

## บทที่ 12

### การทดสอบแรงการคราก (Creep Testing)

#### 1. บทนำ (introduction)

การทดสอบการครากเป็นการออกแบบการทดสอบเพื่อวัดผลกระทบของการรับแรงในระยะยาวในช่วงขีดจำกัดความยืดหยุ่น (elastic limit) ของวัสดุ การครากเป็นการเสียรูปแบบถาวรซึ่งเกิดจากการรับแรงในระยะเวลานาน ถึงแม้ว่าแรงที่กระทำนั้นขนาดน้อยกว่าขีดจำกัดยืดหยุ่นของวัสดุก็ตาม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและสถานะการใช้งานที่รุนแรงรวมทั้งตัวแปรอื่นๆอาจเป็นตัวเร่งให้วัสดุเกิดการครากได้ โดยการครากเป็นการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับวิชาวิศวกรรมและวิชาทางเทคโนโลยี รวมทั้งเป็นการบริการทางเทคนิค ซึ่งมีความจำเป็นอย่างมากในงานที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเช่น สะพาน ตึกอาคาร และโครงสร้างที่อยู่ในกลุ่มที่มีการรับน้ำหนักคงที่เป็นเวลานาน

#### 2. ทฤษฎี

สถานะแวดล้อมมีบทบาทต่อการเสียรูปแบบการครากของวัสดุ โดยเฉพาะอุณหภูมิซึ่งเป็นเงื่อนไขหลักในการทดสอบการคราก ภายใต้แรงกระทำเดียวกันที่อุณหภูมิสูงจะยิ่งเร่งทำให้วัสดุเกิดการครากเร็วขึ้น ดังนั้นการทดสอบการครากในสถานะอุณหภูมิสูงจึงถูกนำมาใช้เป็นแนวทางในการศึกษาผลกระทบของการครากที่อาจเกิดขึ้นในการใช้งานของวัสดุ

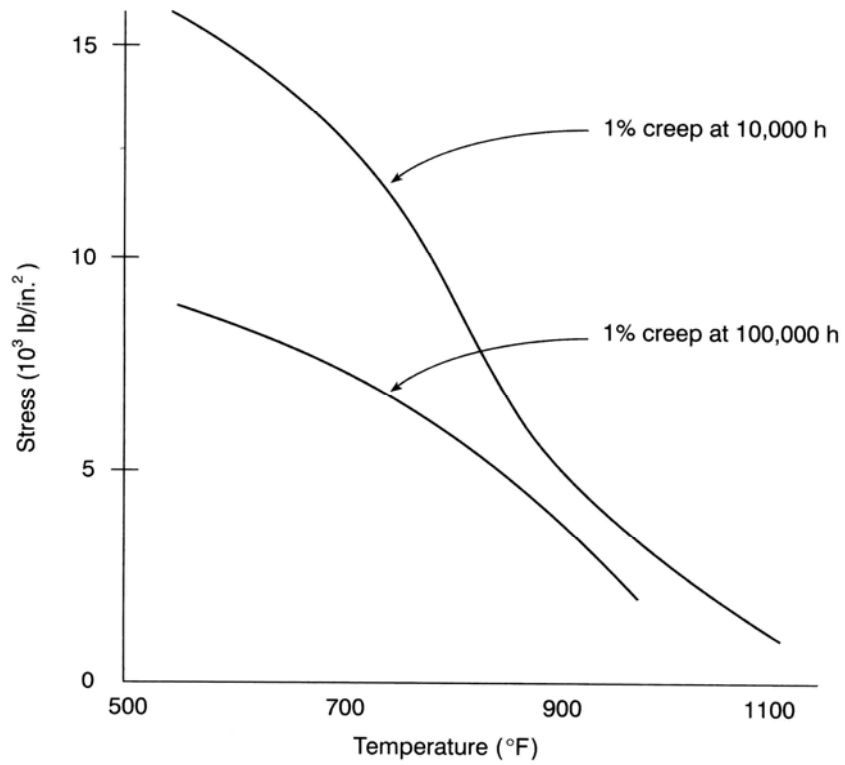
วัสดุจะมีพฤติกรรมคล้ายกับของเหลวที่มีความหนืดสูงที่อุณหภูมิสูง เมื่อรับแรงกระทำแม้จะเป็นแรงที่ต่ำกว่าแรงปกติที่วัสดุสามารถรับได้ แต่วัสดุก็อาจเกิดการเสียรูปได้ถ้ามีการรับแรงเป็นระยะเวลานาน โดยความเครียดจะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอในลักษณะค่อยเป็นค่อยไป กระบวนการเช่นนี้เรียกว่าการคราก และวัสดุส่วนใหญ่ต้องเผชิญกับการเกิดการคราก โดยมีปริมาณการครากที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในและองค์ประกอบของวัสดุ เช่น คอนกรีตจะมีอัตราการครากต่างไปจากวัสดุกลุ่มพลาสติก เส้นใย และวัสดุอื่นๆ โดยอุณหภูมิแวดล้อมและการขึ้นลงของอุณหภูมิแบบเวียนรอบอาจมีผลต่ออัตราการคราก

ในระหว่างการทดสอบการครากจะทำการเก็บข้อมูลต่างๆ ได้แก่ แรงที่กระทำหรือแรงเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้น ความเครียดอาจจะเป็นแบบยืดหยุ่นหรือถาวรทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิ แรงที่กระทำ และระยะเวลาการทดสอบ

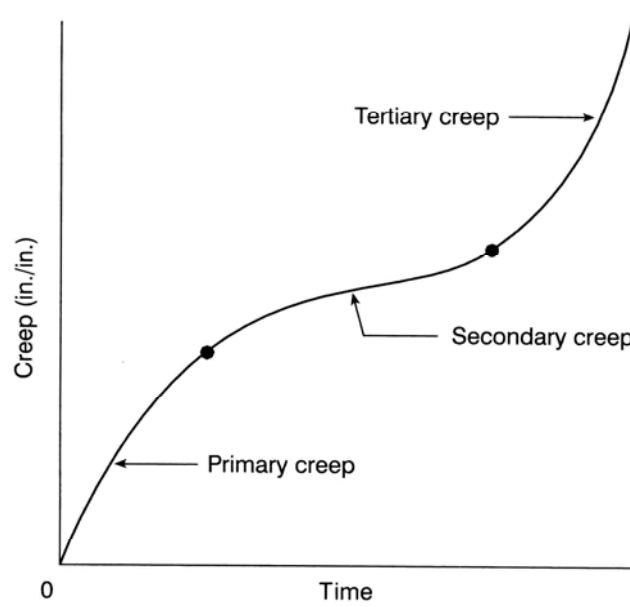
การทดสอบการครากประกอบด้วยสามขั้นตอน ขั้นแรกการครากจะเกิดขึ้นในอัตราที่ลดลงจากนั้นจะเป็นไปด้วยอัตราคงที่ในขั้นที่สองและเกิดขึ้นด้วยอัตราที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ในขั้นที่สามก่อนแตกหัก ดังรูปที่ 12.1 ภายใต้แรงเค้นสูง โลหะอาจแตกหักที่อุณหภูมิต่ำและจะแตกหักแบบผ่าเกรน ในขณะที่ที่อุณหภูมิสูงจะเกิดการแตกหักตามขอบเกรน ดังนั้นการตรวจสอบชนิดและรายละเอียดของรอยแตกหักจึงมีความสำคัญ และอุณหภูมิที่วัสดุเกิดการแตกหักเปลี่ยนจากแบบผ่าเกรนเป็นตามขอบเกรนเรียกว่า equicohesive temperature

กลไกความเครียดจะเปลี่ยนไปตามค่าอุณหภูมิ คือที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิ equicohesive ความเครียดจะเกิดขึ้นจากการเสียรูปแบบยืดหยุ่นของโครงสร้าง ส่วนที่อุณหภูมิสูงความเครียดจะเป็นผลมาจากการเคลื่อนตัวของผลึกภายในเนื้อวัสดุ กลไกความเครียดจะปรับเปลี่ยนไปตามชนิดของวัสดุที่รับแรงเค้นรวมทั้งตัวแปรอื่นๆ ที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้ ในระหว่างการทดสอบการครากแรงเค้นจะลดลง และถ้าแรงเค้นลดลงในกลไกขั้นที่สองจะมีความเครียดถาวรเกิดขึ้นบางส่วน

โลหะหรือโลหะผสมเมื่ออยู่ภายใต้น้ำหนักกดหรือแรงเค้นคงที่ โลหะจะเกิดการเสียรูปถาวรในช่วงเวลาหนึ่ง ความเครียดที่ขึ้นอยู่กับเวลานี้เรียกว่าการคราก การครากของโลหะและโลหะผสมมีความสำคัญมากสำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมบางประเภท โดยเฉพาะการใช้งานในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เช่น การเลือกโลหะผสมของวิศวกรเพื่อใช้เป็นใบกังหันของเครื่องยนต์กังหันก๊าซ ต้องเลือกโลหะผสมที่มีอัตราการครากที่ต่ำมากๆ ซึ่งใบกังหันต้องสามารถทนต่อการใช้งานในช่วงคาบเวลานาน ก่อนที่จะทำการเปลี่ยนอันเนื่องจากกังหันมีความเครียดเข้าใกล้ค่าความเครียดสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ สำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมเพื่อการใช้งานในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การครากของวัสดุเป็นตัวแปรที่ใช้กำหนดค่าช่วงอุณหภูมิสูงที่จะสามารถนำไปใช้งาน



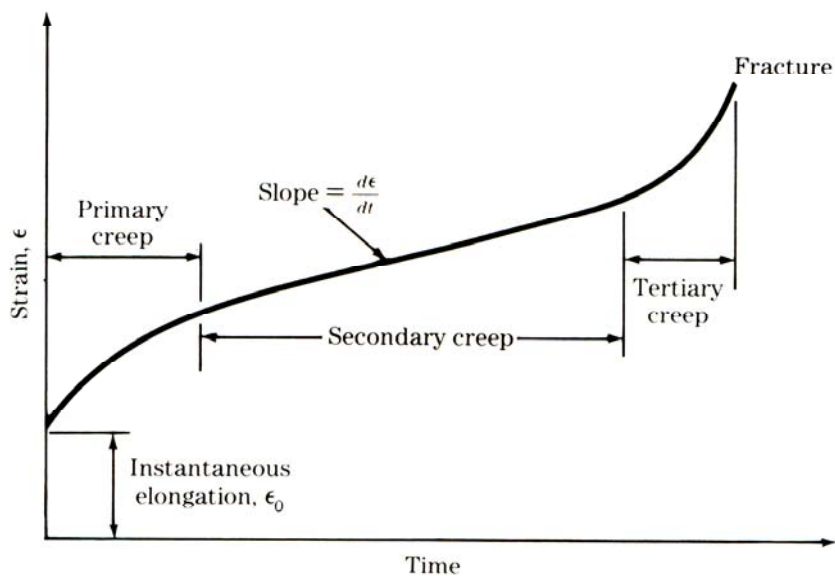
(a) Stress versus temperature.



(b) Creep versus time.

รูปที่ 12.1 แสดงผลการทดสอบการครากของวัสดุ

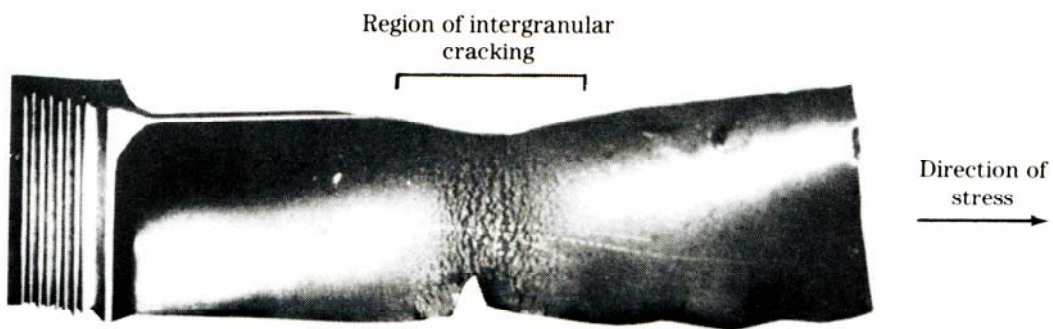
พิจารณาการครากของโลหะหลายผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิเหนือครึ่งหนึ่งของจุดหลอมเหลวเฉลี่ย  $0.5T_M$  (การครากที่อุณหภูมิสูง) และพิจารณาการทดสอบครากกับชิ้นทดสอบแรงดึงที่ผ่านการอบอ่อนโดยการให้รับแรงกดคงที่ซึ่งมีขนาดมากพอที่จะทำให้เกิดการเสียรูปแบบการคราก เมื่อนำค่าความยาวของชิ้นทดสอบที่เปลี่ยนไปเหนือคาบเวลา มาเขียนกราฟเทียบกับเวลาที่เพิ่มขึ้นจะได้กราฟการคราก (creep curve) ดังรูปที่ 12.2



รูปที่ 12.2 กราฟการครากของโลหะในรูปความเครียดกับเวลาภายใต้แรงและอุณหภูมิคงที่

กราฟการครากอุดมคติดังรูปที่ 12.2 เริ่มแรกชิ้นทดสอบจะเกิดการยืด ( $\epsilon_0$ ) ในทันที จากนั้นชิ้นทดสอบจะปรากฏการครากขั้นต้นในขณะที่อัตราความเครียดจะลดลงเมื่อเทียบกับเวลา ความชันของกราฟการคราก ( $d\epsilon/dt$  หรือ  $\dot{\epsilon}$ ) จะคิดเป็นอัตราการคราก (creep rate) โดยในระหว่างการครากขั้นต้นอัตราการครากจะลดลงเมื่อเทียบกับเวลา หลังจากนั้นจะเกิดการครากในขั้นที่สองด้วยอัตราค่อนข้างคงที่เปรียบเสมือนการครากในสภาวะหยุดนิ่ง (steady-state creep) สุดท้ายจะเกิดการครากในขั้นที่สามด้วยอัตราการครากที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเทียบกับเวลาที่เพิ่มขึ้นจนถึงความเครียด ณ จุดแตกหัก รูปร่างของกราฟการครากจะขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำและอุณหภูมิที่ใช้เป็นอย่างมาก โดยแรงเค้นและอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้อัตราการครากเพิ่มขึ้น

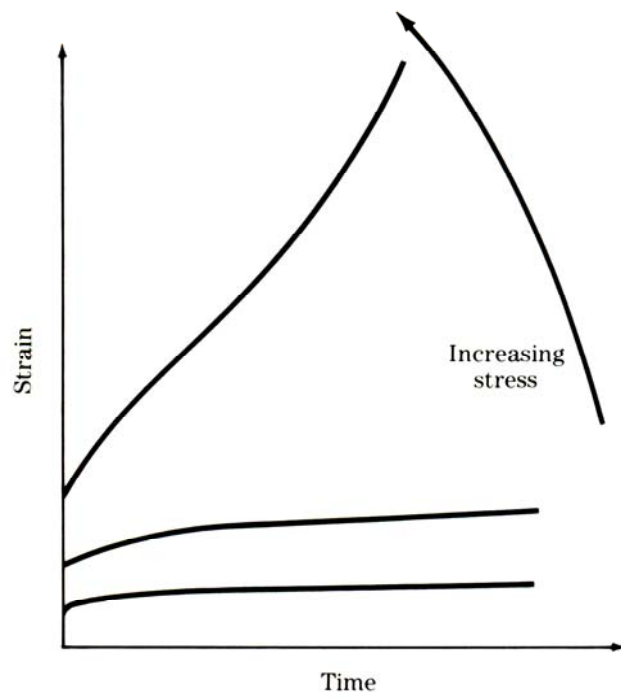
ในการครากขึ้นต้นโลหะจะมีความแข็งเพิ่มขึ้นจากการยึดทำให้สามารถรองรับแรงกระทำและทำให้อัตราการครากลดลงเมื่อเทียบกับเวลา ที่อุณหภูมิสูงขึ้นเหนือ  $0.5T_M$  ในระหว่างการครากขึ้นที่สองกระบวนการรีโคเวอรี (recovery) จะมีส่วนเกี่ยวข้องอย่างมากกับการเคลื่อนที่ของดิสโลเคชัน ซึ่งจะทำให้ความแข็งที่เกิดจากความเครียดลดลงทำให้โลหะยึดออกอย่างต่อเนื่อง (การคราก) ที่อัตราเดียวกันกับสภาวะหยุดนิ่ง (รูปที่ 12.2) ความชันของกราฟการคราก ( $de/dt$  หรือ  $\dot{\epsilon}$ ) ในการเกิดการครากขึ้นที่สองจะใช้เป็นอัตราการครากต่ำสุด โดยในระหว่างการเกิดการครากขึ้นที่สองความต้านทานการครากของโลหะหรือโลหะผสมจะมีค่าสูงสุด สูดท้ายการครากในขั้นที่สามขึ้นทดสอบที่รับแรงกระทำคงที่ที่มีอัตราการครากเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากขึ้นทดสอบเกิดคอคอนดและเกิดช่องว่างโดยเฉพาะตามแนวขอบเขตเกรนดังรูปที่ 12.3 รอยแตกตามขอบเกรนจากการครากของเหล็กกล้าไร้สนิม 304L



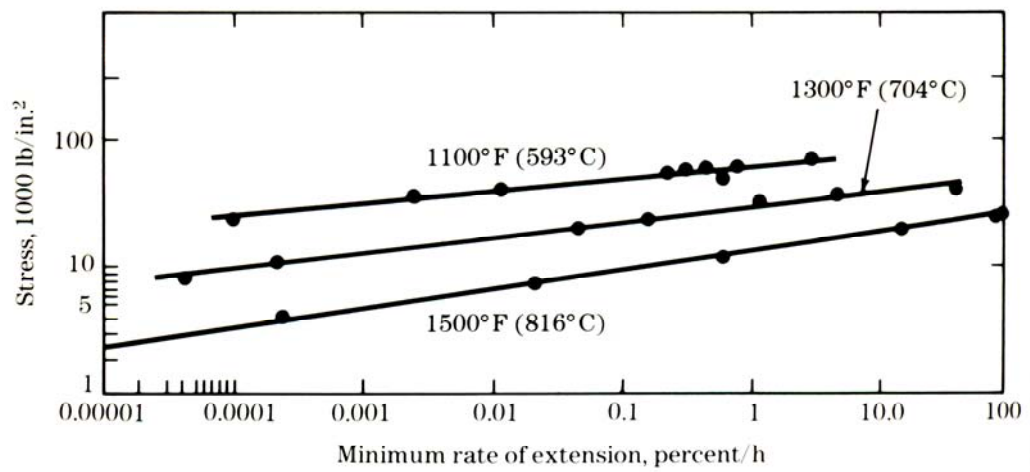
รูปที่ 12.3 การเสียรูปจากการครากและการแตกหักตามขอบเกรนของใบพัดเครื่องยนต์ไอพ่น

ที่อุณหภูมิต่ำคือต่ำกว่า  $0.4T_M$  และแรงเค้นต่ำ โลหะจะเกิดการครากขึ้นต้น แต่ในการครากขึ้นที่สองจะเกิดเล็กน้อย เนื่องจากอุณหภูมิต่ำเกินไปต่อการครากช่วงรีโคเวอรี อย่างไรก็ตามถ้าแรงเค้นที่ให้กับโลหะมากกว่าค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด โลหะจะเกิดการยึดเช่นเดียวกับการทดสอบแรงดึงทางวิศวกรรมเบื้องต้น โดยทั่วไปถ้าตัวแปรทั้งสองคือแรงเค้นที่ให้กับโลหะภายใต้การคราก (รูปที่ 12.4) กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราความเครียดเพิ่มขึ้น

ผลกระทบของแรงเค้นที่มีต่ออัตราการครากจะวัดโดยการทดสอบการคราก ในการทดสอบการครากบ่อยครั้งกระทำโดยใช้ระดับแรงเค้นที่แตกต่างกันที่อุณหภูมิต่างกัน และกราฟการครากจะเขียนดังรูปที่ 12.4 จากนั้นทำการวัดอัตราการครากต่ำสุดหรือความชันของกราฟการครากในขั้นที่สองของแต่ละกราฟ โดยจะเขียนกราฟระหว่างค่าแรงเค้นในรูปของล็อกต่อ



รูปที่ 12.4 อิทธิพลการเพิ่มแรงเค้นต่อลักษณะกราฟการครากของโลหะ

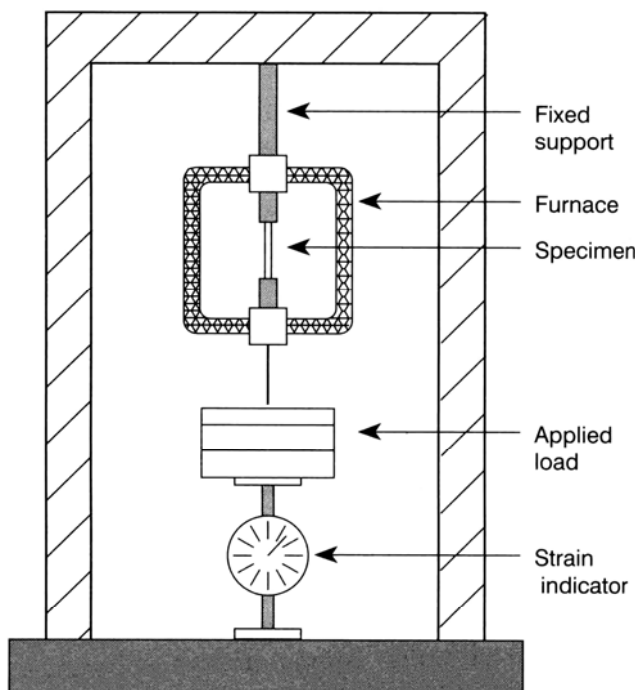


รูปที่ 12.5 แรงเค้นต่ออัตราการครากของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 ที่อุณหภูมิต่างๆ

การครากเป็นตัวแปรสำคัญในการเลือกใช้วัสดุในการทำงานหลายประเภท เช่น เครื่องยนต์สันดาปภายใน การครากเกิดขึ้นได้ที่หลายค่าอุณหภูมิ โดยอัตราการครากจะขึ้นอยู่กับปริมาณแรงเค้นที่กระทำ การทดสอบวัสดุที่อุณหภูมิต่ำแล้วนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูงหรือภายใต้แรงเค้นสูงเป็นระยะเวลานาน วัสดุอาจมีพฤติกรรมต่างกัน ดังนั้นการทดสอบวัสดุในสภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับที่ใช้งานจึงเป็นสิ่งสำคัญในการคาดเดาพฤติกรรมของวัสดุ

### 3. เครื่องมือทดสอบ

การทดสอบการครากตัวแปรสี่ตัวที่ต้องคำนึงถึงได้แก่ เวลา อุณหภูมิ แรงที่กระทำ และความเครียดที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะการทดสอบการครากในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งแรงกระทำและอุณหภูมิจะมีการสร้างกราฟผสมระหว่างตัวแปรทั้งสอง เพื่อจำกัดค่าแรงเค้นที่ทำให้วัสดุมีรอยละการครากตามที่กำหนดภายใต้ระยะเวลาหนึ่ง (รูปที่ 12.1a) สิ่งจำเป็นในการกำหนดคุณลักษณะการครากของวัสดุภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงได้แก่ อุปกรณ์การเพิ่มและควบคุมอุณหภูมิ กรรมวิธีในการวัดความเครียดที่เพิ่มขึ้น (อุปกรณ์วัดการยืด extensometer) และอุปกรณ์การใส่แรงเค้นกับวัสดุ ดังรูปที่ 12.6



Creep test apparatus

รูปที่ 12.6 เครื่องมือและอุปกรณ์  
การทดสอบการคราก

การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดแรงเค้นและความเครียดจากความร้อน (thermal stress and strain) ในวัสดุ ซึ่งจะส่งผลกระทบด้านลบต่อผลการทดสอบที่ได้

#### 4. กระบวนการทดสอบ

ในการทดสอบการครากที่ควบคุมแรงกระทำกับอุณหภูมิให้คงที่ตลอดการทดสอบ ผลการทดสอบจะเป็นการวัดข้อมูลความเครียดที่เกิดขึ้นกับเวลาซึ่งจะบันทึกในรูปของกราฟ โดยขึ้นทดสอบที่ใช้เป็นแบบเดียวกันกับขึ้นทดสอบแรงดึง

ในการทดสอบเริ่มแรกต้องให้ความร้อนกับขึ้นทดสอบจนถึงอุณหภูมิที่กำหนด จากนั้นรักษาระดับอุณหภูมิไว้พร้อมวัดระยะทดสอบ จากนั้นใส่แรงกระทำกับวัสดุและวัดความเครียดที่เกิดขึ้นเทียบกับเวลา ช่วงแรกความเครียดที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบยืดหยุ่น ซึ่งเป็น การครากในขั้นที่หนึ่งของการทดสอบการคราก

ในช่วงระหว่างการทดสอบควรทำการเก็บข้อมูลอย่างน้อย 50 จุด เพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่มีนัยสำคัญ เนื่องจากการทดสอบการครากเป็นการทดสอบระยะยาว (long time test) ซึ่งการเก็บข้อมูลอาจต้องใช้เวลาหลายอาทิตย์ การทดสอบการครากบางครั้งอาจใช้เวลา 1000 ชั่วโมง จึงจะเกิดความเครียดแบบถาวร และอาจต้องใช้เวลาจนถึง 100000 ชั่วโมง สำหรับเหล็กกล้าในการยืดออกร้อยละหนึ่ง (1% elongation)

#### 5. การแสดงผลลัพธ์

ผลการครากของวัสดุจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัสดุ เช่น ธาตุโลหะผสมนิกเกิล โครเมียม โมลิบดีนัม และธาตุอื่นๆ จะช่วยเพิ่มความต้านทานการครากของวัสดุ ตัวแปรอื่นๆ ที่มีอิทธิพลต่อการครากได้แก่ กระบวนการขึ้นรูป กระบวนการทางความร้อน และขนาดของเกรน ส่วนการรายงานผลการทดสอบจะมีรูปแบบดังนี้

วัตถุประสงค์ : เพื่อหาค่าความต้านทานการครากของโลหะที่อุณหภูมิห้อง

มาตรฐาน ASTM : ASTM E139 และ #150

ขึ้นทดสอบ : แท่งทรงกระบอกขนาด 1 นิ้ว x 6 นิ้ว ผ่านกระบวนการทางความร้อน

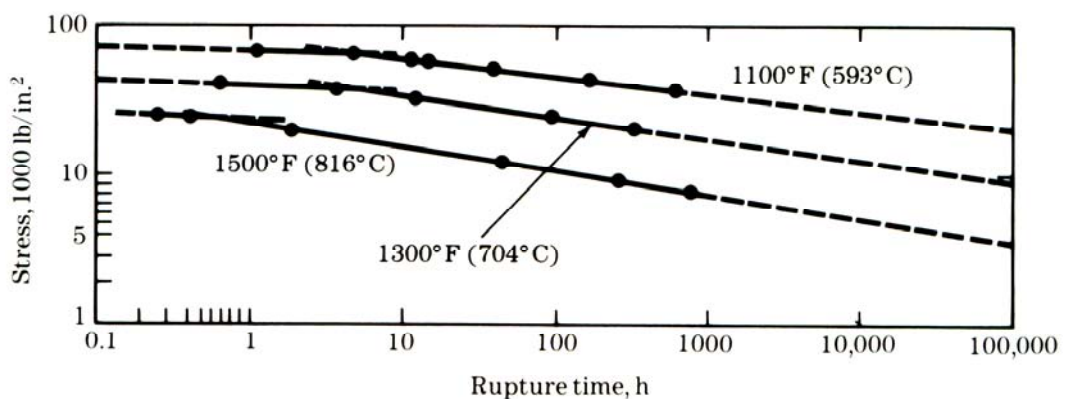
กระบวนการทดสอบ :



1. ใช้การทดสอบแรงดึงในการวัดความแข็งแรงดึงสูงสุดของวัสดุ
2. ทำการวัดขนาดชิ้นทดสอบแล้วนำไปยึดไว้ในเครื่องทดสอบแรงดึง
3. ใช้มาตรวัดแบบหน้าปิดแสดงค่าความเครียดและตั้งค่าเป็นศูนย์ก่อนเริ่มทดสอบ
4. ปล่อยให้ชิ้นทดสอบเพื่อให้อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิการทดสอบ
5. เลือกแรงกระทำประมาณสองในสามของความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุ จากนั้นใส่แรงให้กับชิ้นทดสอบอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ
6. อ่านค่าในช่วง 1 นาทีก่อนการทดสอบ และที่ช่วงเวลาอื่นระหว่างการทดสอบ
7. อ่านค่าต่อเนื่องจนชิ้นงานแตกหัก

ผลการทดสอบ : ทำการคำนวณแรงเค้นที่กระทำและบันทึกค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบรวมทั้งสภาวะแวดล้อมต่างๆ บันทึกสมบัติที่รู้ทั้งหมดของชิ้นทดสอบ การแสดงผลการทดสอบจะอยู่ในรูปของกราฟการครากกับความเครียดเทียบกับเวลาในสเกลล็อก รวมทั้งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับรูปทรงและสภาพของรอยแตกหัก

การทดสอบการแตกหักจากการครากหรือจากแรงเค้นเป็นสิ่งสำคัญเช่นเดียวกับการทดสอบการคราก เพียงแต่ใช้แรงกระทำสูงกว่าและทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบแตกหัก ข้อมูลการแตกหักจากการครากจะเขียนเป็นกราฟระหว่างแรงเค้นกับเวลาในการแตกหักในรูปของกราฟล็อกดังรูปที่ 12.7 โดยทั่วไปเวลาสำหรับการแตกหักจากแรงเค้นจะลดลงเมื่อแรงเค้นที่กระทำลดลงและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงความชันในรูปที่ 12.7 เกิดจากตัวแปรต่างๆ เช่นการตกผลึกใหม่ การออกซิเดชัน การกัดกร่อน และการเปลี่ยนวัฏภาค



รูปที่ 12.7 อิทธิพลของแรงเค้นต่อระยะเวลาแตกหักของเหล็กกล้าไร้สนิม 316 ที่อุณหภูมิต่างๆ

## 6. สรุป

การทดสอบการครากเป็นการออกแบบเพื่อวัดผลกระทบของการรับแรงเป็นระยะเวลานาน โดยแรงที่กระทำมีปริมาณน้อยกว่าช่วงขีดจำกัดยืดหยุ่นของวัสดุ การครากเป็นการเสีรูปร่างถาวรซึ่งเป็นผลมาจากการรับแรงในระยะยาว แม้ว่าแรงที่กระทำจะต่ำกว่าแรงในช่วงของขีดจำกัดยืดหยุ่นแต่วัสดุยังเกิดการเสีรูปร่างเมื่อรับแรงเป็นระยะเวลานาน โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้น สภาวะแวดล้อมที่รุนแรง และตัวแปรอื่นๆ อาจเร่งทำให้เกิดการครากได้เร็วขึ้นในการใช้งาน การครากเป็นตัวแปรสำคัญที่ต้องพิจารณาการออกแบบของวิศวกรและนักเทคโนโลยี และเป็นการคำนึงถึงการบริการทางเทคนิค ซึ่งมีความสำคัญมากในงานโครงสร้างต่างๆ เช่น สะพาน อาคารและอื่นๆ ที่ต้องรองรับแรงคงที่เป็นระยะเวลานาน โดยผลการทดสอบการครากที่กระทำในสภาวะอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานานจะนำไปใช้ในการออกแบบและการคาดเดาผลกระทบของอุณหภูมิในการรับแรงของวัสดุในระยะยาว ซึ่งได้แก่ งานโครงสร้างต่างๆ เช่น สะพานและอาคารต่างๆ จะกำหนดการเสีรูปร่างให้น้อยกว่าร้อยละ 1 ในช่วงเวลา 100000 ชั่วโมง เป็นต้น

## 7. คำถามท้ายบท

1. การครากคืออะไร
2. อุณหภูมิส่งผลกระทบต่ออัตราการครากอย่างไร
3. อธิบายความเครียดแบบยืดหยุ่นและแบบถาวรที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบการคราก
4. เกิดอะไรขึ้นกับชิ้นวางหนังสือถ้าวางหนังสือไว้เป็นเวลานาน
5. สี่ตัวแปรพื้นฐานในการทดสอบการครากมีอะไรบ้าง
6. ถ้าให้กราฟความเครียดกับเวลาของวัสดุถามว่าจะใช้ข้อมูลนี้ในการคาดเดาพฤติกรรมของวัสดุในการใช้งานได้อย่างไร
7. ชิ้นวางหนังสือจะออกแบบอย่างไรเพื่อลดผลกระทบจากการคราก
8. จงอธิบายว่าจะสามารถออกแบบการทดสอบการครากของแผ่นกระดาษอย่างไร
9. จงยกตัวอย่างตำแหน่งที่อาจเกิดการครากของเครื่องยนต์สันดาปภายใน
10. จงอธิบายสามขั้นตอนของการเกิดการครากและรูปร่างของกราฟของแต่ละขั้นตอน
11. จงอธิบายการใช้งานสามอย่างที่การครากเป็นตัวแปรสำคัญในการเลือกวัสดุ และวัสดุอะไรที่ควรเลือกใช้ในแต่ละงาน เพราะเหตุใด
12. ข้อพิจารณาอะไรที่สำคัญในการออกแบบเพื่อใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับการคราก
13. อธิบายอัตราการครากที่ควรจะเป็นของวัสดุต่างๆ และวัสดุชนิดไหนที่คาดว่าจะมีค่าอัตราการครากต่ำสุดและชนิดไหนจะมีค่าสูงสุด
14. จงออกแบบและอธิบายกระบวนการทดสอบการครากสำหรับวัสดุแก้ว โดยอธิบายการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบ ตัวจับชิ้นทดสอบ อุปกรณ์วัดระยะยืด กระบวนการใส่น้ำหนัก การจับเก็บข้อมูลและผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ