บทที่ 4

วิธีการวิจัย

4.1 คำนำ

ขั้นตอนการทดลองหาค่าความเค้นภายในของชิ้นงาน 304AR และ 304TT สำหรับงานวิจัยครั้งนี้เริ่มตั้งแต่การสร้างเครื่องทดสอบการคืบแบบให้น้ำหนักคงที่กับชิ้นงาน (constant load creep testing) การเตรียมชิ้นงานก่อนการทดสอบ การเตรียมชิ้นงานหลังการทดสอบเพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศอิเล็กตรอนชนิด ส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

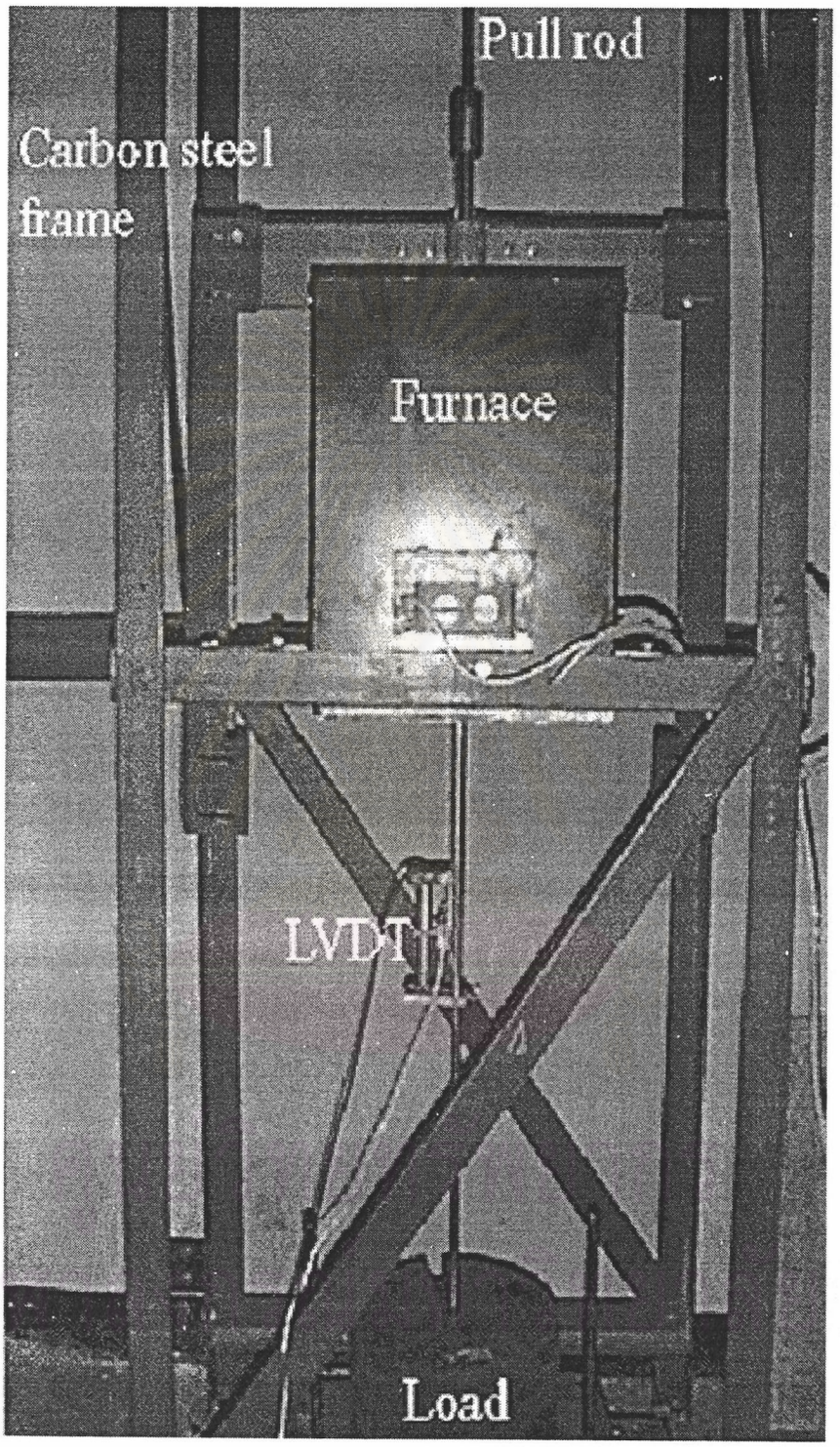
4.2 เครื่องทดสอบการคืบแบบน้ำหนักคงที่ (constant load creep testing machine)

เครื่องทดสอบการคืบของวัสดุที่แสดงไว้ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญได้แก่ ตัวโครงเครื่องทดสอบการคืบ เตาอบ เครื่องควบคุมอุณหภูมิ อุปกรณ์วัดระยะยืดตัวของชิ้นงาน ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้ต้องมีคุณสมบัติเหมาะสมกับสภาวะที่ใช้ในการทดสอบการคืบ สำหรับการทดสอบการคืบของงานวิจัยนี้ทดสอบด้วยความเค้น 200 MPa หรือน้ำหนักประมาณ 100 กิโลกรัม ที่ อุณหภูมิ 650°C

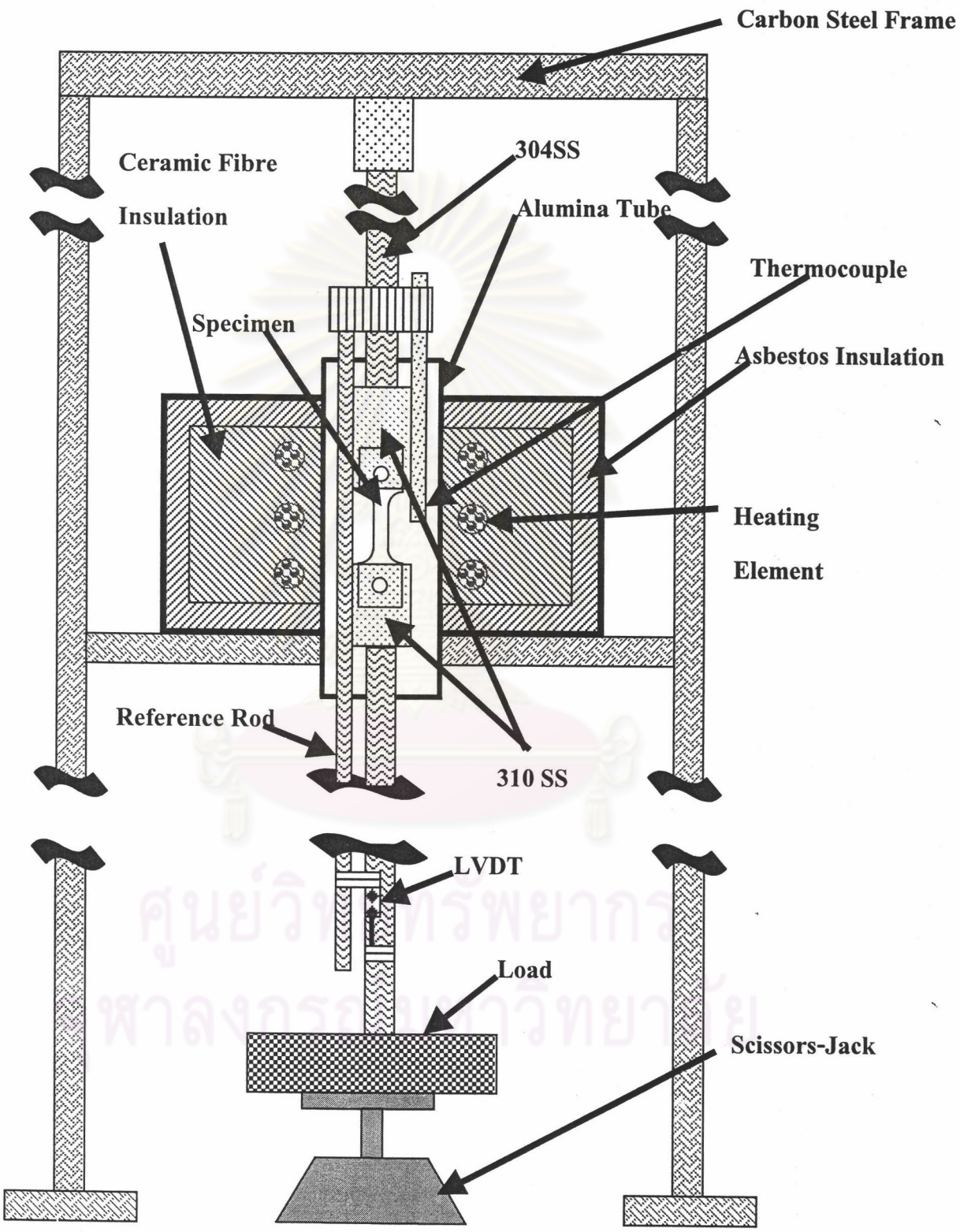
ตัวโครงเครื่องทดสอบการคืบทำด้วยเหล็กคาร์บอนซึ่งเป็นเหล็กฉากที่นำมาประกอบกันเป็นตัวโครงรองรับน้ำหนักเตาอบและตุ้มน้ำหนักที่ใช้ทดสอบการคืบโดยเหล็กฉากแต่ละชิ้นมีความหนา 3 มิลลิเมตร เมื่อประกอบกันจะได้ตัวโครงที่มีความสูง 200 เซ็นติเมตร ความกว้าง 50 เซ็นติเมตรและ ยาว 70 เซ็นติเมตร โครงเครื่องทดสอบการคืบนี้ถูกออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักที่ใช้สำหรับการทดสอบได้ถึง 500 กิโลกรัม ซึ่งสามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยที่สภาวะการทดสอบจริงที่รับน้ำหนักประมาณ 100 กิโลกรัม เนื่องจากสภาพพื้นผิวของห้องทดลองมีความเรียบที่ไม่สม่ำเสมอดังนั้นฐานของตัวโครงจึงออกแบบให้สามารถปรับระดับได้เพื่อจัดให้ตัวโครงตั้งอยู่ในแนวตั้งฉาก สำหรับชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบจะถูกแขวนจากด้านบนของตัวโครงด้วยข้อต่ออิสระเพื่อให้การวางตัวของชิ้นงานอยู่ในแนวดิ่งและรับน้ำหนักได้อย่างถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ วัสดุที่ใช้สำหรับจับยึดชิ้นงาน (pull rod) แบ่งเป็นสองส่วนตามรูปที่ 4.2 คือ ส่วนแรกอยู่นอกบริเวณความร้อน 650°C ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม 304 (304SS) ชนิดเดียวกับชิ้นงานทดสอบเนื่องจากมีคุณสมบัติทนต่อการเกิดสนิม แต่เพื่อไม่ให้ตัวจับยึดชิ้นงานส่วนนี้เกิดการคืบไปพร้อมกับชิ้นงานจึงต้องวางตำแหน่งไว้อยู่นอกบริเวณความร้อน 650°C ส่วนที่สอง ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม 310 (310SS) ซึ่ง

ไม่เกิดการคืบในช่วงความเค้นและอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ เหล็กชิ้นนี้จะถูกวางตำแหน่งไว้ติดกับตัวชิ้นงานทดสอบเพื่อจับยึดชิ้นงานที่อยู่ในเตาขณะที่ให้ความร้อน 650°C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



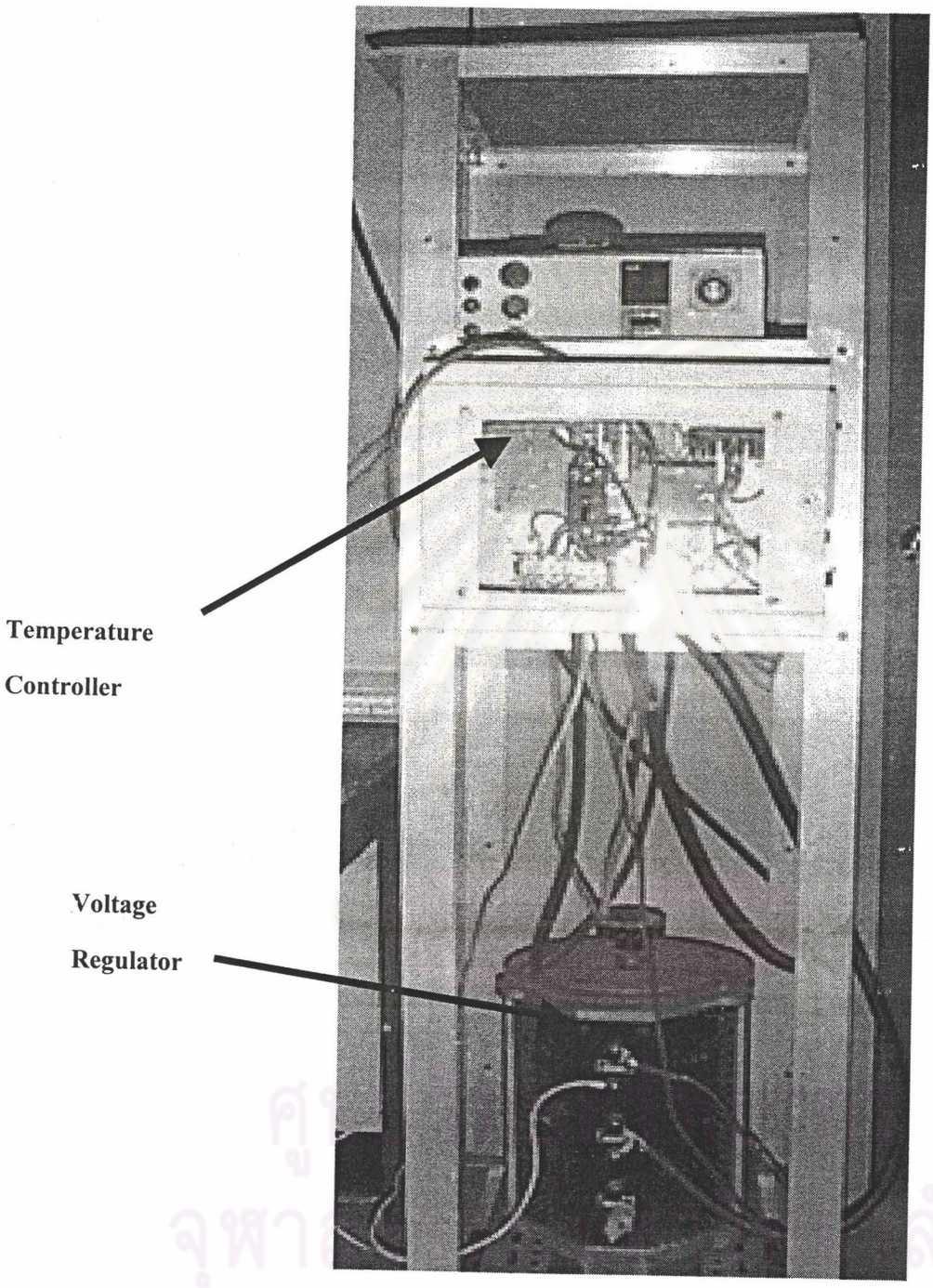
รูปที่4.1 ภาพถ่ายของเครื่องทดสอบความคืบ



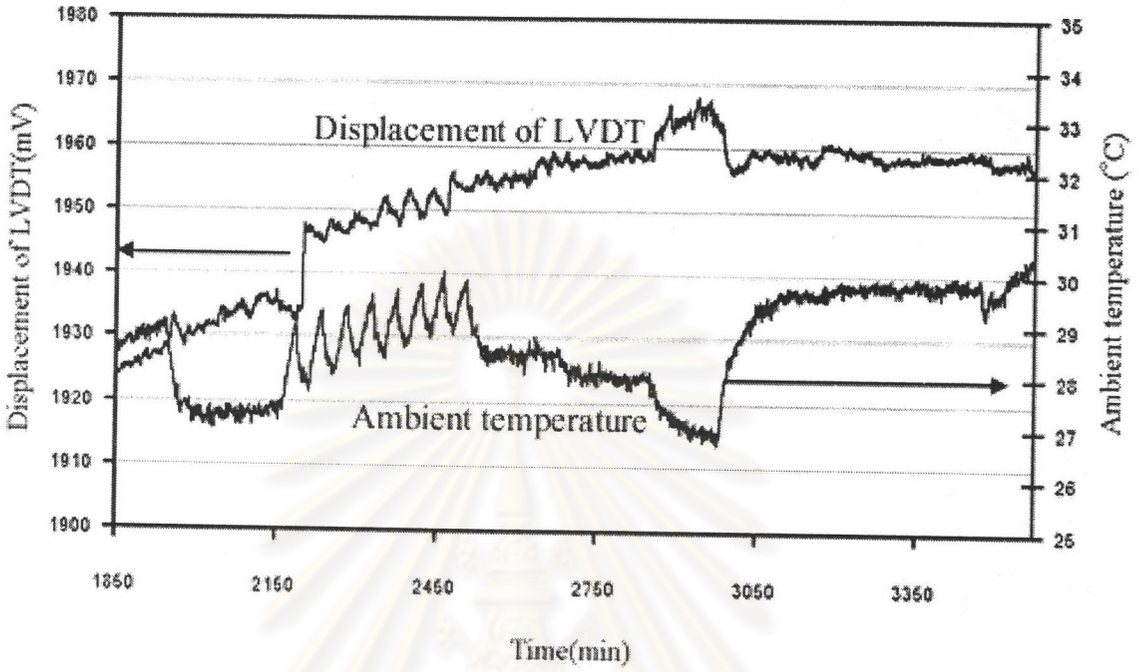
รูปที่4.2 แผนภาพโครงสร้างของเครื่องทดสอบความคืบ

เตาให้ความร้อนประกอบด้วยตัวทำความร้อน (heating element) ซึ่งเป็น silicon carbide สามารถให้ความร้อนได้สูงถึงประมาณ 1200°C ตัวเตาทำจาก ceramic fibers insulation และถูกหุ้มทับด้วยฉนวนความร้อนที่ทำจาก asbestos และส่วนนอกสุดเป็นโครงแผ่นเหล็กหนา 1 มิลลิเมตร ระหว่าง heating element กับชิ้นงานจะถูกกั้นไว้ด้วย Alumina tube เพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานและตัวแขวนชิ้นงานสัมผัส heating element สำหรับการควบคุมอุณหภูมิจะถูกความคุมโดยอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิก (temperature controller)โดยรับสัญญาณการวัดอุณหภูมิจาก thermocouple ที่อยู่ภายในเตา แล้วเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิที่กำหนด ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่กำหนดชุดควบคุมอุณหภูมิจะจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ heating element เพื่อทำให้ความร้อนสูงขึ้นจนเข้าสู่ค่าที่กำหนด ถ้าอุณหภูมิที่อ่านได้จาก thermocouple มีค่าสูงกว่าที่กำหนดชุดควบคุมอุณหภูมิจะหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าจนกว่าอุณหภูมิจะลดลงสู่ค่าที่กำหนดซึ่งระบบการควบคุมอุณหภูมิจะอยู่ในรูปแบบ PID mode สำหรับการทดลองครั้งนี้อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิสามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง ±1.5°C จากค่าที่กำหนด และใช้เวลา 1.20 ชั่วโมง เพื่อทำให้อุณหภูมิภายในเตาเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง (650°C) สำหรับ thermocouple ที่ใช้เป็นชนิด K type สามารถใช้วัดอุณหภูมิได้สูงถึง 1200 °C นอกจากชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแล้วเครื่องทดสอบการคืบยังได้ติดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับป้องกันการจ่ายกระแสไฟฟ้าเกินซึ่งอาจทำให้ heating element เสียหายได้ สำหรับชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแสดงไว้ดังรูปที่ 4.3

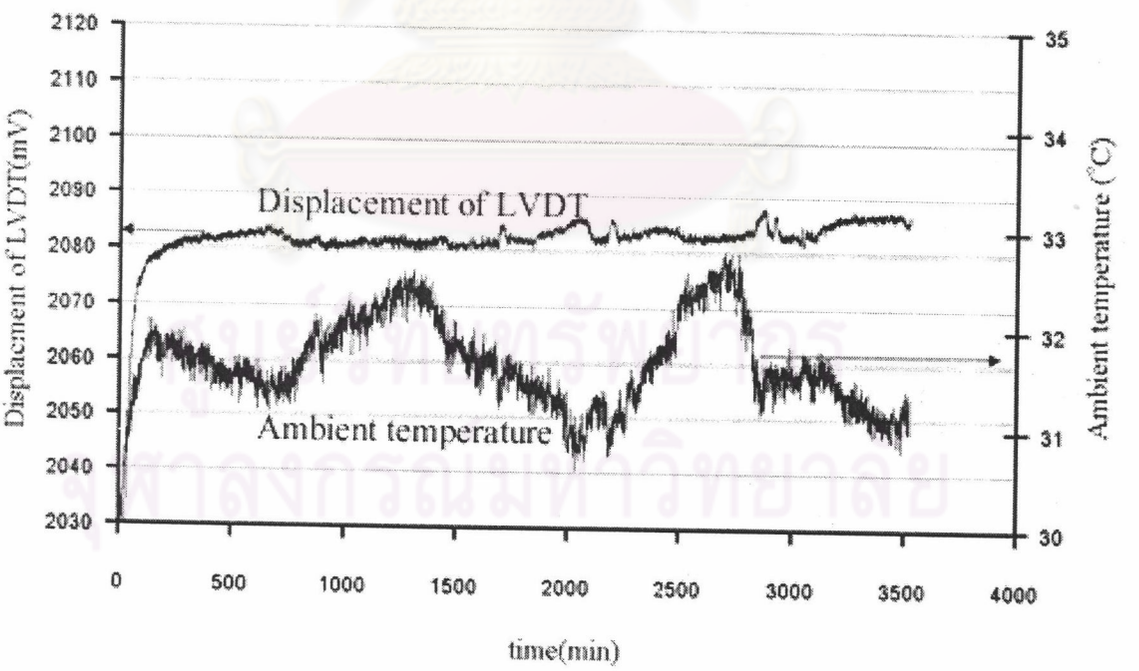
อุปกรณ์วัดค่าระยะการยืดตัวของชิ้นงานใช้ LVDT (Linear Variable Distance Transducer) ซึ่งมีระยะยืดหดตัวได้ ± 5 มิลลิเมตร เมื่อมีการยืดตัวของชิ้นงานเนื่องจากการคืบ LVDT จะเปลี่ยนจากระยะการยืดเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าโดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงคือ ระยะยืดตัว 1ไมโครเมตรจะให้สัญญาณทางไฟฟ้าเท่ากับประมาณ 1.34 มิลลิโวลต์ และผ่านวงจรขยายสัญญาณอีก 2 เท่าทำให้ได้สัญญาณไฟฟ้า 2.68 มิลลิโวลท์ ต่อระยะยืด 1 ไมโครเมตร แต่สำหรับการทดลองครั้งนี้พบว่า LVDT ที่ใช้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิห้องซึ่งจะมีผลทำให้สัญญาณที่วัดได้จาก LVDT มีความผิดพลาดเกิดขึ้นโดยเฉพาะช่วงเวลากลางวันและกลางคืนจะมีความแตกต่างกันค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อป้องกันความผิดพลาดของสัญญาณดังกล่าวห้องทดลองจึงถูกกั้นเพื่อไม่ให้อากาศจากภายนอกไหลผ่านซึ่งวิธีการดังกล่าวทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิรอบ LVDT ระหว่างช่วงกลางวัน (35°C) กับช่วงกลางคืนลดลง (34°C) นอกจากนั้นแล้วเพื่อเป็นการชดเชยการขยายตัวของชิ้นงานเนื่องจากความร้อนซึ่งไม่ใช่การยืดตัวเนื่องการคืบ LVDT จึงถูกติดตั้งไว้กับแท่งอ้างอิง (reference rod) ซึ่งทำมาจากเหล็กล้าไร้สนิม 304 เช่นเดียวกับชิ้นงานทดสอบ ขณะที่ชิ้นงานยืดตัวเนื่องจากความร้อนแท่งอ้างอิงก็จะยืดตัวตามไปด้วยเนื่องจากความร้อนเช่นกันดังนั้นสัญญาณที่วัดได้จาก LVDT จึงเป็นสัญญาณที่ได้จากการคืบของชิ้นงานขณะทดสอบ ผลของการชดเชยการยืดตัวของชิ้นงานเนื่องจากอุณหภูมิแสดงไว้ตามรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.3 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (temperature controller)



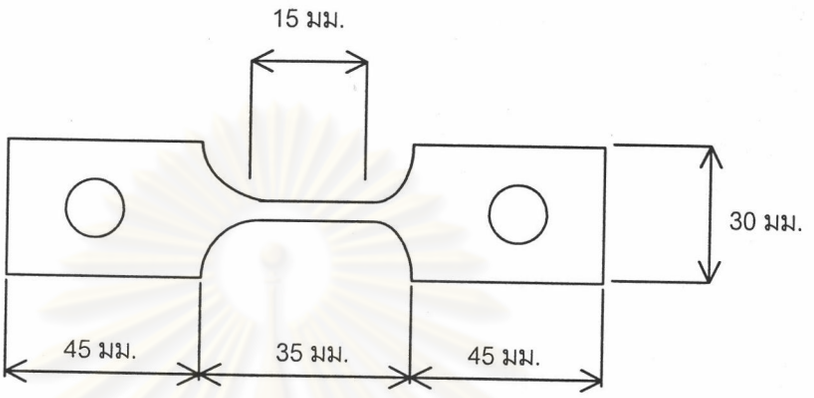
รูปที่ 4.4 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อสัญญาณของ LVDT



รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณของ LVDT หลังจากทำการชดเชยผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อLVDT

4.3 การเตรียมชิ้นงาน

เริ่มจากการนำแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม304 (ส่วนประกอบทางเคมีแสดงตามตารางที่4.1) รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความหนา 1.2 มม กว้าง 30 มม. ยาว 125 มม. มาตัดเป็นรูปทรงดัมเบลตามรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ขนาดของชิ้นงานทดสอบ

ชิ้นงานทดสอบมีความยาว gage length 15 มม. และมีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 4.8 ตารางมิลิเมตร ชิ้นงานที่เตรียมเสร็จแล้วแต่ยังไม่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกลเรียกว่าชิ้นงาน 304AR และสำหรับชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกลเรียกว่า 304TT ซึ่งกระบวนการความร้อนเชิงกลทำโดยอบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วผ่านเครื่องรีดเย็นให้ความหนาลดลงประมาณ 3%-5% หลังจากนั้นนำไปอบเพื่อคลายความเครียดที่ 900 °C เป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นชิ้นงานทั้งสองชนิดจะถูกนำมาขัดด้วยกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 320, 600, 1000 และเบอร์ 1500 แล้วขัดต่อด้วยผงขัดเพชรที่มีความละเอียด 1ไมโครเมตร เพื่อขจัดร่องรอยต่างๆที่ผิวหน้าชิ้นงานออกเพราะอาจมีผลทำให้เกิดความเค้นบริเวณร่องรอยเหล่านั้นและมีผลทำให้ชิ้นงานขาดเร็วกว่าปกติได้

ตารางที่ 4.1ส่วนประกอบเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิม 304

ธาตุ	Fe	C	Cr	Ni	Mn
% นน.	Bal	0.044	19	8.9	1.65

4.4 การทดสอบการคืบ

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบการคืบที่ค่าความเค้น 200 MPa อุณหภูมิ 650°C ในเตาเปิดที่ความดันบรรยากาศปกติ เมื่อเริ่มทำการทดลองจะนำชิ้นงานแขวนไว้ในเตาแล้วเริ่มให้

ความร้อนซึ่งต้องใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 20 นาที เพื่อที่จะทำให้อุณหภูมิภายในเตาและอุณหภูมิรอบ LVDT มีค่าคงที่ หลังจากอุณหภูมิคงที่แล้วจะเริ่มใส่ตุ้มน้ำหนักโดยค่อยๆปลดแม่แรงที่รองรับตุ้มน้ำหนักออกเพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานขาดหรือยืดตัวมากเกินไปเนื่องจากการใส่น้ำหนักอย่างกระทันหัน สำหรับชิ้นงานที่นำมาทดสอบการคืบนั้นแบ่งได้ตามตาราง ที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ชนิดชิ้นงานที่นำมาทดสอบการคืบแบบให้น้ำหนักคงที่

ประเภทชิ้นงาน	จำนวนชั่วโมงการเซนซิไทซ์			
ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกล (304TT)	0	24	64	100
ไม่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกล (304AR)	0	24	64	100

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการคืบจะนำมาใช้ในการหาค่าความเค้นภายในของชิ้นงานต่อไป

หลังจากที่ได้ข้อมูลจากการทดสอบการคืบแล้วจะทำให้ทราบค่าอัตราการคืบต่ำสุดและทราบค่าความเครียด ณ ค่าเวลาต่างๆ จากนั้นจึงนำชิ้นงานทั้งสองชนิดมาหาค่าความเค้นภายในโดยแบ่งประเภทชิ้นงานทดสอบตามตารางที่ 4.3 การหาค่าความเค้นภายในจะใช้วิธี load reduction test โดยเริ่มจากการทดสอบเหมือนการทดสอบการคืบก่อนหน้านี้แต่เมื่อชิ้นงานเกิดการคืบจนเข้าสู่อัตราการคืบต่ำสุด(อัตราการคืบต่ำสุดทราบได้จากข้อมูลการคืบที่ทดลองมาแล้วก่อนหน้านี้) จึงเริ่มถอดตุ้มน้ำหนักออกและบันทึกผลการทดลองตามตารางที่ 4.4 เหตุผลที่ถอดตุ้มน้ำหนักออกเมื่อการคืบเข้าสู่อัตราการคืบต่ำสุดเนื่องจากที่ช่วงเวลาดังกล่าวโครงสร้างย่อยภายในเกรน(substructure)จะเสถียรเนื่องจากเกิดความสมดุลระหว่าง hardening rate กับ recovery rate ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 ดังนั้นจึงสามารถกำจัดปัญหาเรื่องความไม่เสถียรของโครงสร้างจุลภาคขณะทำการทดสอบได้ สำหรับการถอดตุ้มน้ำหนักออกจะเริ่มจากค่าความเค้นต่างๆดังต่อไปนี้ 10 MPa, 10 MPa, 10 MPa, 8 MPa, 6 MPa, 4 MPa, 4 MPa, ก่อนที่จะถอดตุ้มน้ำหนักออกแต่ละครั้งค่าอัตราการคืบที่วัดได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) จะต้องมีค่ามากกว่า 0.6 ซึ่งถือว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่ยอมรับได้ [30] แต่ในกรณีที่ค่าอัตราการคืบต่ำมากเช่น 10^{-8} ต่อวินาที ค่า R อาจมีค่าต่ำกว่า 0.6 ดังนั้นจะใช้วิธีการเพิ่มระยะเวลาในการเก็บข้อมูลเพื่อให้ค่า R มีค่าใกล้เคียง 0.6 มากที่สุด หลังจากที่ได้ข้อมูลของค่าความเค้นและค่าอัตราการคืบที่เวลาต่างๆแล้วจึงนำมาเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่า

ความเค้น ณ ค่าอัตราการคืบต่ำสุดที่วัดได้ซึ่งถือว่าค่าความเค้นค่านี้เป็นค่าใกล้เคียงกับค่าความเค้นภายในของวัสดุ

ตารางที่ 4.3 การจำแนกชิ้นงานตามระยะเวลาการเซนซิไทซ์เพื่อหาค่าความเค้นภายในของ304AR และ304TT

ประเภทชิ้นงาน	จำนวนชั่วโมงการเซนซิไทซ์		
	0	100	336
ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกล (304TT)	304TT(0)	304TT(100)	304TT(336)
ไม่ผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกล (304AR)	304AR(0)	304AR(100)	304AR(336)

ตารางที่ 4.4 แผนการหาค่าความเค้นภายในของ304AR และ304TT

ความเค้นที่เหลืออยู่	ความเค้นที่หักออก	เวลาถอดตุ้มน้ำหนัก	อัตราการคืบ
	10 MPa		
	10 MPa		
	10 MPa		
	8 MPa		
	6 MPa		
	4 MPa		
	4 MPa		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 การเตรียมชิ้นงานเพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาค

หลังจากทำการทดสอบการคืบและหาค่าความเค้นภายในเสร็จแล้วชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบจะถูกนำไปศึกษาโครงสร้างจุลภาคโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิด SEM แต่ก่อนที่จะนำชิ้นงานไปใช้กับ SEM นั้นจะต้องทำความสะอาดผิวชิ้นงานและ eaching ผิวชิ้นงานเพื่อขจัดผิวที่เกิด oxidizationขณะทำการทดสอบในเตาอบซึ่งขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงานเริ่มจากนำชิ้นงานมาขัดด้วยกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 320, 600, 1000 และเบอร์ 1500 แล้วขัดต่อด้วยผงขัดเพชรที่มีความละเอียด 1ไมครอนเหมือนขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนทดสอบการคืบ หลังจากนั้นนำมาทำการกัดผิวทางเคมีแบบจุ่ม (Chemical Etching) โดยใช้สารเคมี กรดไนตริก (HNO_3) 1ส่วน, กลีเซอรอล (Gryceral) 1 ส่วน, กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 5 ส่วน หลังจากการเตรียมชิ้นงานเสร็จสิ้นแล้วตัวอย่างจะถูกนำไปศึกษาโครงสร้างจุลภาคเช่น ลักษณะคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นที่ขอบเกรน การยึดตัวของขอบเกรน ลักษณะการขาดของชิ้นงาน เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20184190