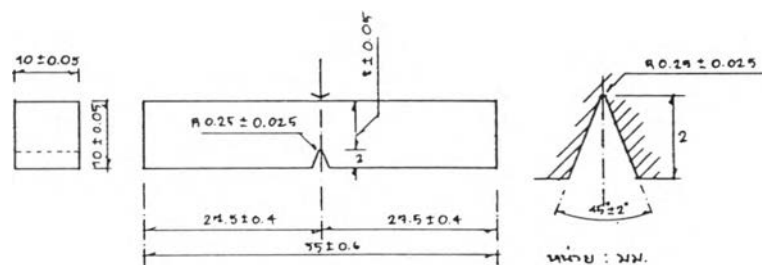
มาตราส่วน 1 : 2

รูปที่ 3.12 ตำแหน่งของชิ้นงานทดสอบ

- จากรูป 3.12 ตำแหน่ง ก. คือชิ้นงานทดสอบการรับแรงกระแทกในแนวทิศทางการขึ้นรูป
- ตำแหน่ง ข. คือชิ้นงานทดสอบการรับแรงกระแทกในแนวขวางทิศทางการขึ้นรูป
- ตำแหน่ง ค. คือชิ้นงานทดสอบแรงดึงในแนวทิศทางการขึ้นรูป
- ตำแหน่ง ง. คือชิ้นงานทดสอบแรงดึงในแนวขวางทิศทางการขึ้นรูป
- ตำแหน่ง จ. คือชิ้นงานทดสอบโครงสร้างจุลภาคในแนวทิศทางการขึ้นรูป
- ตำแหน่ง ฉ. คือชิ้นงานทดสอบโครงสร้างจุลภาคในแนวขวางทิศทางการขึ้นรูป

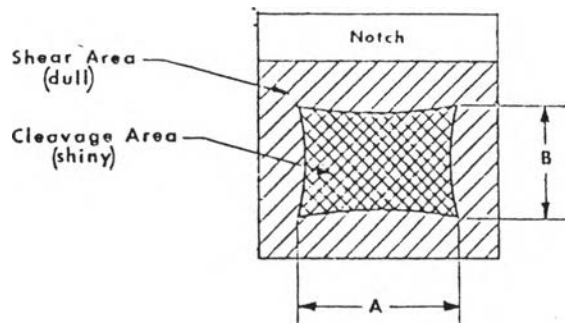
การทดสอบต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นได้แก่

- ก. การทดสอบแรงกระแทกโดยใช้ชิ้นงานทดสอบตาม JIS Z 2202 (1980) No.4 ดังแสดงในรูป 3.13 และใช้วิธีทดสอบตาม JIS Z 2242 (1993) โดยใช้เครื่อง Charpy-Izod Combined Machine ของ Avery-Denison (Model 6705/U)



รูปที่ 3.13 ชิ้นงานทดสอบแรงกระแทก

หลังจากการทดสอบและได้บันทึกค่าพลังงานที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักแล้ว นำชิ้นงานมาสำรวจพื้นผิวรอยแตกหักตามมาตรฐาน ASTM E23-94 ซึ่งเรียกว่า Fracture Appearance คือ การหาเปอร์เซ็นต์ของ Shear Fracture โดยการวัดความยาวและความกว้างของส่วน Cleavage บนพื้นผิวรอยแตกหักดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การหาเปอร์เซ็นต์ Shear Fracture
(Annual Book of ASTM Standard,1995)

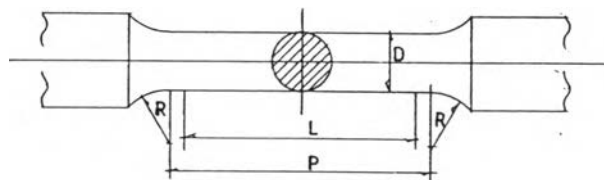
เมื่อได้ค่าความยาวและความกว้างดังกล่าวแล้วนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ Shear โดยใช้ตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การหาค่าเปอร์เซ็นต์ Shear Fracture
(Annual Book of ASTM Standard,1995)

Percent Shear for Measurements Made in Millimetres

| Dimension B,mm | Dimension A,mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | 7.0 | 7.5 | 8.0 | 8.5 | 9.0 | 9.5 | 10 |
| 1.0 | 99 | 98 | 98 | 97 | 96 | 96 | 95 | 94 | 94 | 93 | 92 | 92 | 91 | 91 | 90 | 89 | 89 | 88 | 88 |
| 1.5 | 98 | 97 | 96 | 95 | 94 | 93 | 92 | 92 | 91 | 90 | 89 | 88 | 87 | 86 | 85 | 84 | 83 | 82 | 81 |
| 2.0 | 98 | 96 | 95 | 94 | 92 | 91 | 90 | 89 | 88 | 86 | 85 | 84 | 82 | 81 | 80 | 79 | 77 | 76 | 75 |
| 2.5 | 97 | 95 | 94 | 92 | 91 | 89 | 88 | 86 | 84 | 83 | 81 | 80 | 78 | 77 | 75 | 73 | 72 | 70 | 69 |
| 3.0 | 96 | 94 | 92 | 91 | 89 | 87 | 85 | 83 | 81 | 79 | 77 | 76 | 74 | 72 | 70 | 68 | 66 | 64 | 62 |
| 3.5 | 96 | 93 | 91 | 89 | 87 | 85 | 82 | 80 | 78 | 76 | 74 | 72 | 69 | 67 | 65 | 63 | 61 | 58 | 56 |
| 4.0 | 95 | 92 | 90 | 88 | 85 | 82 | 80 | 77 | 75 | 72 | 70 | 67 | 65 | 62 | 60 | 57 | 55 | 52 | 50 |
| 4.5 | 94 | 92 | 89 | 86 | 83 | 80 | 77 | 75 | 72 | 69 | 66 | 63 | 61 | 58 | 55 | 52 | 49 | 46 | 44 |
| 5.0 | 94 | 91 | 88 | 85 | 81 | 78 | 75 | 72 | 69 | 66 | 62 | 59 | 56 | 53 | 50 | 47 | 44 | 41 | 37 |
| 5.5 | 93 | 90 | 86 | 83 | 79 | 76 | 72 | 69 | 66 | 62 | 59 | 55 | 52 | 48 | 45 | 42 | 38 | 35 | 31 |
| 6.0 | 92 | 89 | 85 | 81 | 77 | 74 | 70 | 66 | 62 | 59 | 55 | 51 | 47 | 44 | 40 | 36 | 33 | 29 | 25 |

2. การทดสอบแรงดึงโดยใช้ชิ้นงานทดสอบตาม JIS Z 2201 (1980) No.10 ดังแสดงในรูป 3.15 และใช้วิธีทดสอบตาม JIS Z 2241 (1993) โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ของ Shimadzu (Model DSS-10 T)



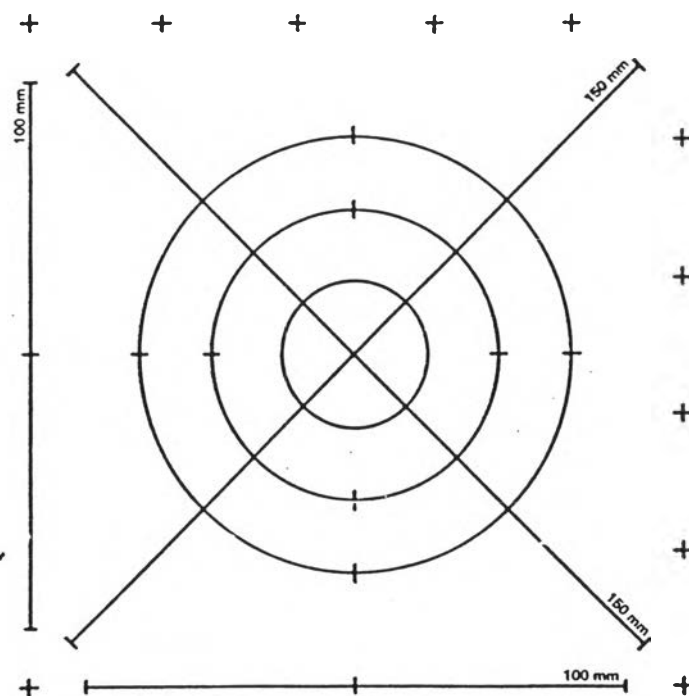
รูปที่ 3.15 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง

3. การทดสอบโครงสร้างจุลภาค สิ่งสำคัญที่สุดของวัสดุทางวิศวกรรมก็คือโครงสร้างของวัสดุนั้น เพราะคุณสมบัติของวัสดุจะเป็นผลมาจากลักษณะโครงสร้างเป็นสำคัญ สำหรับงานวิจัยนี้มีเป้าหมายหลักอยู่ที่การควบคุมรูปร่างของซิลไฟต์อินคลูชันในเหล็กกล้าโลหะผสมค่า หลังจากผ่านการทุบขึ้นรูป รีดจิ้งมุง เข้าไปที่ขั้นตอนการขัดมัน Polishing โดยมีขั้นตอนการเตรียมผิว ชิ้นงานทดสอบ (Samuels, 1982) ดังนี้

ก. การขัดชิ้นงานโดยใช้กระดาษทรายขัดเหล็ก (ซิลิกอนคาร์ไบด์) และใช้น้ำสะอาดหล่อลื่น เริ่มด้วยกระดาษทรายเบอร์ 120, 220, 320, 600, 1000, 2400 และ 4000

ข. การขัดมันโดยใช้ผงอลูมินา 0.25 ไมครอนบนผ้าสักหลาดที่ยึดติดอยู่กับจานหมุนและหล่อลื่นด้วยน้ำสะอาดการกัดกรจะใช้ Nital 2% นาน 15-20 วินาที (Petzow, 1978) ชิ้นงานทดสอบมีขนาดหน้าตัด 10 x 20 มม.² และหนา 10 มม.

การตรวจอินclusionใช้กล้อง Optical Microscope และพิสูจน์ชนิดของอินclusionด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM.) โดยใช้มาตรฐานการทดสอบตาม ISO 4967-1979 ซึ่งมาตรฐานนี้เป็นการตรวจอินclusionในเหล็กกล้าที่ผ่านการรีดหรือทุบขึ้นรูปมาโดยเฉพาะ โดยใช้กำลังขยาย 100 เท่าเป็นหลัก การทดสอบจะใช้วิธีการตรวจสอบตามจริง Actual Examination ทำการตรวจพื้นผิวทั้งหมดของชิ้นงานที่ผ่านการขัดมัน หลังจากนั้นเลือกบริเวณของชิ้นงานทดสอบที่มีการยึดตัวของอินclusionมากที่สุด คือ Worst Field พร้อมกับทำการวัดอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของฟิล์มอินclusionที่ยาวที่สุดรวมทั้งการวัดขนาดเกรนตามมาตรฐาน ISO 643-1983 โดยใช้วิธี Linear Intersected Segment Method ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การวัดขนาดเกรนโดยวิธี Intersected Segment Method (ISO Standard Handbook, 1986)