บทที่ 4

อุปกรณ์และการทดลอง

4.1 การหล่อขึ้นรูป

ชิ้นงานหล่อที่ใช้เป็นชิ้นทดสอบในการศึกษาครั้งนี้ ได้จากการหล่อในแบบหล่อถาวรและเนื่องจากในการทดสอบอายุการล้านั้นไม่มีการกำหนดแบบหล่อมาตรฐานเพื่อเตรียมเป็นชิ้นทดสอบอายุการล้าโดยตรง จึงได้นำเอาแบบหล่อมาตรฐานที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานหล่อ เพื่อการทดสอบความเค้นแรงดึงมาตรฐาน JIS H 0321 ของอะลูมิเนียมผสมหล่อมาแทน

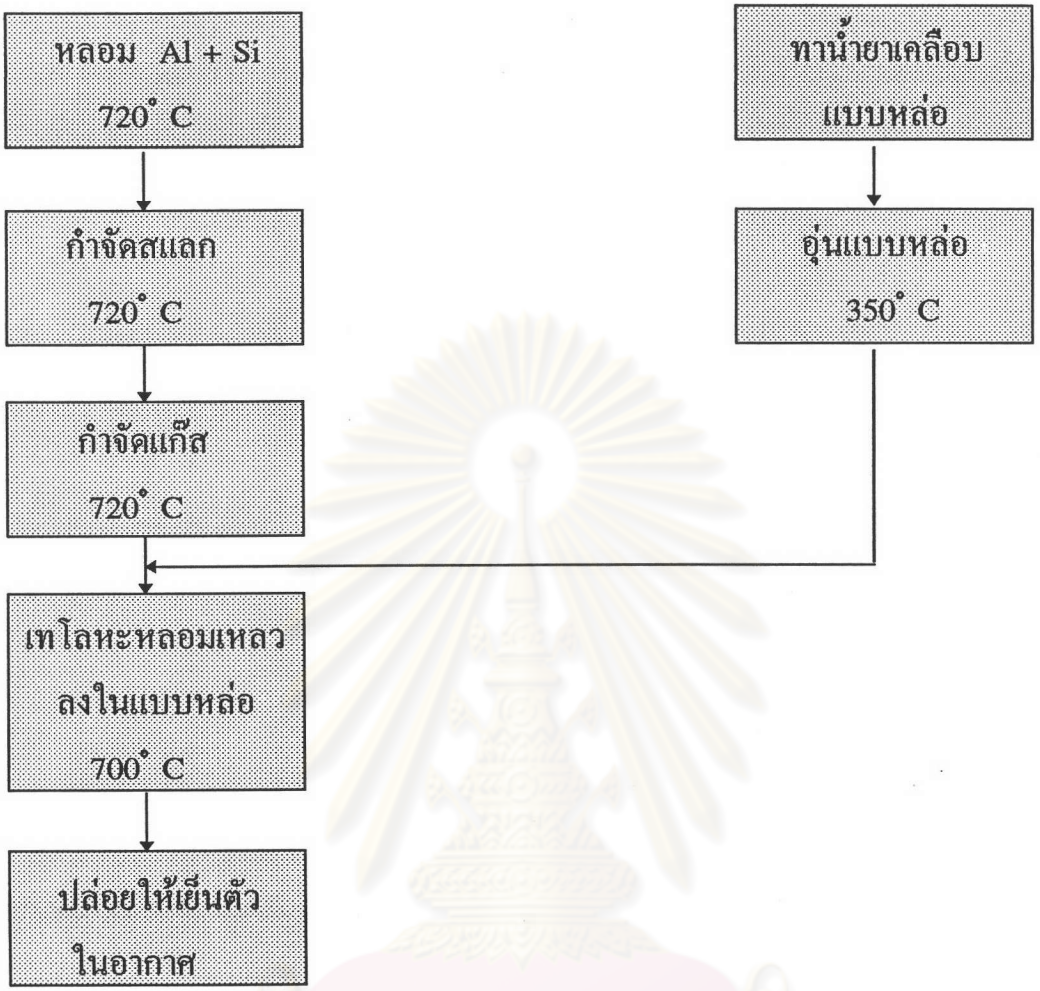
วัตถุดิบ

อะลูมิเนียมที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการหล่อนั้นเป็นอะลูมิเนียมผสม Al-Si โดยมีส่วนผสมทางเคมีของปริมาณของธาตุหลักคือ 6.3%Si เมื่อนำมาหลอมการปรับปริมาณของธาตุ Si กระทำโดยการเติม Al หรือ Si เพื่อให้ได้ส่วนประกอบทางเคมีที่กำหนดกล่าวคือ 5%Si 7%Si และ 10% Si โดยไม่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณของธาตุอื่น

การหลอมอะลูมิเนียมผสม

การหลอมโดยใช้เตาครูซิเบิลแบบใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิง วัตถุดิบที่หลอมเริ่มต้นประกอบด้วยแท่งอะลูมิเนียม 300 กก.ให้ความร้อยแก่อะลูมิเนียมเหลวจนมีอุณหภูมิ 720°C จึงทำการกำจัดสิ่งเจือปนด้วยฟลักซ์ กวนและตักสารมลทินออกใช้เวลาไล่สแลก 10 นาที ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี ถ้ายังไม่ถูกต้องทำการปรับส่วนผสมด้วยการเติมอะลูมิเนียมบริสุทธิ์หรือซิลิคอน จากนั้นทำการไล่ก๊าซโดยการพ่นคละด้วย Ar 99.9% เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 700°C จากนั้นเทลงแบบหล่อถาวรซึ่งได้ผ่านการทาเคลือบด้วยน้ำยาป้องกันการติดแบบและอุ่นแบบให้มีอุณหภูมิ 350°C ปล่อยให้เย็นตัวในแบบ 120 วินาที และแกะแบบออกให้ชิ้นงานเย็นตัวในอากาศแล้วทำการเทแบบอีกจนได้ชิ้นงานครบจำนวน 50 ชิ้น จึงทำการปรับส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมหลอมเหลวใหม่เป็น 7% Si โดยการเติม Si ผง แล้วทำการไล่ก๊าซแล้วเทจนได้จำนวนที่ต้องการและทำการปรับส่วนผสมเป็น 10% Si อีกครั้งหนึ่ง และทำตามขั้นตอนเดิมจนได้ชิ้นงานครบ 50 ชิ้น ต่อส่วนผสมซิลิคอน 1 ระดับ

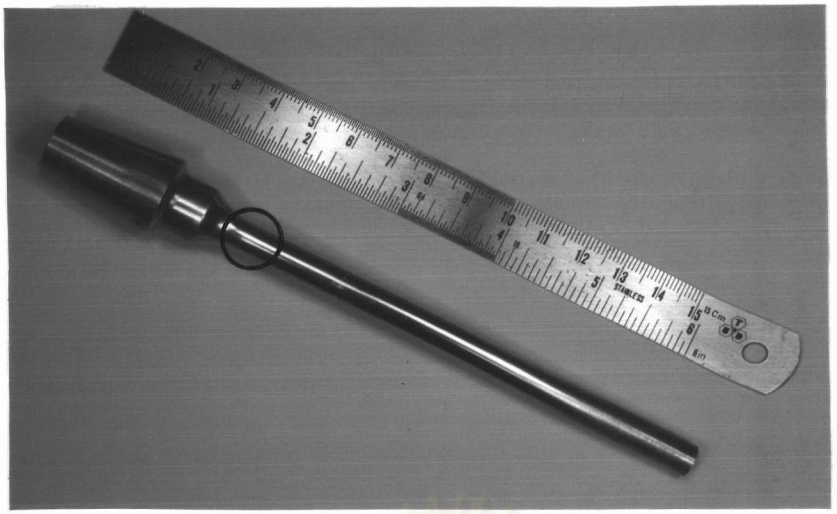
กรรมวิธีการหล่อหลอมอะลูมิเนียมผสม



รูปที่ 4.1 การหล่อหลอมอะลูมิเนียมผสม

4.2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

วัตถุประสงค์ของการตรวจสอบโครงจุลภาค เพื่อให้ทราบเฟสต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น รวมทั้งการกระจายของเฟสเหล่านั้น และข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจมีผลต่อพฤติกรรมการล้าของอะลูมิเนียมผสมหล่อ



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งการตัดชิ้นตัวอย่างจากชิ้นทดสอบเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

การเตรียมชิ้นทดสอบ

การขัดชิ้นทดสอบ

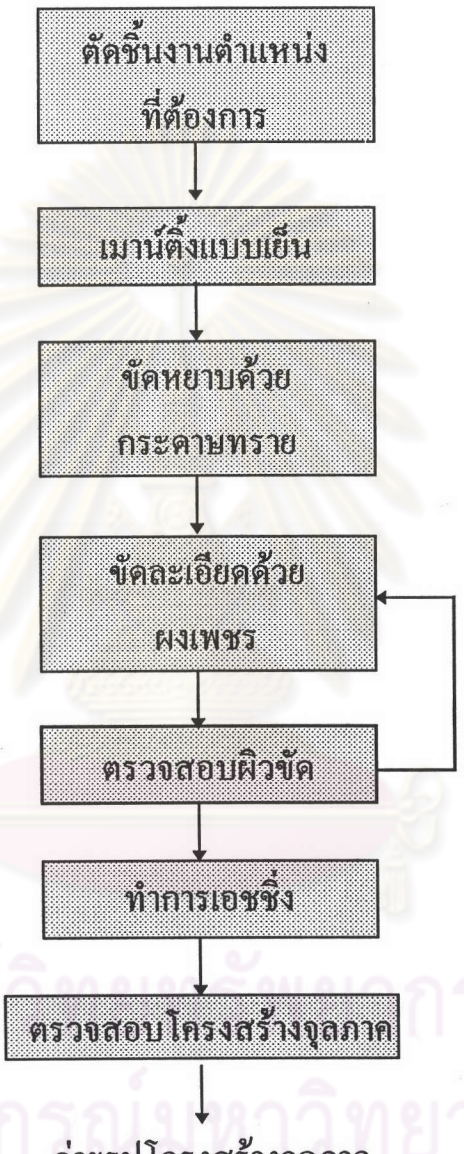
การเตรียมชิ้นตัวอย่างเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมผสมหล่อ เริ่มต้นด้วยการตัดชิ้นตัวอย่างจากชิ้นทดสอบ โดยเลือกตัดจากบริเวณที่คาดว่าจะเกิดการแตกหัก เมื่อทำการทดสอบการล้า

การเมื่อตัดชิ้นทดสอบกระทำตรงตำแหน่งตามรูปที่ 4.2 แล้วก็มาทำตัวเรือนแบบเย็นโดยใช้ เรซินเหลวปล่อยให้แข็งตัว 3 ชั่วโมงก็สามารถนำมาขัดหยาบได้ ทำการขัดหยาบตามวิธีการขัดชิ้นงานโลหะเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคทั่วไปโดยเริ่มต้นจากการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 180 240 320 600 800 1000 และ 1200 ตามลำดับ จากนั้นก็ทำการขัดละเอียดด้วยผงเพชรขนาด 3 ไมครอนบนผ้าขัดเสร็จแล้วทำความสะอาดผิวงานและนำไปขัดละเอียดด้วยผงเพชรขนาด 1 ไมครอนบนผ้าขัด จนไม่สามารถตรวจสอบเห็นรอยขูด ขีดบนผิวงานด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่าได้ จึงผ่านขั้นตอนการขัดก่อนการล้างด้วยน้ำและแอลกอฮอล์ รวมถึงการเป่าให้แห้ง อนึ่งในขั้นตอนการขัดละเอียดใช้การลดค่าแรงกดชิ้นตัวอย่างลงอย่างสม่ำเสมอ เรื่อย ๆ จนเป็นเพียงการสัมผัสเบา ๆ ในขั้นตอนสุดท้าย

การกัดด้วยกรด กระทำโดยใช้สารละลายกรดสำหรับกัดเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมผสมหล่อ คือ สารละลาย 0.5% HF เตรียมจากกรดไฮโดรฟลูออริค

เข้มข้น 48% จำนวน 1 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร การกัดด้วยกรดโดยจุ่มผิวชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการขัดเตรียมเรียบร้อยแล้วลงในสารละลาย 0.5% HF เป็นเวลา 45 วินาที ก่อนการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา

ขั้นตอนเตรียมชิ้นทดสอบ



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานและการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

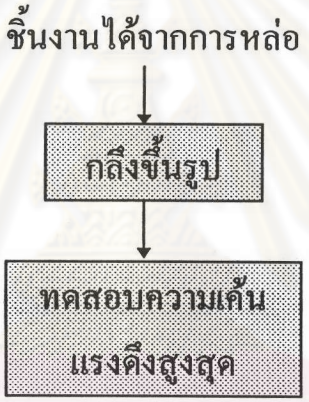
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 การทดสอบความเค้นแรงดึง

วัตถุประสงค์ของการทดสอบความเค้นแรงดึงสูงสุดเพื่อตรวจสอบค่าความเค้นแรงดึงและการยืดของอะลูมิเนียมหล่อเปรียบเทียบกับค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดตามเกรด JIS AC2B-F และ AC4B-F

ขั้นตอนการทดสอบความเค้นแรงดึง

ขั้นตอนการทดสอบนั้นเริ่มจากนำชิ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูปมาทำการกลึงชิ้นงานให้มีรูปร่างและขนาดเป็นชิ้นทดสอบแรงดึง โดยเลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.5 มิลลิเมตร ระยะเกจ 50 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.6 จากนั้นนำชิ้นงานไปทดสอบความเค้นแรงดึงสูงสุด



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงสูงสุด

เครื่องทดสอบแรงดึง

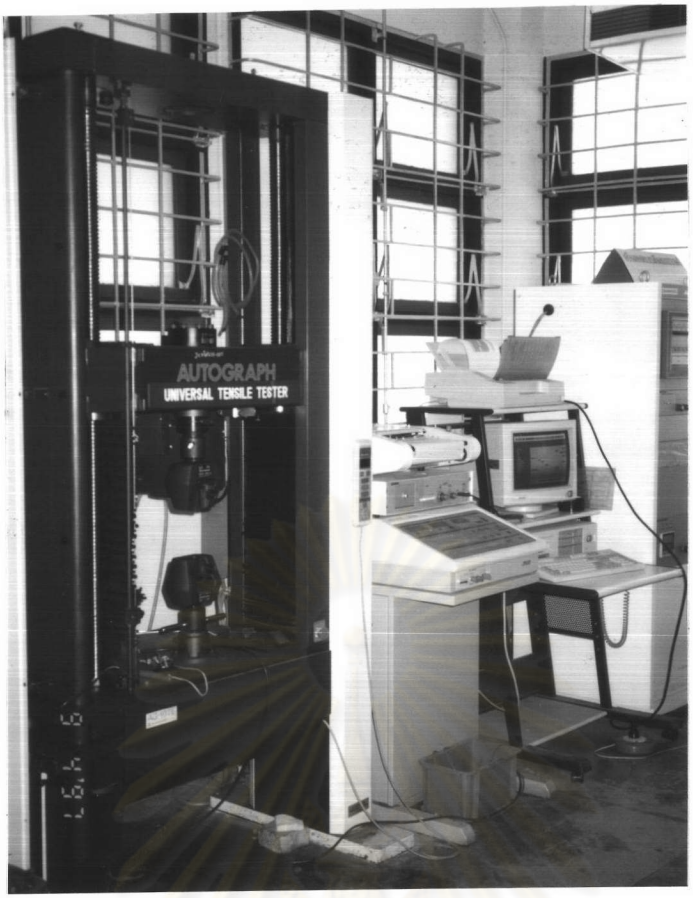
รายละเอียดเครื่องทดสอบความเค้นแรงดึง

ยี่ห้อ Shimada

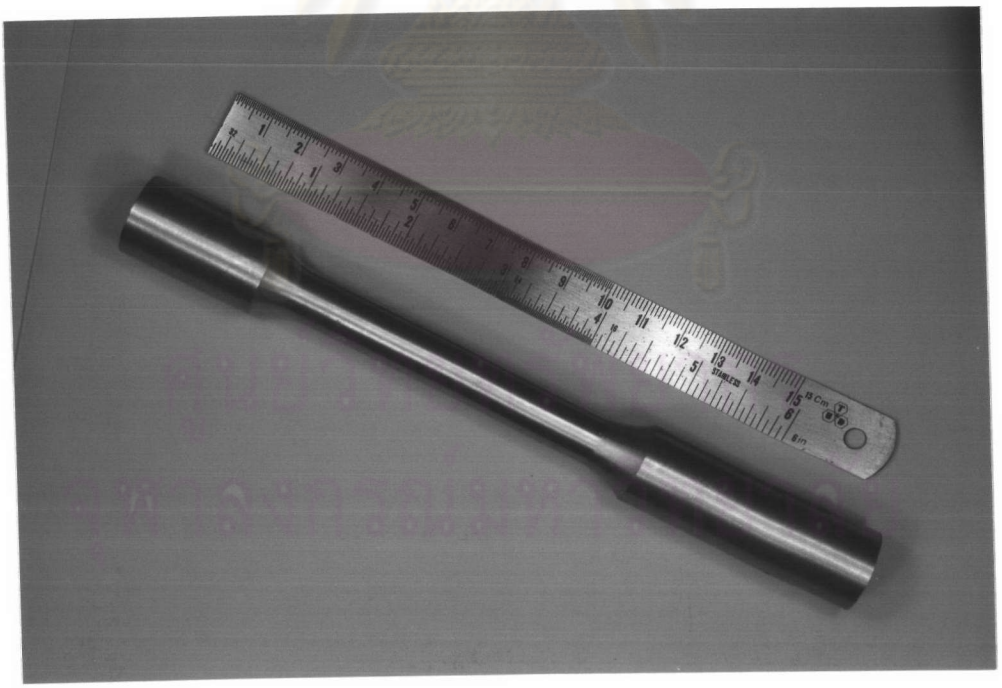
ทดสอบแรงดึงได้สูงสุด 100 กิโลนิวตัน

ในการทดสอบใช้แรงดึงสูงสุด 30 กิโลนิวตัน ความเร็ว 0.1 มิลลิเมตรต่อนาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 เครื่องทดสอบความเค้นแรงดึงมาตรฐาน



รูปที่ 4.6 ชิ้นงานทดสอบความเค้นแรงดึง

4.4 การทดสอบอายุการล้า

วัตถุประสงค์ของการทดสอบการล้า เพื่อหาอายุการล้าของอะลูมิเนียมผสมหล่อเมื่อปริมาณของซิลิคอนเปลี่ยนแปลงคือ 5% 7% และ 10% โดยมีอายุการล้าระหว่าง 10^4 ถึง 3×10^6 รอบ การทดลองเป็นแบบขั้นบันได (Stair Case Method) คือ ระดับความเค้นที่ให้กับชิ้นทดสอบจะแบ่งเป็น 10 ระดับ ความเค้นระหว่าง 40 ถึง 180 MPa ในช่วงอายุการล้าดังกล่าว ที่ระดับความเค้นหนึ่ง ๆ จะใช้ชิ้นทดสอบ 2 ชิ้น ของแต่ละส่วนผสมที่มี Si เปลี่ยนแปลงไป ค่าความเค้นที่ให้กับชิ้นงานคำนวณจากสมการ

$$S = \frac{MC}{I} \quad \text{.....(1)}$$

โดยที่ M คือ โมเมนต์ดัด (Nm) ซึ่งมีค่าเท่าแรง(F)ที่กระทำที่ปลายชิ้นทดสอบ x 100.8×10^{-3}

C คือ ระยะจากแกนสะเทินจนถึงผิวนอกสุดของชิ้นงาน ซึ่งมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบ เท่ากับ 4×10^{-3} เมตร

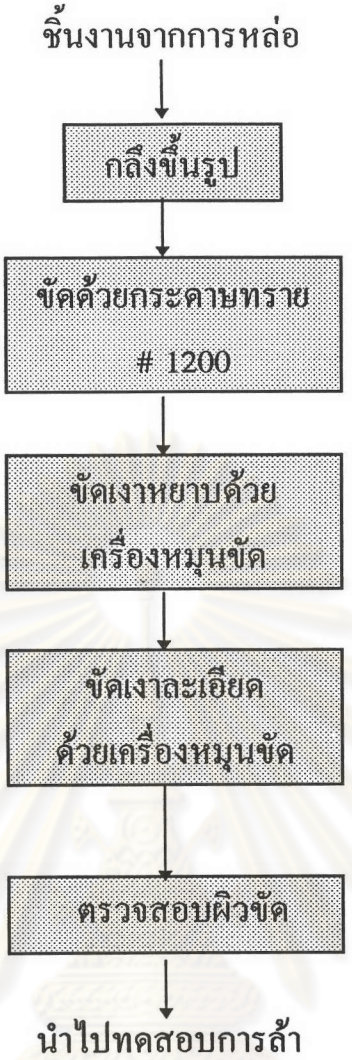
I คือ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของภาคตัด (m^4) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\pi d^4/64 = \pi(8 \times 10^{-3})^4/64 = 2.011 \times 10^{-10} \text{ เมตร}^4$$

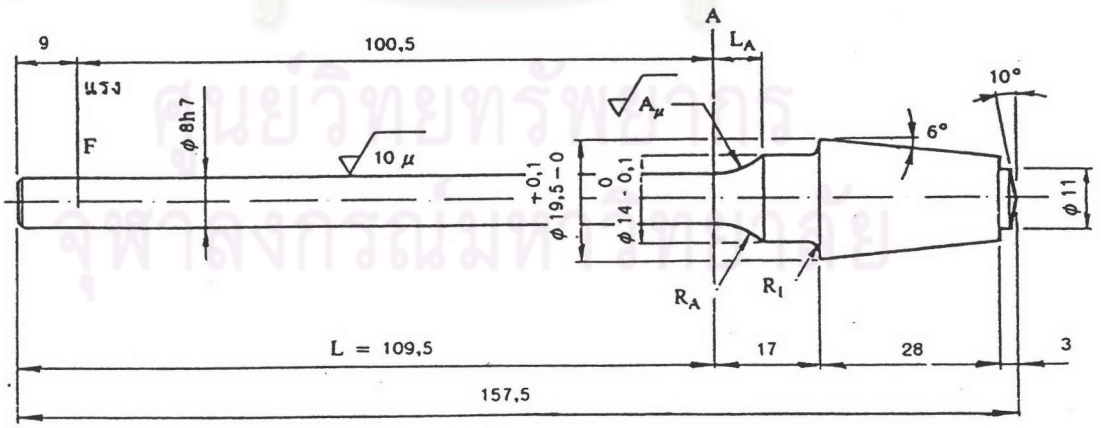
$$S = 2.009 \times F \quad \text{MPa} \quad \text{.....(2)}$$

การเตรียมชิ้นงานทดสอบการล้า

ชิ้นงานที่ได้จากการหล่อจะถูกนำมาตัดเฉือนบนเครื่องกลึงอย่างระมัดระวังเพื่อหลีกเลี่ยงการสร้างความเค้นสะสมบนชิ้นงานจนได้ขนาดรูปร่างที่ใช้ตามมาตรฐานแสดงในรูปที่ 4.8 สำหรับการทดสอบการล้าโดยควบคุมขนาดของส่วนต่าง ๆ ให้อยู่ในช่วงพิกัดมาตรฐานเครื่องทดสอบความล้าตามดังรูปที่ 4.11 จากนั้นนำชิ้นทดสอบมาขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1200 ทิศทางการขัดต้องขนานกับความยาวของชิ้นทดสอบจากนั้นนำไปขัดบนเครื่องขัดและตรวจความเรียบผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 50 เท่า ถ้าไม่ปรากฏว่ามีเส้นรอยขัดก็นำไปทดสอบความล้าได้

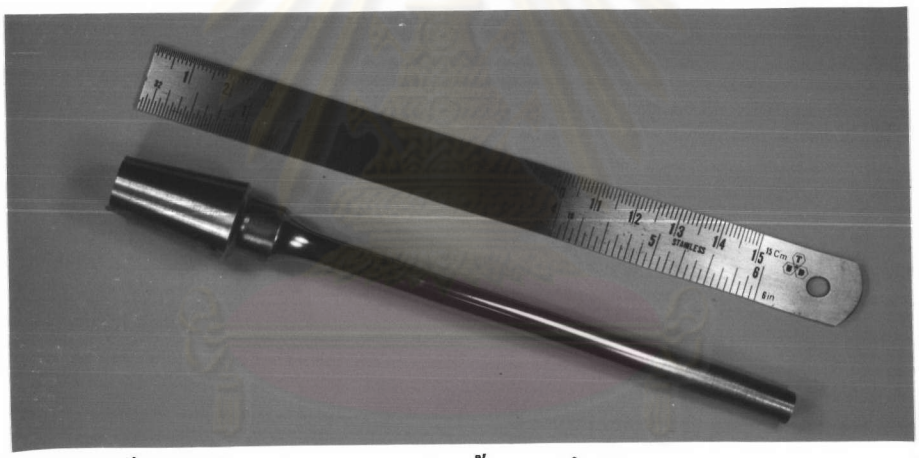


รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบความล้า



รูปที่ 4.8 ชิ้นทดสอบการล้าแบบปลายหมุนอิสระ

รูปที่ 4.9 ชิ้นงานที่ได้จากการหล่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ผ่านการกลึงขึ้นรูป



รูปที่ 4.10 ชิ้นงานที่ผ่านการขัดเงาเป็นชิ้นงานที่พร้อมจะทดสอบอายุการล้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

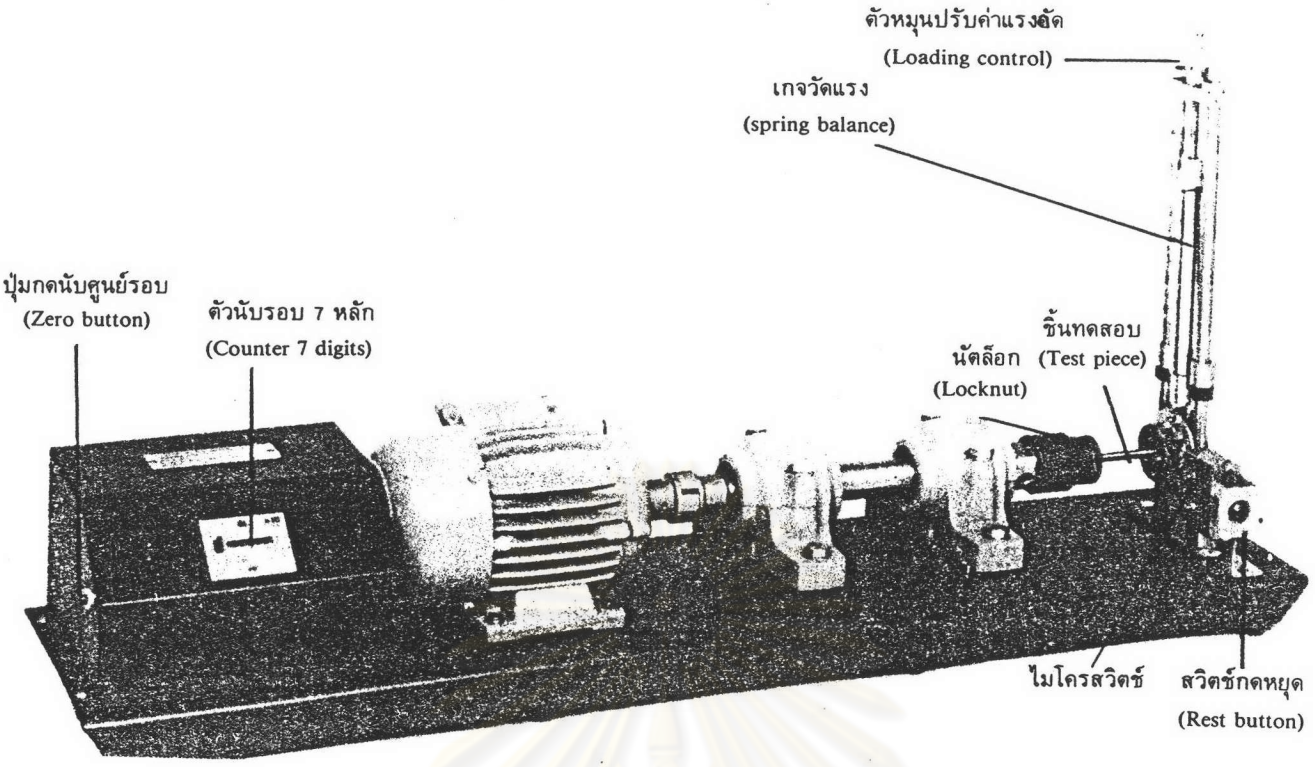
เครื่องทดสอบอายุการล้า

รายละเอียดของเครื่องทดสอบการล้า

เครื่องทดสอบแบบ : หมุนดัดปลายหมุนอิสระ

กำลัง : 370 W.

ความเร็วรอบ : 3,000 รอบ/นาที



รูปที่ 4.11 แสดงเครื่องทดสอบการล้า

4.5 การวิเคราะห์ผิวการแตกหัก

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ผิวการแตกหัก คือ ศึกษาตรวจสอบหลักฐานและลักษณะปรากฏที่แสดงพฤติกรรมของการแตกหักว่า เริ่มต้นการแตกหักที่ ณ จุดใดของชิ้นทดสอบสาเหตุของการเกิดแตกหัก ตลอดจนทำการศึกษาลักษณะการขยายตัวของรอยร้าว สอบหาหลักฐานสิ่งบอกเหตุของรอยแตกร้าวผ่านเข้าไปภายในเฟสใด สัดส่วนของพื้นที่บนผิวการแตกหักของแต่ละขั้นตอนการแตกหักเป็นเท่าใด นอกจากนี้ยังทำการ วิเคราะห์ข้อบกพร่องหรือสาเหตุที่น่าจะเป็นอื่น ๆ เช่น ผลึกหรือชิ้นส่วนของสารละลายของแข็งที่เป็นสารประกอบเชิงโลหะ ณ ตำแหน่งบนผิวการแตกหัก

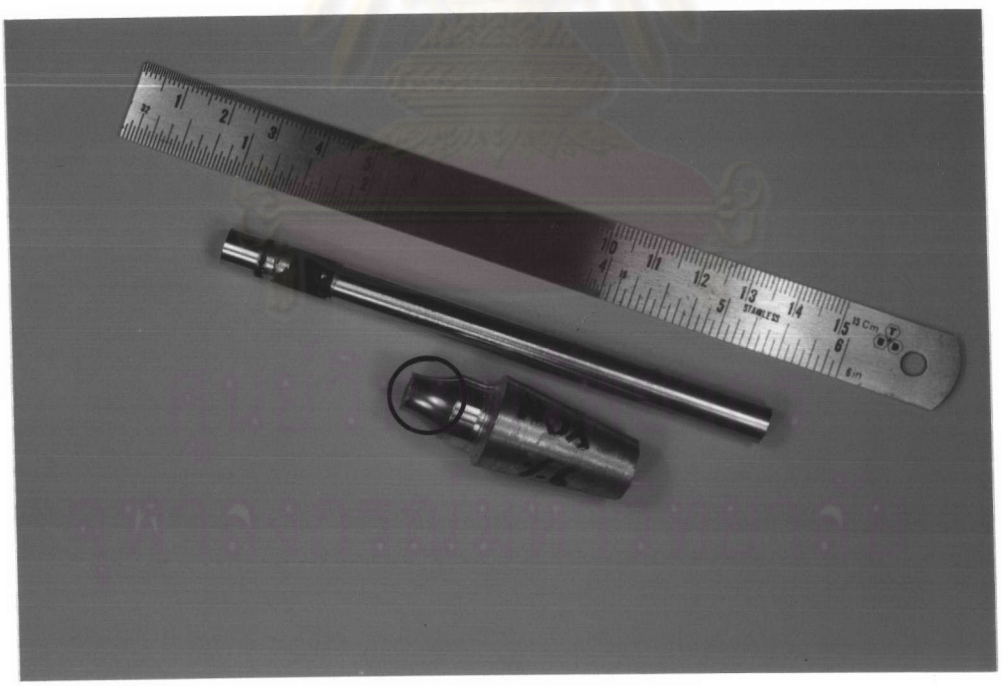
การตรวจสอบผิวการแตกหักนั้นจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

4.5.1 ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบกวาด (SEM) รุ่น JEOL 405 เพื่อตรวจหาสาเหตุของการเริ่มต้นการแตกหักและลักษณะการแตกหักในแต่ละบริเวณด้วยกำลังขยายที่สูงและวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีที่บริเวณหรือจุดที่ต้องการโดยใช้ EDX

การเตรียมชิ้นตัวอย่างมีขั้นตอนดังนี้คือ เริ่มต้นจากตัดชิ้นงานห่างผิวการแตกหักให้มีความสูงไม่เกิน 10 มิลลิเมตร จากนั้นล้างด้วยอะซีโตนและทำความสะอาดด้วยอุลตร้าโซนิคจนชิ้นงานสะอาดเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

4.5.2 ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา เพื่อตรวจหาการขยายตัวของรอยร้าวโดยศึกษาโครงสร้างจุลภาคใต้ผิวการแตกหักและหาความสัมพันธ์ของการขยายตัวของการแตกร้าวกับโครงสร้างจุลภาค

การเตรียมชิ้นตัวอย่างเริ่มต้นโดยการผ่าชิ้นทดสอบที่ตำแหน่งที่ห่างจากจุดเริ่มต้นการหัก 5 มิลลิเมตร ทิศทางขนานกับแนวแกนความยาวห่างจากผิวการแตกหัก 7-10 มิลลิเมตร จากนั้นเตรียมผิวด้านที่ผ่าเพื่อการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ตามขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.12 ตำแหน่งการตัดชิ้นทดสอบ เพื่อนำไปศึกษาลักษณะผิวการแตกหัก