การศึกษาพฤติกรรมการคืบของโลหะอลูมิเนียมผสมทนความร้อน AC8A-F

STUDY ON CREEP BEHAVIOR OF ALUMINUM ALLOYS AC8A-F

นาย ปริญญา วรธำรง
MR. PARINYA VORATHUMRONG
นาย พรเทพ เฉลิมพันธ์พิพัฒน์
MR. PORNTHEP CHALERAMPANPIPAT

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON CREEP BEHAVIOR OF ALUMINUM ALLOYS AC8A-F

MR. PARINYA VORATHUMRONG
MR. PORNTHEP CHALERAMPANPIPAT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาพฤติกรรมการคืบของโลหะอลูมิเนียมผสมทนความร้อน AC8A-F

STUDY ON CREEP BEHAVIOR OF ALUMINUM ALLOYS AC8A-F

ชื่อนักศึกษา นายปริญญา วรธำรง **รหัสประจำตัว** 37014246

นายพรเทพ เฉลิมพันธ์พิพัฒน์ **รหัสประจำตัว** 37014277

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

.....

(ผศ. พรศักดิ์ อรรถวานิช)

.....

(อ. กวิน สนธิเพิ่มพูน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาพฤติกรรมการคืบของโลหะอลูมิเนียมผสมทนความร้อน AC8A-F
นักศึกษา	นาย ปริญญา วรธำรง นาย พรเทพ เฉลิมพันธ์พิพัฒน์
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ. พรศักดิ์ อรรถวานิช อ. กวิน สนธิเพิ่มพูน
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2540

บทคัดย่อ

พฤติกรรมการคืบของโลหะอลูมิเนียมผสมทนความร้อน AC8A-F

โลหะอลูมิเนียมผสมทนความร้อน AC8A-F เป็นโลหะผสม ระหว่างอลูมิเนียม และ ซิลิกอน โดยมีทองแดง เหล็ก นิกเกิล และธาตุอื่น ๆ ผสมอยู่เล็กน้อย เป็นโลหะที่มีความต้านทานต่อความเค้นได้ดี นิยมใช้ทำลูกสูบในเครื่องยนต์ จากเหตุที่การทำงานของลูกสูบในเครื่องยนต์จะทำงานที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นลูกสูบมีโอกาสที่จะเกิดการเสียรูปอย่างต่อเนื่องตามเวลาเมื่อประยุกต์ความเค้นคงที่ที่มีขนาดสูงพอ พฤติกรรมการเสียรูปที่ขึ้นกับเวลานี้เรียกว่า การคืบ การคืบเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญมากในการออกแบบชิ้นส่วนที่ทำงานที่อุณหภูมิสูง การศึกษาพฤติกรรมการคืบในบทความนี้ทำได้โดยการทดสอบการคืบ ที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ และความ เค้นหลาย ๆ ค่า เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาสร้างแผนภาพความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ- ความเค้น กับเวลา นอกจากนี้ยังสามารถที่จะหาอัตราการคืบต่ำสุดในแต่ละขนาดของความเค้นและอุณหภูมิได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Study on Creep Behavior of Aluminum Alloys AC8A-F
Student	Mr. Parinya Vorathumrong
	Mr. Pornthep Chalearmpanpipat
Thesis Advisor	Assist. Prof. Pornsak Attavanich
	Mr. Kawin Sontipaimpoon
Degree	Bachelor of Engineering in Mechanical Engineering
Year	1997

ABSTRACT

Heat enduring Aluminum Alloys AC8A-F is an Alloy of Aluminum and Silicon with a little of Copper, Iron, Nickel and the other element. Aluminum Alloys AC8A-F has high resistance to stress, thus widely used to make piston in internal combustion engine. As the piston are subject to high temperature environment, it has chance to continuously deforms with time when applied at sufficiently constant stress, this behavior of material is called CREEP. Creep is an important property to be taken into consideration when designs the Machine parts, working under high temperature condition. A study on creep behavior in this Thesis, is performed by a series of tests. The data are taken from the creep test at many Temperature and stress levels in order to build the relative diagram of the temperature and Stress with time. Moreover the minimum creep rate can be obtain levels of stresses and Temperatures.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้นต้องขอขอบพระคุณ อ.พรศักดิ์ เป็นอย่างสูง ที่ช่วยให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้ความห่วงใยและให้กำลังใจตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจอยู่เสมอ

ขอขอบพระคุณ ครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้และอบ รมสั่งสอนซึ่งทำให้มีปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมาได้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ช่วยสนับสนุนวัสดุและอุปกรณ์ในการทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณทุกๆท่านที่มีส่วนร่วมให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ แต่มิได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้

ขอมอบคุณงามความดี ของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้แด่บิดา มารดา ครูบาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน .

ปริญญา วรธำรง

พรเทพ เฉลิมพันธ์พิพัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

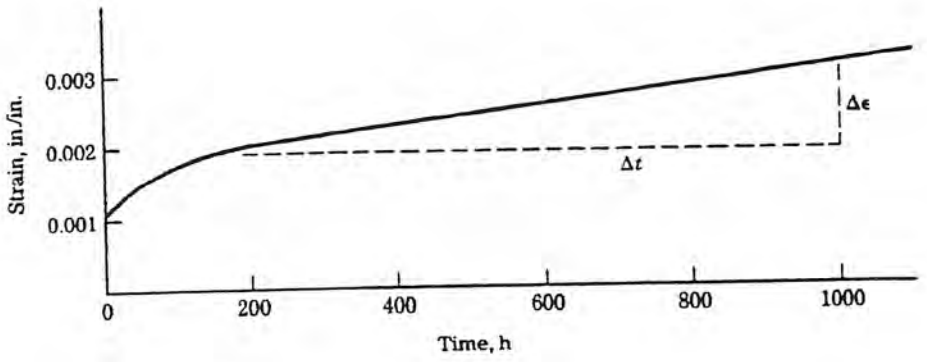
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
บทนำ	1
บทที่ 1 พฤติกรรมการคืบของโลหะ	
ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการคืบ	3
ปรากฏการณ์ของ creep	3
ลักษณะทางธรรมชาติของวัสดุที่ เป็นผลึก	5
พฤติกรรมการคืบของโลหะ	8
บทที่ 2 เครื่องมืออุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
เครื่องมือและอุปกรณ์	11
วิธีการทดลอง	13
บทที่ 3 ผลการทดลองและการประมวลผล	
ผลการทดลอง	14
การประมวลผล	25
กราฟ minim um creep rate กับ stress ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของ AC8A-F	28
กราฟ rupture time กับ stress ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของ AC8A-F	29
บทที่ 4 สรุปผลและวิจารณ์	30
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

ในการออกแบบชิ้นส่วนของอุปกรณ์ที่ทำงานในที่ที่มีอุณหภูมิสูง ต้องเลือกใช้วัสดุที่ทนต่อความเค้น การเสียรูปตามเวลาการใช้งานในที่ที่มีอุณหภูมิสูง และอายุการใช้งาน ทำไมต้องมีปัจจัยเหล่านี้เพิ่มขึ้นมา เพราะว่ามีปัจจัยตามธรรมชาติของวัสดุต่าง ๆ โดยเฉพาะพวกโลหะจะมีการเสียรูปตามเวลาเมื่อได้รับความเค้นเพียงพอในอุณหภูมิสูง นั่นคือเกิดการคืบ (creep) ขึ้นนั่นเอง ในงานออกแบบพวก gas turbine blades ในเครื่องบินไอพ่น จะใช้วัสดุโลหะผสมซึ่งมีน้ำหนักเบา ทนความเค้นได้สูงในอุณหภูมิสูง และมีการอัตราการเสียรูปตามเวลาค่อนข้างต่ำ (มี creep rate ต่ำ) จึงสร้างให้มีขนาดเล็กได้ แต่จะมีอายุการใช้งานไม่นานนัก เนื่องจากขีดจำกัดของการเสียรูปในงานออกแบบจะมีค่าน้อย ไม่เหมือนงานออกแบบพวกกังหันไอน้ำจะมีขนาดใหญ่มาก และต้องการอายุการใช้งานยาวนานแทบไม่ต้องเปลี่ยนเลย

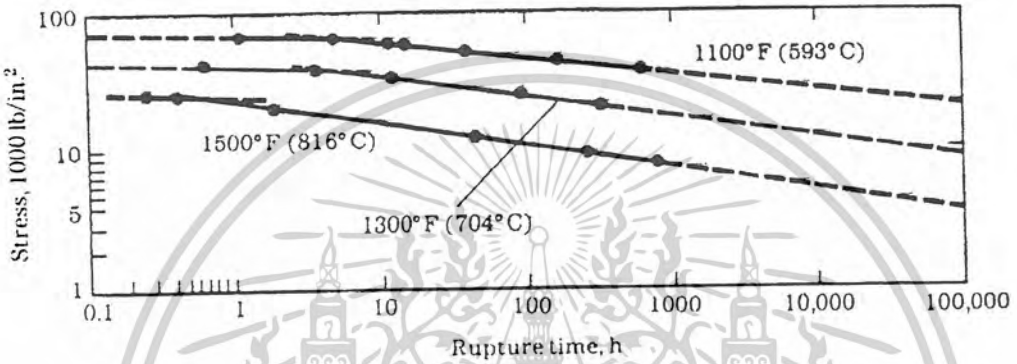
เราจะรู้ได้อย่างไรว่าชิ้นส่วนของอุปกรณ์ดังกล่าวที่ใช้วัสดุชนิดหนึ่ง จะมีอายุการใช้งานนานเท่าไหร่ ในงานออกแบบต้องมีข้อมูลของเวลา (เป็นชั่วโมง) ในการแตกหักเสียหายที่ความเค้นต่าง ๆ ในอุณหภูมิต่าง ๆ และมีข้อมูลของอัตราการเสียรูปต่ำสุด (minim um creep rate) ที่ความเค้นต่าง ๆ อุณหภูมิต่าง ๆ จึงจะสามารถคำนวณคร่าว ๆ ว่านานเท่าไหร่ชิ้น ส่วนนั้นจะเสียรูปเกินกำหนด เราจึงจำเป็นที่ต้องทดลองหาความสัมพันธ์ของความเครียดกับเวลา (creep curve) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ความเค้นต่าง ๆ ของโลหะผสมที่ต้องการทดลองหา รวมถึงตรวจดูลักษณะการแตกหักด้วยกล้องโทรทัศน์ ซึ่งในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะทดลองหาโดยใช้วัสดุ อลูมิเนียมผสม AC8A-F ที่ใช้ในลูกสูบรถยนต์ ซึ่งผลการทดลองจะได้ความสัมพันธ์ของความเครียด กับเวลาที่ความเค้นต่าง ๆ อุณหภูมิต่าง ๆ (creep curve)



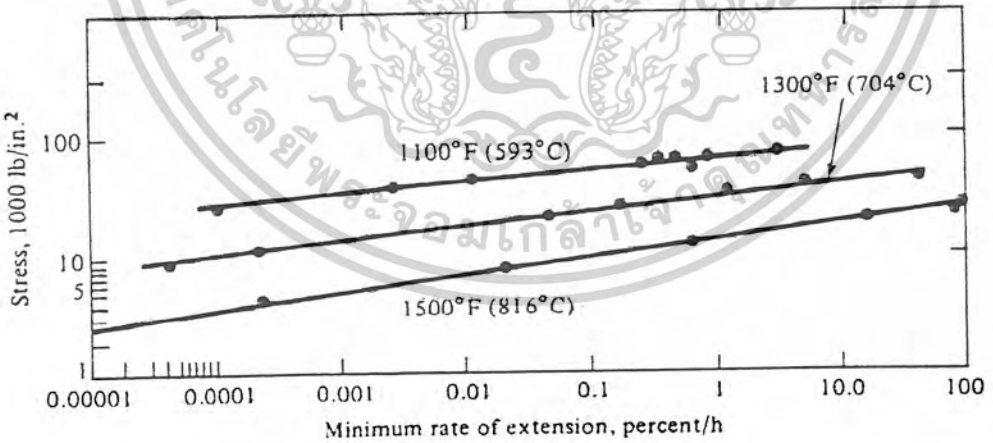
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดไปหากราฟความสัมพันธ์ต่าง ๆ เพื่อที่จะสามารถประมาณค่าที่อยู่นอกช่วงข้อมูลได้ เพราะว่าการทดลองจริง ๆ ไม่สามารถทดลองยาวนานมากได้ในข้อมูลบางตัว จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังนี้

1. อัตราของการยืดตัวต่ำสุด หรือ minimum creep rate กับความเค้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ



2. เวลาที่ชิ้นงานนั้นเกิดการเสียหาย (แตกหัก) กับความเค้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในงานออกแบบชิ้นส่วนได้เลย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1

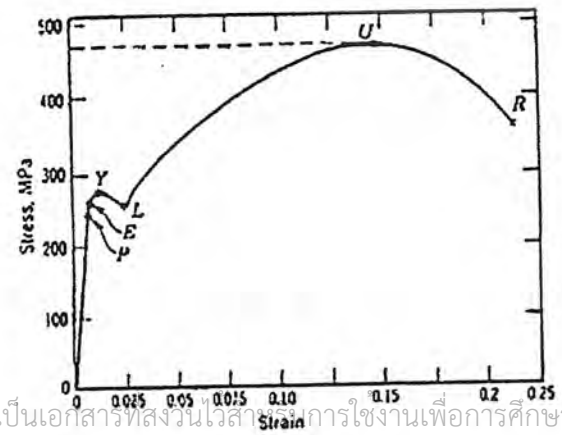
พฤติกรรมการคืบของโลหะ

<u>ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการคืบ</u>

เมื่อจะนำวัสดุใด ๆ มาใช้ออกแบบชิ้นส่วนที่ทำงานในอุณหภูมิสูง จำเป็นต้องมีส่วนเกี่ยวข้องเพิ่มเติมในการออกแบบที่ต่างจากวัสดุที่ใช้ในอุณหภูมิต่ำหรืออุณหภูมิปรกติ ที่อุณหภูมิปรกติการเสียรูปแบบถาวรถูกป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นได้โดยการออกแบบไม่ให้วัสดุได้รับความเค้นเกินจุดคลาก (yield strength) แต่ในที่อุณหภูมิสูงเมื่อวัสดุได้รับความเค้นที่มากพอ (ซึ่งจะน้อยกว่าความเค้นที่จุดคลาก) จะมีการเสียรูปแบบถาวรโดยขึ้นกับเวลา พฤติกรรมการเสียรูปที่ขึ้นกับเวลานี้ เรียกว่าการคืบ (creep) ซึ่งมีในวัสดุที่เป็นผลึกและไม่เป็นผลึก ในที่นี้จะกล่าวถึงวัสดุ ที่เป็นผลึก และเป็นวัสดุที่มีหลายผลึกด้วย

<u>ปรากฏการณ์ของ creep</u>

เมื่อเรานำวัสดุโลหะไปเข้าเครื่องดึง เมื่อความเค้นที่ให้กับวัสดุโลหะนั้น เกินจุดคลากบน (yield strength) แท่งโลหะนั้นจะเกิดการเสียรูปโดยการยืดตัวแบบถาวร เรียกการเสียรูปแบบถาวรนั้นว่า การเสียรูปแบบพลาสติก แต่ถ้าเราให้ความเค้นกับแท่งโลหะนั้นน้อยกว่าความเค้นจุดคลาก คือไม่เกินขีดจำกัดความยืดหยุ่น เมื่อเราปล่อยแรงดึงที่ทำกับชิ้นโลหะนั้น ส่วนที่ถูกดึงแล้วยืดออกมาเล็กน้อยนั้นก็จะหดตัวกลับไปเหมือนเดิม แสดงว่าโลหะนั้นมีการเปลี่ยนแปลงแบบ elastic เวลาดึงก็จะเกิดความเครียดยืดหยุ่น (elastic strain)



รูปที่ 1 แผนภาพของความเค้นความเครียด

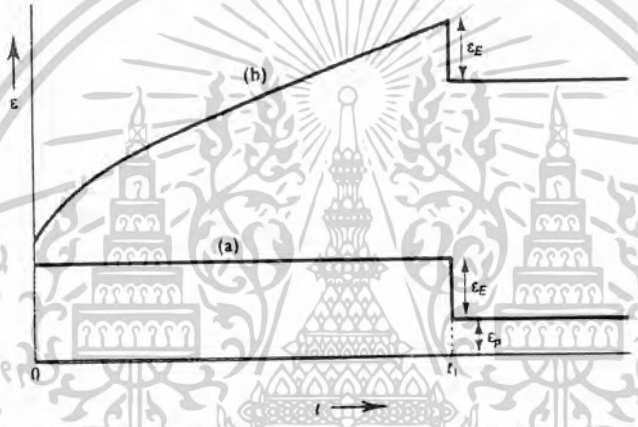
Y เป็นจุดคลากบน

E เป็นขีดจำกัดความยืดหยุ่น

P เป็นขีดจำกัดส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างการเสียรูปแบบพลาสติกที่ขึ้นกับเวลากับการเสียรูปที่ไม่ขึ้นกับเวลา ดูได้จากรูปที่ 2 ซึ่งมีวัสดุทดสอบแรงดึงคงที่เป็นชิ้นโลหะ 2ชิ้นที่ผ่านการอบอ่อนกำจัดความเค้นภายในแล้ว ชิ้นแรกแสดงได้โดยกราฟ (a) ที่อุณหภูมิหนึ่งความเค้นหนึ่งซึ่งจะเกิดการเสียรูปแบบถาวรไม่ขึ้นกับเวลา เมื่อเราเริ่มใส่ load , t = 0 ชิ้นโลหะจะเกิดมีการเปลี่ยนแปลงแบบ elastic (เกิดความเครียดยืดหยุ่น ε_E) และแบบ plastic (เกิดความเครียด ถาวร ε_p) พร้อมกันในตอนเริ่มต้น ซึ่งความเครียดหรือระยะยืดที่ถูกดึงก็จะคงที่ตลอดเวลา เมื่อเรา เอา load ออกที่เวลา $t = t_1$ ความเครียดยืดหยุ่น ε_E (elastic strain) จะคืนตัวหมดเหลือเพียงความเครียดถาวร ε_p และพฤติกรรมของอีกชิ้นแสดงโดยกราฟ (b) ที่อุณหภูมิหนึ่งความ เค้นหนึ่ง

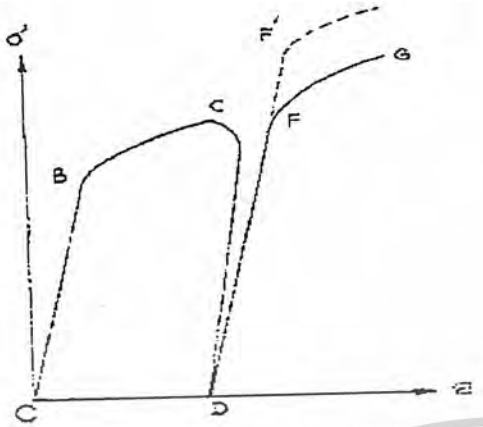


รูปที่ 2 เป็นกราฟระหว่างความเครียดกับเวลา (a) การเสียรูปแบบถาวรที่ไม่ขึ้นกับเวลา (b) การเสียรูปแบบถาวรที่

จะเห็นได้ว่ามันมีความเป็นพลาสติกหรือมีความเครียดที่เพิ่มขึ้นตามเวลา ส่วนประกอบของความเครียดที่เกิดขึ้นในตอนเริ่มต้น $t = 0$ จะมีความเครียดแบบพลาสติกที่ไม่ขึ้นกับเวลาอยู่บ้าง และมีความเครียดยืดหยุ่นด้วย จากนั้นจะเกิดความเครียดถาวรซึ่งเพิ่มขึ้นตามเวลา เมื่อเราเอา load ออก จะมีเพียงความเครียดยืดหยุ่น ε_E (elastic strain) เท่านั้นที่คืนตัว ส่วนที่ยืดออกมาในตอนเริ่มต้นกับส่วนที่ยืดที่ขึ้นตามเวลา จะเป็นความเครียดถาวร

ตามปรกติวัสดุโลหะเหนียว เช่น เหล็ก ทองแดง เมื่อเรานำมาดึงด้วยแรงที่ให้เกิดความเค้นคลาก โดยให้โลหะนั้นยืดตัวขนาดหนึ่ง แล้วปล่อยแรงดึงนั้น (ที่จุด C ไป D) จากนั้นก็ทิ้งไว้สักพักให้ความร้อนที่เกิดจากการดึง (ซึ่งเกิดจากกลไกภายในของการยืดตัว) เย็นตัวลง แล้วเรามาลองดึงใหม่ แรงดึงที่ทำให้เกิดการคลากในครั้งที่สองนี้ (จุด F) จะมากกว่าแรงดึงที่ทำให้เกิดการคลากครั้งแรก (จุด B) ดังรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

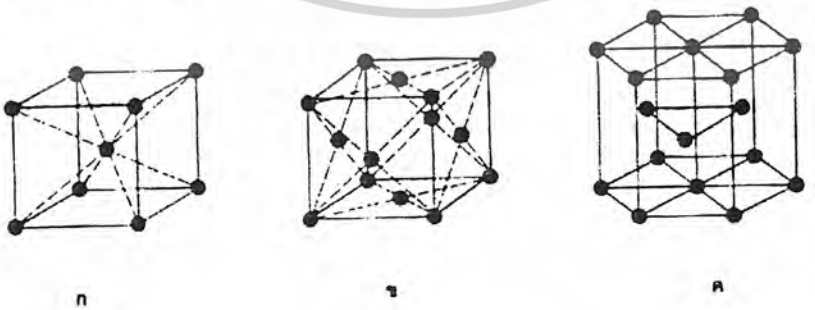


รูปที่3
การลดและเพิ่มแรงดึงในวัสดุ
ทำให้แรงเค้นคลากเพิ่มขึ้น

ถ้าเราทิ้งไว้หลายวันแล้วค่อยมาดึง อาจต้องใช้แรงที่ทำให้เกิดความเค้นถึงจุด F′ จึงทำให้เกิดการคลาก ปรากฏการณ์ที่วัสดุแข็งขึ้นเนื่องจากความเครียดเรียกว่า strain hardening ซึ่งเป็นกลไกภายในอันหนึ่งของการคืบ (creep) แล้วถ้าเรานำเอาวัสดุที่ถูกดึงนั้นมาทำการอบร้อนในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดผลึกใหม่ (Recrystallization) (มันคือ อุณหภูมิ สูง ๆ แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมละลายที่ทำให้วัสดุนั้นเริ่มเกิดผลึกใหม่) นำมาอบในระยะเวลาหนึ่ง โลหะนั้นจะเกิดการคืนตัว (recovery) คือความเค้นภายในจะถูกกำจัดออกไป จะเกิดการอ่อนตัว และมีลักษณะทางกายภาพคล้ายคลึงกับชิ้นงานก่อนถูกดึง ซึ่งการคืนตัวก็เป็นกลไกภายในอีกอันหนึ่งของการคืบ ถ้าเราลงลึกไปถึงจุลโครงสร้างของโลหะหลายผลึก จะสามารถอธิบายการคืบหรือการ creep ได้ง่ายขึ้น ถ้าผู้ที่เข้าใจในโครงสร้างเล็ก ๆ นี้อยู่แล้วให้ข้ามหัวข้อนี้ไปเลย

<u>ลักษณะทางธรรมชาติของวัสดุที่เป็นผลึก</u>

การนำโลหะมาใช้ เกิดจากฝีมือมนุษย์ทำการหลอมเหลวก้อนโลหะวัตถุดิบ แล้วหล่อมันขึ้นมาใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ จุลโครงสร้างที่เล็กที่สุดของโลหะต่าง ๆ คือ อะตอม ซึ่งมีการจัด

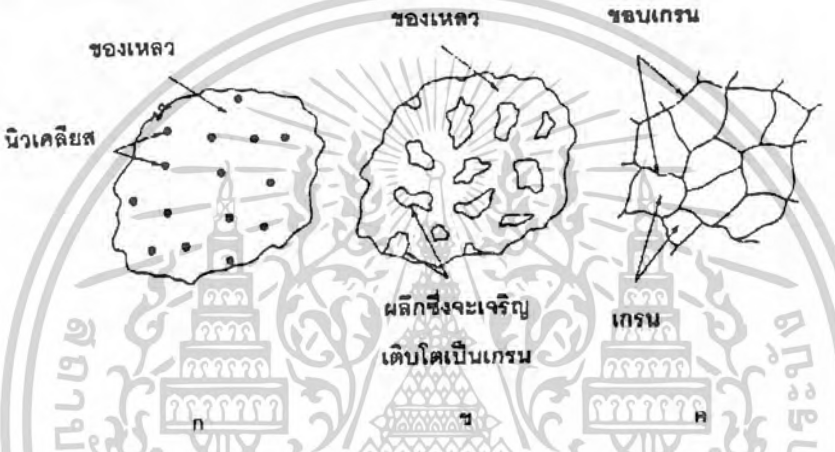


รูปที่ 4 โครงสร้างผลึกของโลหะหนึ่งหน่วยเซล

ก) body - centered cubic ข) face - centered cubic ค) hexagonal closed - packed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียงตัวที่มีรูปแบบ แน่นอน โดยจัดเป็นรูปแบบซ้ำไปซ้ำมาในสามมิติเรียกว่า โครงสร้างผลึก ซึ่งมี ลักษณะรูปแบบเล็กที่สุดที่ไม่ซ้ำกันในโครงสร้างของผลึก เรียกว่า หน่วยเซล (รูปที่ 4) ในการหล่อโลหะ เมื่อโลหะเริ่มที่จะแข็งตัวจะเกิดลักษณะทางธรรมชาติตามขั้นตอนการแข็งตัว ของโลหะ ในตอนแรกจะเกิดกลุ่มของอะตอมที่มีความเสถียรที่มีขนาดใหญ่พอ เรียกว่า นิวเคลียส แล้วแต่ละนิวเคลียสจะถูกอะตอมจับตัวกันเป็นโครงสร้างผลึกเป็นก้อนของแข็งเล็ก ๆ เป็นแต่ละก้อนของผลึก ผลึกจะโตขึ้นกลายเป็นเกรนและจะมีการวางตัวของหน่วยเซล เป็นมุม ต่าง ๆ กัน ซึ่งทำให้เกิดระนาบของผลึกต่าง ๆ กันในแต่ละเกรน ดังรูปที่ 5,6



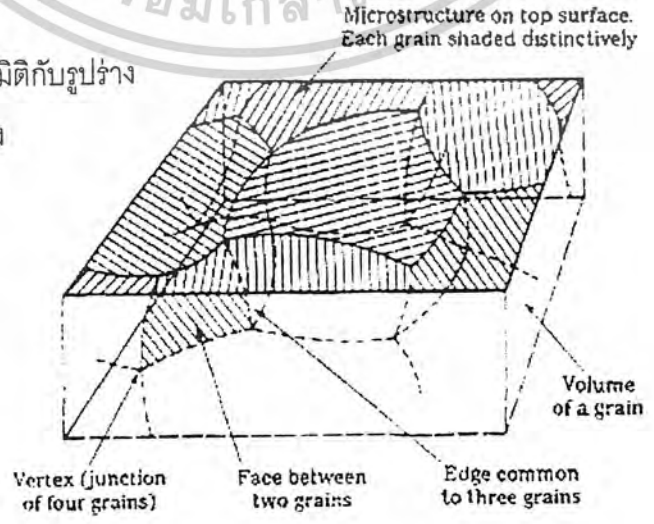
รูปที่ 5 การแสดงขั้นตอนในการแข็งตัว (Solidification) ของโลหะ

(ก) การเกิดของนิวเคลียส

(ข) การเจริญเติบโตของนิวเคลียสไปเป็นผลึก และ

(ค) การเชื่อมโยงของผลึกเกิดเป็นเกรนและขอบเกรน

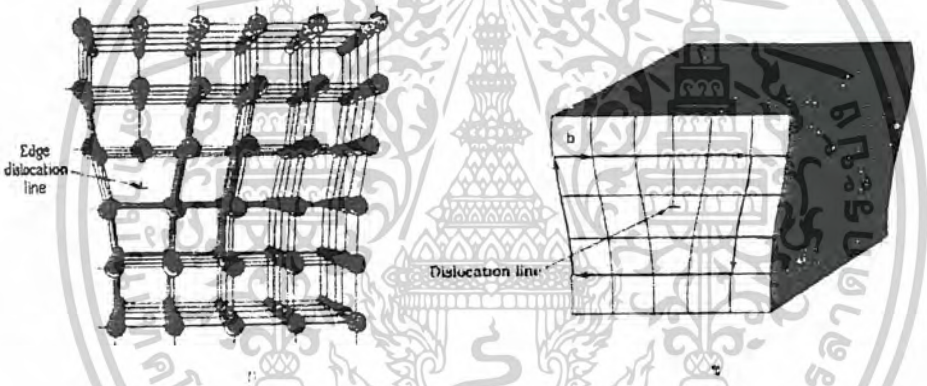
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของจุลโครงสร้างของผลึกของวัสดุในสองมิติกับรูปร่างแหในสามมิติที่ลึกลงไปข้างล่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

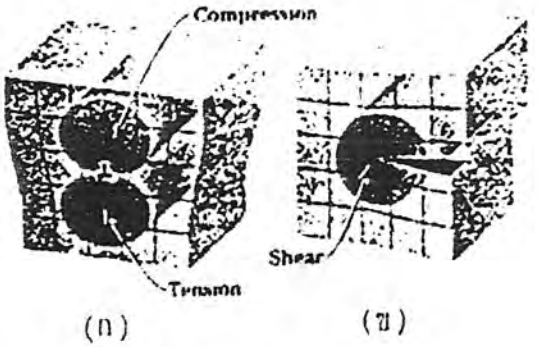
ในรูปที่ 6 รอยขีดเฉียง ๆ ถี่ ๆ คือระนาบสำคัญ ระนาบหนึ่งที่สามารถจะเกิดการเลื่อนที่ของผลึกได้ ในแต่ละเกรนจะแทนผลึกเดี่ยวหนึ่งผลึก เพราะฉะนั้นโลหะหลายผลึกจึงประกอบผลึกเดี่ยวหลายผลึก หรือ เกรนย่อย ๆ รวมกันขึ้นเป็นก้อนโลหะ ขนาดผลึกเดี่ยว(เกรน)ยิ่งเล็กยิ่งทำให้โลหะแข็งแรง ในโครงสร้างเล็ก ๆ ภายในเกรน จะเกิดความบกพร่องเนื่องจากการจับตัวกันเป็นผลึกในขณะเย็นตัว ซึ่งแบ่งได้เป็นความบกพร่องแบบจุด (เช่น จุดว่าง คือจุดที่ควรมีอะตอมอยู่ตรงตำแหน่งนั้น แต่ไม่มี หรือ จุดที่มีการแทรกตัวหรือถูกแทน ที่ของสิ่งเจือปนก็เกิดเป็นความบกพร่องขึ้น และจะเกิดสนามความเครียดรอบ ๆ จุดนั้น) และความบกพร่องแบบเส้น ซึ่งเรียกว่า dislocation

Dislocation เป็นความบกพร่อง ที่เป็นเหตุให้เกิดการบิดตัวของแกนของ แลตทิส (โครงสร้างของผลึก) รอบเส้นหนึ่ง ๆ ซึ่งเส้นนั้นแทนด้วยเครื่องหมาย T กลับหัว ตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 เป็น Positive edge dislocation มีรูปตัว T เล็ก ๆ กลับหัวแสดงถึงครึ่งระนาบพิเศษของ อะตอมที่อยู่ช่วงบนถูกอัดเข้าไปและช่วงล่างถูกดึง

ซึ่ง dislocation แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังรูปที่ 8 ซึ่งแต่ละแบบทำให้เกิดสนามความเครียดโดยรอบ หรืออาจเกิด dislocation ทั้ง 2 ชนิดผสมกัน



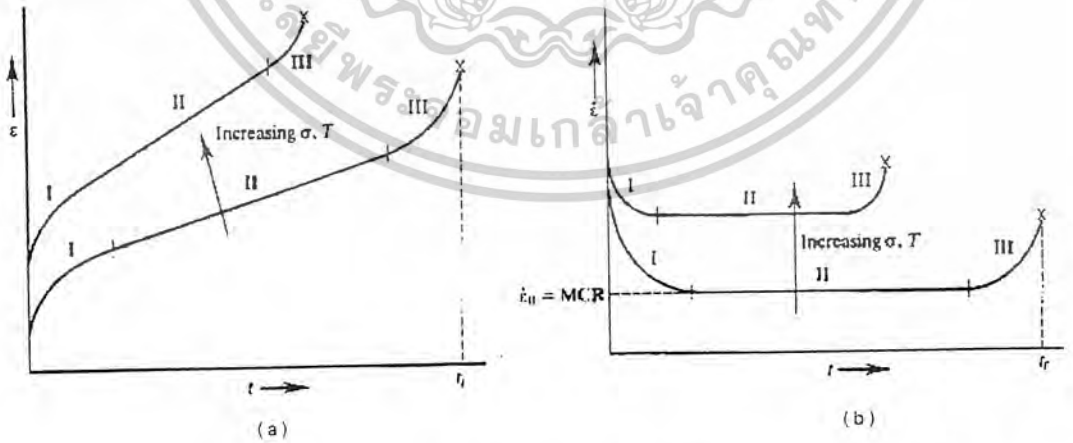
รูปที่ 8
สนามความเครียดโดยรอบ
ก) edge dislocation
ข) screw dislocation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dislocation จะเกิดขึ้นเองในขณะที่โลหะแข็งตัว และสามารถเกิดขึ้นได้จากแรงภายนอก ที่กระทำต่อผลึก ถ้าเกิดจากแรงดึงชิ้นงาน ทำให้เกิดความแข็งเพิ่มขึ้นเนื่องจากความเครียด หรือ strain hardening ซึ่งมีสาเหตุเกิดจากการเพิ่มขึ้นของ dislocation นั่นเอง ถ้าเรานำไปอบคืนตัวที่อุณหภูมิสูง ก็จะเป็นการลด dislocation ลง หรือทำให้หมดไปได้ (เพราะในบริเวณที่เกิด dislocation จะมีพลังงานเนื่องจากความเครียดสูง การอบก็จะไปกระตุ้นให้ dislocation มีพลังงานสูงพอที่จะทำให้เกิดการเลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่งที่มีพลังงานต่ำ ๆ ได้) ทำให้โลหะมีความเหนียวเพิ่มขึ้น แต่ความแข็งที่เกิดจากความเครียดจะลดลงจนหมดไปได้

<u>พฤติกรรมการคืบของโลหะ</u>

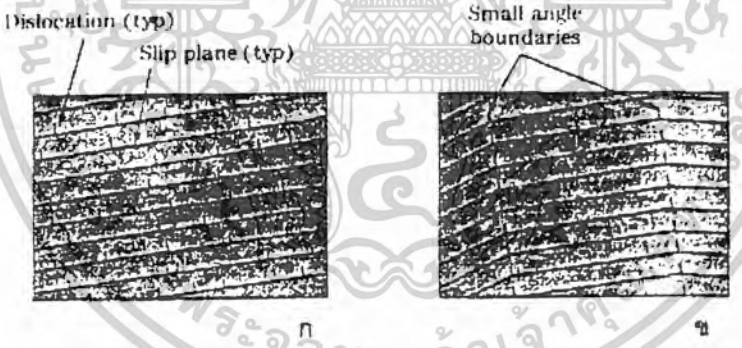
การคืบ (creep) ก็คือปรากฏการณ์หรือพฤติกรรมการเสียรูปของวัสดุอย่างต่อเนื่องไปตามเวลา เมื่อได้รับความเค้นที่สูงพอในที่ที่มีอุณหภูมิสูง ๆ อุณหภูมิสูงที่เราสนใจจะอยู่ในช่วงที่มากกว่า 0.5 เท่าของอุณหภูมิหลอมละลายของวัสดุโลหะนั้น (ในหน่วยเคลวิน) ส่วนความเค้นจะอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าความเค้นคลากลงมา โดยทั่วไปเราสนใจการเสียรูปในรูปของความเครียด หรือเปอร์เซนต์ความเครียด (% strain) และเวลาในรูปของชั่วโมง (hours) ในรูปที่ 9 (a) ถ้าโค้งความเครียดกับเวลาเป็นดังเส้นข้างล่าง เมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิและความเค้นให้สูงขึ้นความชันของโค้งจะสูงขึ้นเปลี่ยนไปเป็นเส้นบน ส่วนในรูป b เป็นความชันของโค้งรูป a t_r หรือเวลาที่เกิดการขาดหรือแตกหักพังไปก็จะสั้นลงตามอุณหภูมิ และความเค้นที่เพิ่มขึ้น และ อัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดต่อเวลา ($\dot{\epsilon}$) จะสั้นลง



รูปที่ 9 a) แสดงถึง creep curve เมื่อประยุกต์ที่อุณหภูมิ และความเค้นที่สูงขึ้น ความเครียดก็สูงขึ้นตามเวลา b) แสดงถึงโค้งของ creep rate กับเวลา
(MCR = minimum creep rate หรืออัตราการคืบต่ำสุดซึ่งเกิดขึ้นในช่วง II)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถอธิบายกลไกภายในวัสดุ ในขณะที่เกิดการเสียรูป (การยืดตัว) ตามเวลาได้ 3 ส่วน เมื่อเราเริ่มทดลองโดยนำวัสดุโลหะเข้าเครื่องดึงที่มีตู้อบให้ความร้อน ส่วนที่ I ในตอนเริ่มต้นจะเกิดการเสียรูปยืดตัวทันทีเมื่อได้รับแรงดึงคงที่ จากนั้นแล้วอัตราคืบ (creep rate) จะลดลงต่อเนื่องตามเวลา ถ้าใช้กล้อง Transmission ดูจะเห็นโครงสร้างภายในเกรน จะเกิด dislocation มากขึ้น เนื่องจากความเค้นที่ถูกประยุกต์ในตอนเริ่มต้น ทำให้วัสดุเกิดการแข็งตัวเนื่องจากความเครียดหรือ strain hardening เมื่อเวลาผ่านไปในช่วงหลังของส่วนที่ I การคืนตัว หรือ recovery (เนื่องจากวัสดุจะอยู่ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงจึงเหมือนการอบของวัสดุให้คลายความ เครียดที่เกิดขึ้นภายในหรือเป็นลด dislication ที่เกิดขึ้น) จะค่อย ๆ มีบทบาทขึ้น ต้านการเกิดความเครียดแข็ง ทำให้อัตราการคืบหรืออัตราการยืดตัวหรือ creep rate เนื่องจากแรงดึงลดลง จนขนาดของ creep rate นั้นเริ่มคงที่ ซึ่งสังเกตได้ว่าเป็นส่วนที่ II ที่มี creep rate คงที่ ตามรูปที่ 9 ซึ่งผลของการคืนตัวเริ่มเกิดขึ้นอย่างเต็มที่นั่นเอง ถ้าเรามาดูจุลโครงสร้างช่วงหลังของส่วนที่ I การ คืนตัวก่อให้เกิดโครงสร้างของเกรนย่อย ๆ จากเกรนใหญ่ในบริเวณที่มีกลุ่มของ dislocation หนาแน่น เกรนย่อยเหล่านี้มีมุมขอบเกรนต่ำ (สังเกตได้จากการหักมุมของระนาบเลื่อนที่เกิดขึ้นในเกรน) ดังรูปที่ 10 ซึ่งเรียกการคืนตัวนี้ว่า polygonization



รูปที่ 10 รูปแบบแทนการเกิด polygonization ในโลหะที่เสียรูป

ก) ผลของโลหะที่เสียรูปแสดง dislocation บนระนาบเลื่อน

ข) หลังจากการอบด้วยความร้อนจนเกิดการคืนตัว dislocation จะจัดตัวใหม่เกิดเป็นมุมเล็ก ๆ ที่ขอบเกรน

ขนาดของเกรนย่อยนั้นจะเล็กลงเมื่อความเครียดเพิ่มขึ้นหรือเม็ดเกรนจะละเอียดขึ้นตามความเครียดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการเกิดเกรนย่อยดังกล่าวแท้จริงเกิดจากการที่ dislocation ถูกทำลายโดยการเคลื่อนย้ายไปสู่โครงรูปที่มีพลังงานต่ำกว่า จึงเกิดการหักมุมของระนาบเลื่อน ทำให้เกิดเป็นเกรนย่อยดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนที่ II จะเห็นว่า creep rate คงที่เช่นเดียวกับจุลโครงสร้างที่เกิดความเครียดแข็ง และเกิดการคืนตัวอย่างเต็มที่ไปพร้อม ๆ กัน หรือถ้าอธิบายเป็นส่วน ๆ ได้คือ เมื่อการคืนตัวหยุดลง ความหนาแน่นของ dislocation จะเพิ่มขึ้น แล้วการคืนตัวก็เริ่มทำงานทำให้เกิดโครงสร้างของเกรนย่อย ๆ เกิดขึ้น และเกรนจะละเอียดขึ้นตามการยืดตัวที่เพิ่มขึ้น สรุปคือ ผลของพลังงานที่เกิดจากความเครียดแข็ง จะถูกทำลายหรือถูกต้านทานจากการคืนตัวทำให้วัสดุอ่อนตัวลง เช่นนี้เองจึงเกิดการยืดตัวขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเวลาผ่านไป Creep rate ที่คงที่นี้ เรียกว่า Minim um creep rate ซึ่งเป็นส่วนที่สนใจใช้ในการออกแบบ

ในส่วนที่ 3 creep rate จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การเสียรูปในส่วนที่ 3 นี้ เป็นเหตุให้วัสดุเกิดการแตกหัก ซึ่งเกี่ยวข้องหลายปัจจัย เช่น ค่าความเค้นที่เราใส่ให้มันนั้นคงที่ แต่เมื่อวัสดุเกิดการยืดตัวเริ่มเกิดคอคอด บริเวณนั้นจะเกิดความเค้นเพิ่มขึ้นสูงกว่าที่อื่น ๆ จึงทำให้ creep rate สูงขึ้น การที่บริเวณดังกล่าวนั้นเกิดความเค้นสูง ทำให้เกิด dislocation หนาแน่นมาก จนอาจมีการเริ่มต้นของการเกิดผลึกใหม่ เนื่องมาจากบริเวณนั้นมีพลังงานความเครียดสูง ทำให้บริเวณนั้นอ่อนตัวเกิดการยืดตัวอย่างรวดเร็ว เกิดการแตกออกภายใน เกิดเป็นโพรงช่องว่างภายใน หลังจากนั้นจะเกิดรอยแตกร้าว แล้วแตกหักในเวลาต่อมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เครื่องมืออุปกรณ์และวิธีการทดลอง

<u>เครื่องมือและอุปกรณ์</u>

1. เครื่องทดสอบการ creep (Creep/Stress Rupture Machine) จะประกอบด้วย
   - 1.1 เตาอบชิ้นงาน และชุดควบคุมเตา (Furnace Control Panel for Furnace)
   - 1.2 ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control Panel)
   - 1.3 ชุดจับเวลา (Timer Module)
   - 1.4 ชุดควบคุมสัญญาณสำหรับการวัดการ creep ที่เหมาะสม (LVDT Signal Conditioning Module for Creep Measurement)
   - 1.5 ตัวแปลงสัญญาณ LVDT's (Linear Variable Displacement Transformers)
   - 1.6 ชุดบันทึกสัญญาณ (Link Pack JR)
   - 1.7 ก้อนน้ำหนัก (Load)
   - 1.8 มอเตอร์สำหรับดึงชิ้นงานให้สมดุล ทำให้ชิ้นงานอยู่ในสภาพถูกแรงดึง
   - 1.9 ตัววัดอุณหภูมิของชิ้นงาน (Thermocouple)
   - 1.10 ลิมิตสวิทช์ (Limit Switch)
   - 1.11 ชุดคอมพิวเตอร์ควบคุม
2. Tensile Test Machine
3. กล้องโทรทัศน์ตรวจดูชิ้นงาน (Scanning Electron Microscrope)
4. ชิ้นงานทดสอบอลูมิเนียม AC8A-F

ส่วนประกอบทางเคมีของ AC8A-F (มวล %)

Cu 1.04	Si 12.21	Mg 1.12	Fe 0.14
Mn 0.01	Ni 1.16	Ti 0.09	Na 0.001
Ca .001			

Tensile Strength 18 (min) Kgf/mm^2 หรือ 177 (min) N/mm^2

<u>ข้อมูลอื่น ๆ</u> โลหะที่ไม่ผ่านกระบวนการอบร้อนของอลูมิเนียมผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อลูมิเนียมผสมโดยทั่วไปจะผลิตโดยกรรมวิธี การหล่อโดยใช้ทรายเป็นแม่แบบและ การฉีด ซึ่งจะทำให้มีความแข็ง ไม่เกิดการกัดกร่อนได้ง่าย และการเปลี่ยนรูปในการหล่อมีความ แข็งแรงกว่าโลหะอลูมิเนียมผสมที่ประกอบด้วย ซิลิกอน 9.0 ถึง 13.0%กับทองแดงในปริมาณน้อย โลหะผสมจะเป็นส่วนผสม eutectic ในการปรับปรุงส่วนผสม eutectic ให้ดีขึ้นจะทำได้โดย เติมโซเดียมเล็กน้อยประมาณ 0.01% โดยน้ำหนักก่อนที่จะทำการหล่อ ซึ่งจะมีผลทำให้จุด eutectic เลื่อนไปทางด้านขวาของแผนภูมิสมดุล คือ 14% ของซิลิกอน ซึ่งโซเดียมที่ใส่ลงไป กับการเปลี่ยนแปลงผลึกใหม่ของซิลิกอนจะขัดขวางและหน่วยเวลาการโตขึ้นของผลึก ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเย็นลงจะมีผลต่อจำนวนเม็ดเกรนที่มากขึ้นในโครงสร้าง eutectic โดยการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการเติมโซเดียมลงไปนั้นจะทำให้ความเค้น เพิ่มขึ้นจาก 120 N/mm^2 เป็น 200 N/mm^2 และการยืดตัวจะเพิ่มขึ้นจาก 5.0% เป็น เกินกว่า 15.0% ในความจริง อลูมิเนียมผสมหล่อจะมีส่วนผสมของของแข็งในจุด eutectic ประมาณ 90% ของโครงสร้าง จะมีผลทำให้โลหะหล่อนั้น เปราะอันเนื่องมาจากความเข้มข้นของ ซิลิกอน ในส่วนผสมมากขึ้นนั่นเอง

โลหะผสม อลูมิเนียม - ซิลิกอน เป็นวัสดุที่รู้จักกันดีสำหรับงานฉีดโลหะ และงานหล่ออื่นๆ ซึ่งจะแบ่งตามความต้องการ ตั้งแต่การฉีดด้วยความเร็วสูงถึงความเร็วต่ำถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว จะใช้วิธีใดแล้วแต่ความเหมาะสม คุณสมบัติในการเป็นไม่เป็นสนิมของโลหะผสมชนิดนี้จึงเหมาะสมในงานเกี่ยวกับทางน้ำ ทางทะเล และโลหะผสมนี้จะมีน้ำหนักเบากว่าโลหะผสม อลูมิเนียม - ทองแดง จึงมีความเหมาะสมในการนำไปทำเกี่ยวกับงาน ที่เกี่ยวกับทางอากาศและเครื่องยนต์

5. เครื่องมือวัดขนาด (VERNIER)
6. เครื่องวัดความละเอียดผิว
7. กระดาษทรายชนิดหยาบจนถึงละเอียดมาก
8. แบตเตอรี่สำรอง (UPS)

แบบ drawing แสดงรายละเอียดของเครื่องมือจะแสดงไว้ที่ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>วิธีการทดลอง</u>

1. นำชิ้นงานทดสอบมาทำการขัดผิวโดยกระดาษทรายโดยใช้เครื่องกลึงช่วย
   (ความละเอียดผิวที่วัดได้จากชิ้นงานที่ขัดแล้ว Ra = 0.422 μm Pc = 103.062 /cm Rt = 4.784 μm)
2. วัดขนาดชิ้นงานว่าตรงตามขนาดที่ต้องการหรือไม่และตรวจสอบว่ามีความบกพร่องหรือไม่
3. ติด Thermocouple คือตัววัดอุณหภูมิเข้ากับชิ้นงานแล้วประกอบชิ้นงานเข้ากับ coupling
4. จัดการตั้งค่าต่างๆของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น
   - อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ
   - เวลาการอุ่นชิ้นงาน
   - Load ที่ใช้ในการทดสอบ
   - Gaugelength (คือช่วงระยะบนชิ้นทดสอบที่เราสนใจจะวัดค่าที่จะเกิดการยืด)

   โดยที่โปรแกรมจะคำนวณพื้นที่หน้าตัด, ความเค้น และน้ำหนักที่ต้องใส่ให้
5. นำชิ้นทดสอบมาติดชุด Hot Coupling โดยขันน็อตให้พอแน่นโดยให้ระยะของ coupling บนและล่างมีระยะเท่ากับ Gaugelength ที่เราตั้งไว้
6. หมุน micrometer จนเกือบสุดระยะ (ก่อนสุดระยะสัก .1 นิ้ว) แล้วปรับค่าที่ AK1 SIGNAL เพื่อปรับค่าบันทึกของตัววัดระยะยืด (Extensometer) ให้อยู่ที่ศูนย์
7. แล้วปรับค่าสัญญาณกระตุ้นที่ AK1 SIGNAL เพื่อกระตุ้นค่าบันทึกของ Extensometer ให้มีค่าระยะที่ชิ้นทดสอบสามารถยืดตัวมากที่สุดที่เราจะตั้งไว้ (ระยะยืดตัวมากที่สุดคือ Maxtravel) เท่ากับ Strain voltage สูงสุดของเครื่องคือ 10 volts โดยใช้ไมโครมิเตอร์ช่วย
8. เปิดเตาอุ่นชิ้นงานจนได้อุณหภูมิทดสอบ
9. ใส่ load แก่ชิ้นงานตามที่ได้คำนวณไว้ โดยมีอัตราส่วนน้ำหนักที่ใส่ ต่อน้ำหนักที่ไปดึงชิ้นงาน = 1 : 16 แล้วทำการปรับให้สมดุล โดยใช้มอเตอร์เลื่อนขึ้นหรือลง
10. เริ่มทำการทดสอบ โดยการตั้งตัวจับเวลาให้เป็นศูนย์ โดยจะหยุดเมื่อชิ้นงานทดสอบขาด
11. โปรแกรมจะทำการบันทึกผลการทดลอง โดยจะนำข้อมูลที่ได้ คือ เปอร์เซนต์ความเครียด (%strains) และเวลา (time) มา plot เป็นกราฟ ระหว่าง ความเครียดกับเวลา
12. นำค่า slop ที่ได้จากกราฟ ความเครียดกับเวลา มา plot เป็นกราฟ Minimum rate of extension กับ Stress
13. และนำข้อมูลเวลาในการขาดของชิ้นงาน และค่า stress มา plot เป็นกราฟ ระหว่าง ความเค้น (Stress) กับ Rupture time

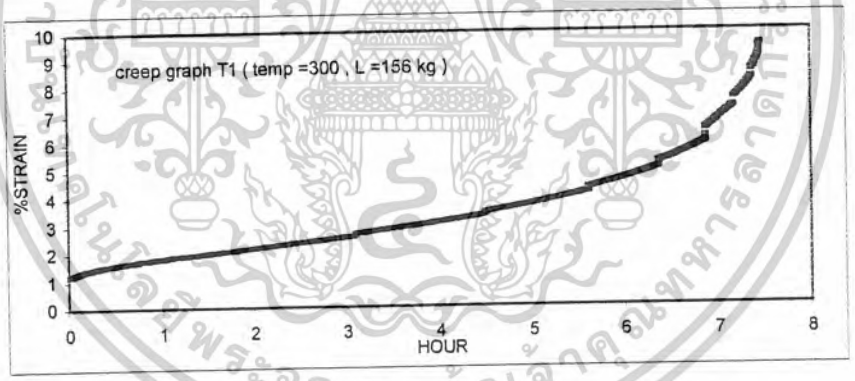
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ผลการทดลองและการประมวลผล

ผลการทดลองที่ได้จะมีช่วงอุณหภูมิที่ทดลองอยู่ 3 ช่วง คือ 300 , 325 และ 350 °c ในผลการทดลองนี้มีข้อมูลที่จดบันทึกไว้สำหรับเซทเครื่องเพื่อให้เป็นประโยชน์และเป็นข้อสังเกต แก่ผู้ที่จะทดลองต่อไปโดยอาจทำการทดลองใหม่บางส่วนที่มีความผิดพลาด มีผลสรุปรายชิ้นที่มี ความผิดพลาด และมีผลที่จะนำไปใช้ เพื่อนำไปสร้างกราฟตามจุดประสงค์ตามบทนำคือ Minim um creep rate (Mcr) และ rupture time (RT)

Experiment data T=300 °c



T1 (Test at 300°c , stress = 54.178 Mpa (set weight = 156 kg) , machine no.1)

set data gaugelength = 25.4 mm (1") maxtravel = 6.35 mm(.25") AK-1signal = 247.7

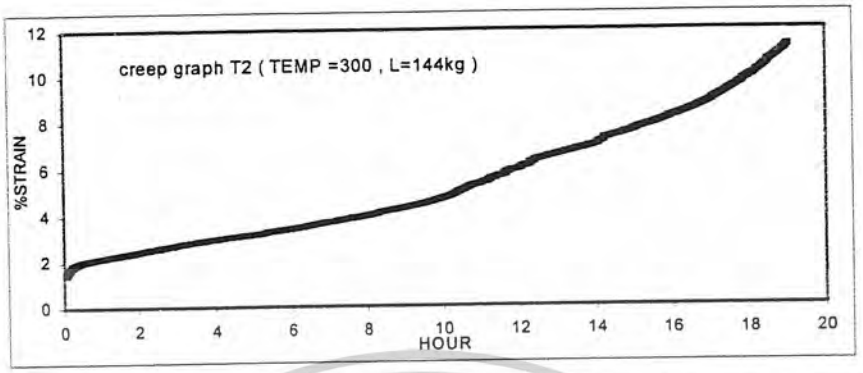
machine temperature (of setting) 285 285 285 (top middle bottom)

real temperature (look at computer) 311 311 320

use data Mcr = 0.37748 %strain/hr RT = 7.53 hours

สรุป การควบคุมอุณหภูมิจริงๆจากการตั้งค่าบนเครื่องยังมีช่วงอุณหภูมิที่เกินมากถึง 11°c คือ เรียกได้ว่าชิ้นนี้ทดสอบที่อุณหภูมิ เฉลี่ย 311 °c (ไม่ควรเฉลี่ยเกิน ±5°c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



T2 (Test at 300°c , stress = 50 Mpa (set weight = 144 kg) , machine no.2)

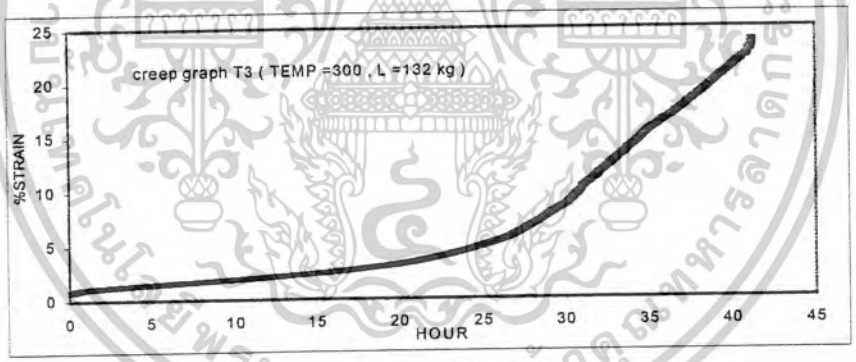
set data gaugelength = 25.4 mm(1") maxtravel = 6.35 mm(.25") AK-1signal = 247.58

machine temperature 285 285 285 (top middle bottom)

real temperature 318 311 326

use data Mcr = 0.254966 %strain/hr RT = 19.05 hours

สรุป อุณหภูมิ เฉลี่ยจริงในเตาสูงถึง 318 °c



T3 (Test at 300°c , stress = 45.84 Mpa (set weight = 132 kg) , machine no.1)

set data gaugelength = 25.4 mm(1") maxtravel = 6.35 mm(.25") AK-1signal = 248.4

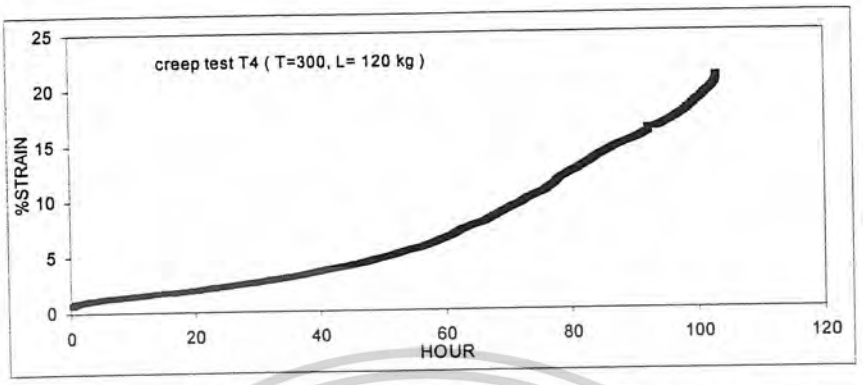
machine temperature 285 285 285 (top middle bottom)

real temperature 321 307 318

use data Mcr = 0.0945738 %strain/hr RT = 41.1 hours

สรุป อุณหภูมิ เฉลี่ยจริงในเตาสูงถึง 318 °c และมีการเลื่อนของ hot coupling ที่เชื่อมต่อไปยังตัววัดระยะยืดด้วย (เนื่องจากยึดด้วย น็อตไม่แน่น) จากกราฟ %strainmax = 23.8 % แต่ไปวัดจริงที่ตำแน่งแรกที่ coupling กดยึดชิ้นงานคำนวณดูได้ %strain = 11-12 % เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



T4 (Test at 300°c , stress = 41.67 Mpa (set weight = 120 kg) , machine no.2)

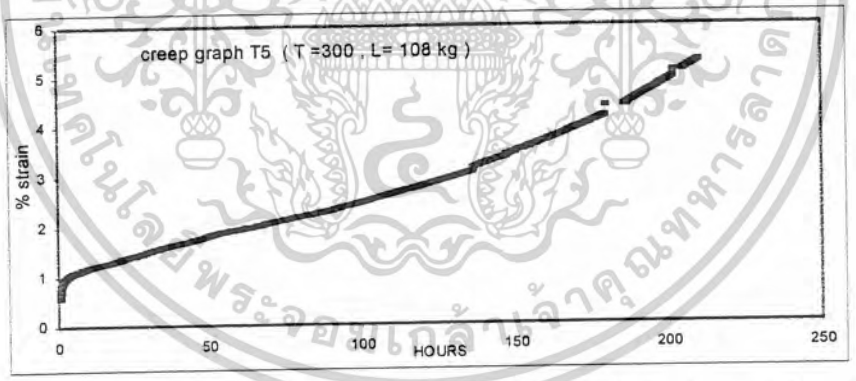
set data gaugelength = 25.4 mm(1") maxtravel = 6.35 mm(.25") AK-1signal = 247.75

machine temperature 285 285 285 (top middle bottom)

real temperature 317 313 314

use data Mcr = 0.0534599 %strain/hr RT = 102.67 hours

สรุป อุณหภูมิ เฉลี่ยจริงในเตาสูงถึง 314 °c และมีการเลื่อนของ hot coupling ด้วย จากกราฟ %strainmax = 21.1 % วัดจริงได้ %strain = 9 % เอง



T5 (Test at 300°c , stress = 37.5 Mpa (set weight = 108 kg) , machine no.3)

set data gaugelength = 25.4 mm(1") maxtravel = 6.35 mm(.25") AK-1signal = 245.4

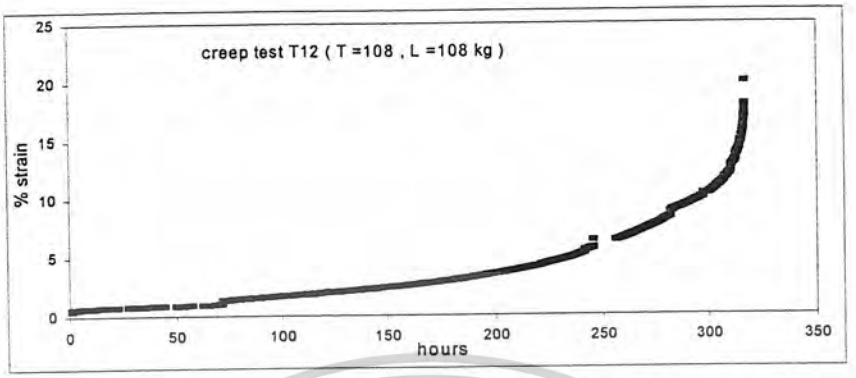
machine temperature 290 290 290 (top middle bottom)

real temperature 305 to 310

use data Mcr = 0.014914 %strain/hr RT = 267.15 hours

สรุป อุณหภูมิ เฉลี่ยจริงในเตาสูงถึง 307 °c และข้อมูลช่วงหลังหายไปอาจเป็นเพราะโปรแกรมอาจลงไว้ไม่ดีนักหรืออาจจะเป็นที่ต้องเปิดเครื่องคอมทิ้งไว้ตลอดจึงอาจมีการค้างบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



T12 (Test at 300°c , stress = 37.5 Mpa (set weight = 108 kg) , machine no.3)

set data gaugelength = 25.4 mm(1") maxtravel = 6.35 mm(.25") AK-1signal = 245.6

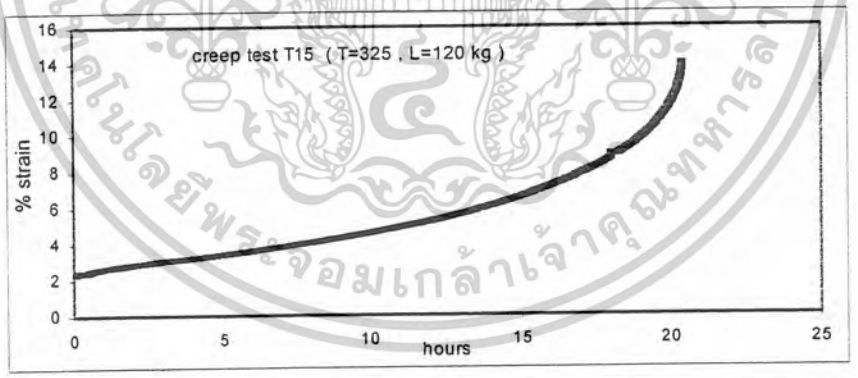
machine temperature 282 282 282 (top middle bottom)

real temperature 303 305 305

use data Mcr = 0.01125945 %strain/hr RT = 315.25 hours

สรุป มีการยืดตัวจริง 14.5 % แต่จากกราฟ %strainmax ก่อนขาด = 18% เนื่องจากมีการเลื่อนของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน คือ hot coupling เพราะการไขน็อตไม่แน่นพอ

Experiment data T=325 °c



T15 (Test at 325°c , stress = 41.67 Mpa (set weight = 120 kg) , machine no.3)

set data gaugelength = 17.78 mm(.7") maxtravel = 6.35 mm(.25") AK-1signal = 242.1

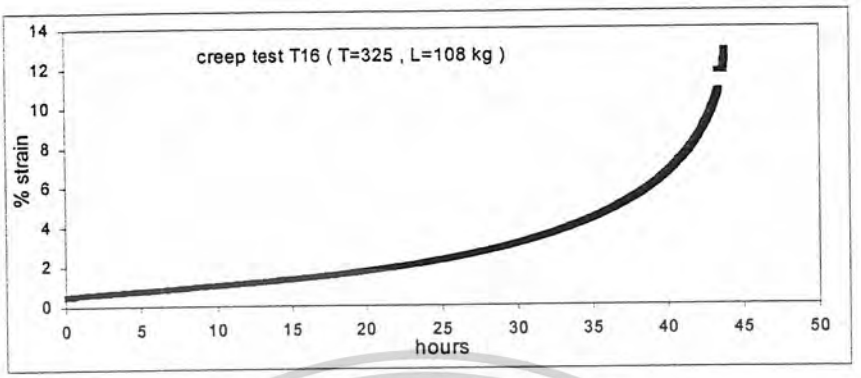
machine temperature 301 301 301 (top middle bottom)

real temperature 323 336 326

use data Mcr = 0.22694827 %strain/hr RT = 20.51 hours

สรุป ปรกติสมบูรณ์ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



T16 (Test at 300°c , stress = 37.5 Mpa (set weight = 108 kg) , machine no.3)

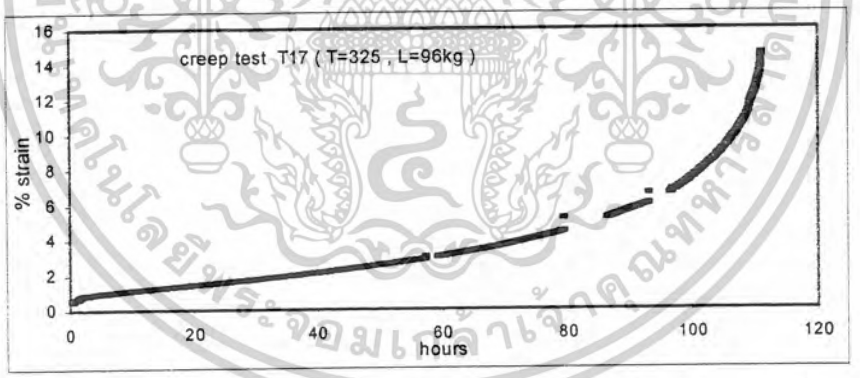
set data gaugelength = 25.4 mm(1") maxtravel = 6.35 mm(.25") AK-1signal = 244.5

machine temperature 303 303 303 (top middle bottom)

real temperature 337 328 323

use data Mcr = 0.058782195 %strain/hr RT = 43.84 hours

สรุป ปรกติสมบูรณ์ดี



T17 (Test at 325°c , stress = 33.34 Mpa (set weight = 96 kg) , machine no.3)

set data gaugelength = 25.4 mm(1") maxtravel = 6.35 mm(.25") AK-1signal = 247.6

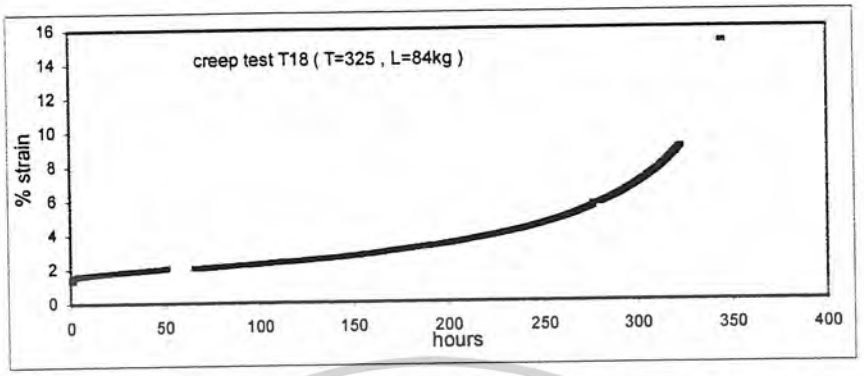
machine temperature 303 303 304 (top middle bottom)

real temperature 330 329 325

use data Mcr = 0.03342817 %strain/hr RT = 110.83 hours

สรุป ปรกติสมบูรณ์ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



T18 (Test at 325°c , stress = 29.17 Mpa (set weight = 84 kg) , machine no.3)

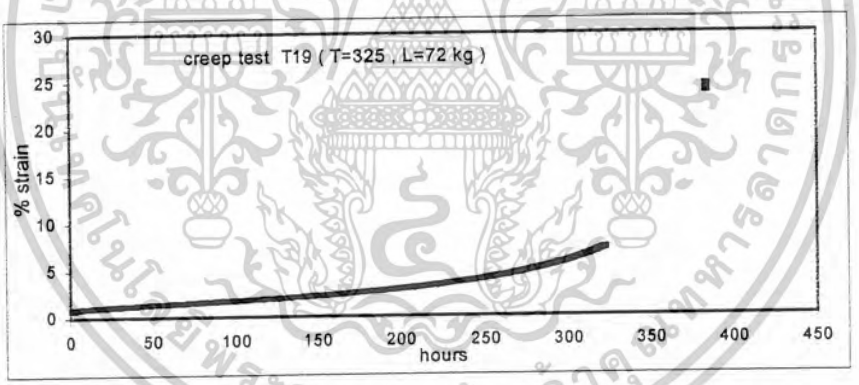
set data gaugelength = 25.4 mm(1") maxtravel = 6.35 mm(.25") AK-1signal = 243

machine temperature - - - (top middle bottom)

real temperature - - - forget to note

use data Mcr =0.007447879 %strain/hr RT = 344.18 hours

สรุป มีช่วงที่คอมไม่ได้บันทึก แต่ค่าอื่น ๆ คงปรกติดีเพราะเป็นการทดลองช่วงหลัง



T19 (Test at 325°c , stress = 25 Mpa (set weight = 72 kg) , machine no.1)

set data gaugelength = 25.4 mm(1") maxtravel = 6.35 mm(.25") AK-1signal = 246.8

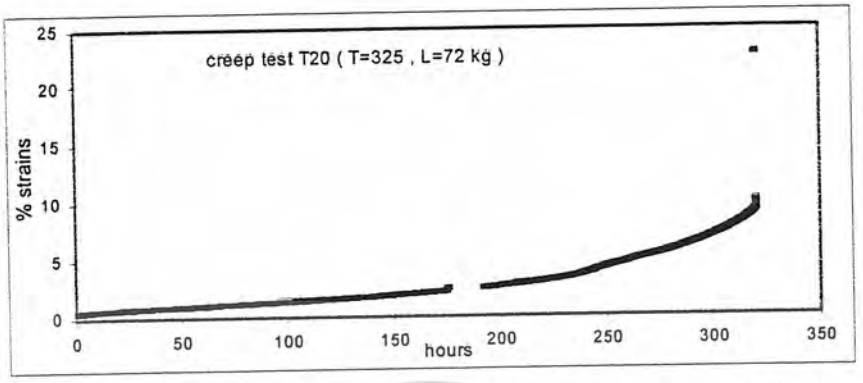
machine temperature - - - (top middle bottom)

real temperature - - - forget to note

use data Mcr = 0.008762015 %strain/hr RT = 383.51 hours

สรุป มีข้อสังเกตว่าเวลาที่แตกหักน้อยไปถ้าเราดู T18 แล้ว T19 ควรจะมากกว่านี้เป็น 600 hrขึ้นไป และ%strain ที่ยืดตัวจริง(จากการวัดที่ชิ้นงาน)มีค่าใกล้เคียงกับที่กราฟ คือประมาณ 22% ซึ่งมากกว่าชิ้นอื่น ๆ และมีปัญหาคือมีช่วงที่คอมไม่ได้บันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



T20 (Test at 325°c , stress = 25 Mpa (set weight = 72 kg) , machine no.1)

set data gaugelength = 25.4 mm(1") maxtravel = 8.89 mm(.35") AK-1signal = 340.5

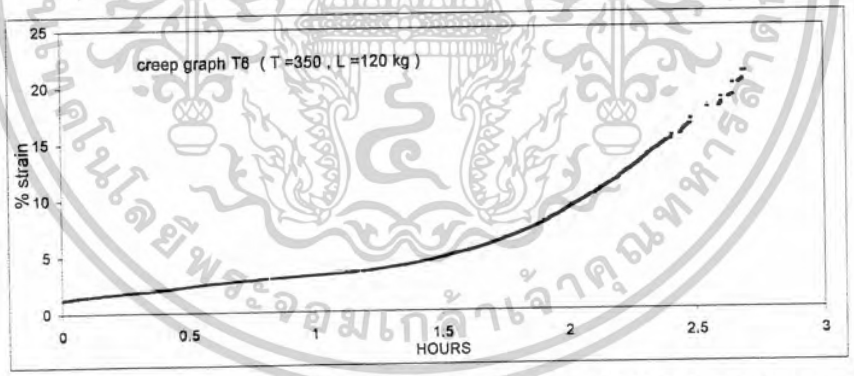
machine temperature 300 300 300 (top middle bottom)

real temperature 329 329 327

use data Mcr = 0.008454 %strain/hr RT = 319.1602 hours

สรุป ปรกติสมบูรณ์ดี

Experiment data T=350 celcius



T6 (Test at 350°c , stress = 41.67 Mpa (set weight = 120 kg) , machine no.2)

set data gaugelength = 25.4 mm(1") maxtravel = 8.89 mm(.35") AK-1signal = 323.7

machine temperature 325 320 320 (top middle bottom)

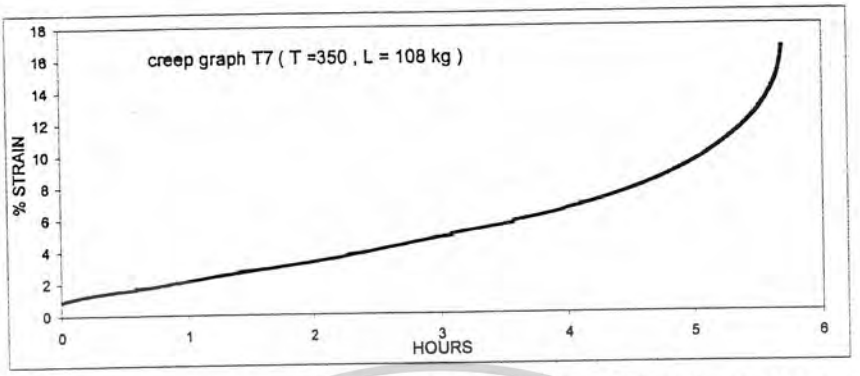
real temperature ~ 360.....

use data Mcr = 1.944157 %strain/hr RT = 2.79 hours

สรุป อุณหภูมิ เฉลี่ยจริงในเตาสูงถึง 360 °c และมีการเลื่อนของ hot coupling ด้วย

จากกราฟ %strainmax = 21.4 % วัดจริงได้ %strain = 8 % เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



T7 (Test at 350°c , stress = 37.5 Mpa (set weight = 108 kg) , machine no.3)

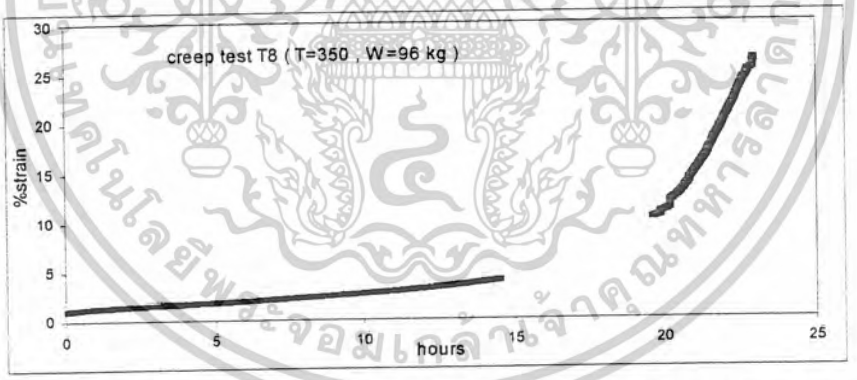
set data gaugelength = 25.4 mm(1") maxtravel = 8.89 mm(.35") AK-1signal = 327.4

machine temperature 330 330 330 (top middle bottom)

real temperature ~ 360.....

use data Mcr = 1.2069 %strain/hr RT = 5.78 hours

สรุป อุณหภูมิ เฉลี่ยจริงในเตาสูงถึง 360 °c %strain max มีค่าเป็นใกล้กับที่วัดจริง =15.5 %



T8 (Test at 350°c , stress = 33.34 Mpa (set weight = 96 kg) , machine no.1)

set data gaugelength = 25.4 mm(1") maxtravel = 8.89 mm(.35") AK-1signal = 322

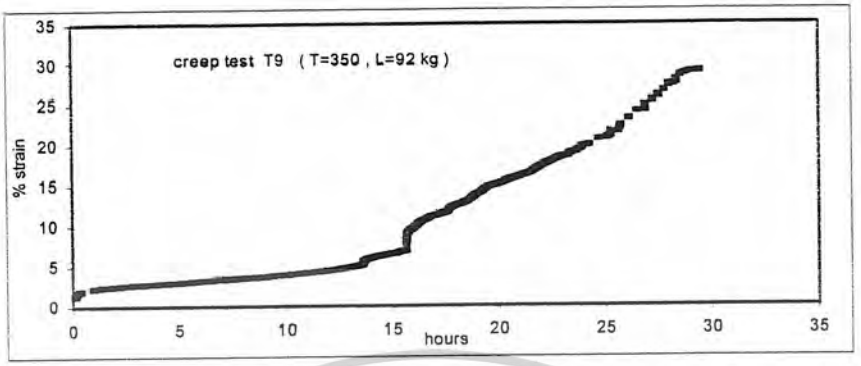
machine temperature 316 316 316 (top middle bottom)

real temperature 360 336 356

use data Mcr = 0.133538 %strain/hr RT = 22.8772 hours

สรุป อุณหภูมิ เฉลี่ยจริงในเตาสูงถึง 358 °c %การยืดตัวจริง ๆ ที่วัดได้เพียงแค่ 11% จากที่กราฟ 24.7 % และมีช่วงที่คอมไม่ได้บันทึกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



T9 (Test at 350°c , stress = 31.95 Mpa (set weight = 92 kg) , machine no.2)

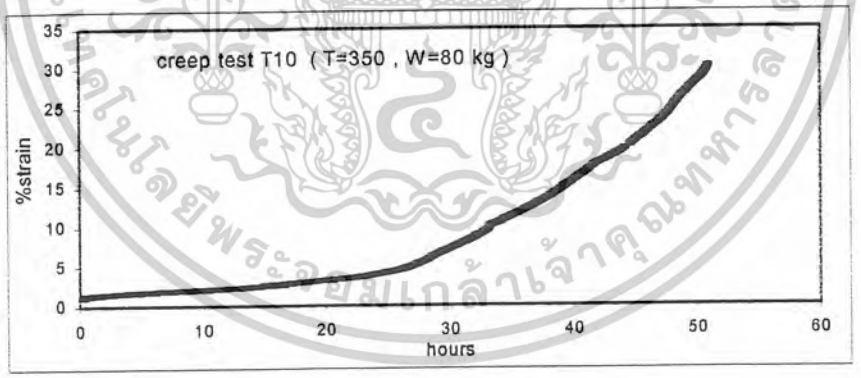
set data gaugelength = 25.4 mm(1") maxtravel = 8.89 mm(.35") AK-1signal = 346.6

machine temperature 325 325 325 (top middle bottom)

real temperature 350 358 350

use data Mcr = 0.17875689 %strain/hr RT = 29.45 hours

สรุป กราฟมีความผิดปรกติมาก %การยืดตัวจริง ๆ วัดได้จากชิ้นงาน 24-26 % ถ้ารวมระยะที่ coupling เลื่อนด้วย %การยืดตัวที่เกิดขึ้นจริง = 40% เป็นเพราะยึดชิ้นงานไม่แน่น



T10 (Test at 350°c , stress = 27.78 Mpa (set weight = 80 kg) , machine no.1)

set data gaugelength = 17.78 mm(.7") maxtravel = 6.35 mm(.25") AK-1signal = 258

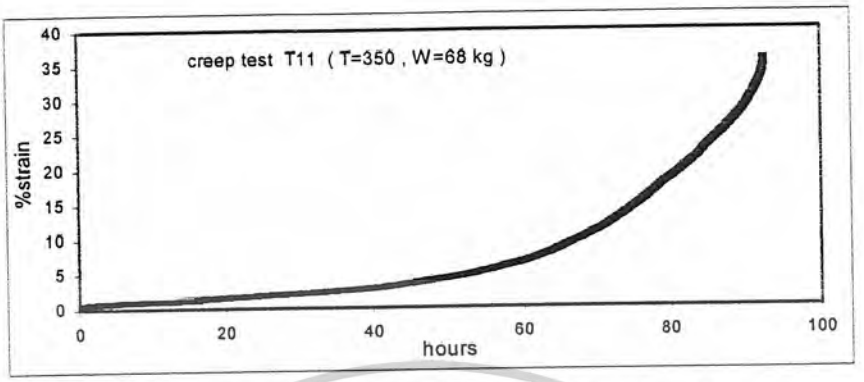
machine temperature 320 319 318 (top middle bottom)

real temperature 351 350 357

use data Mcr = 0.080058 %strain/hr RT = 50.82 hours

สรุป %การยืดตัวจริง ๆ ที่วัดได้เพียงแค่ 8.5% จากที่กราฟมี %strain สูงถึง 30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



T11 (Test at 350°c , stress = 23.62 Mpa (set weight = 68 kg) , machine no.2)

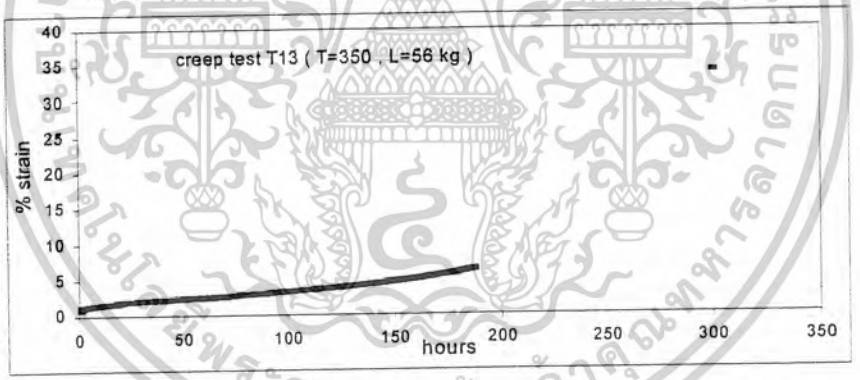
set data gaugelength = 17.78 mm(.7") maxtravel = 6.35 mm(.25") AK-1signal =258.4

machine temperature 335 335 335 (top middle bottom)

real temperature 353 360 350

use data Mcr = 0.04655037 %strain/hr RT = 92.35 hours

สรุป %การยืดตัวจริง ๆ คือ 11% จากที่กราฟมี %strain สูงถึง 36%



T13 (Test at 350°c , stress = 19.45 Mpa (set weight = 56 kg) , machine no.1)

set data gaugelength = 17.78 mm(.7") maxtravel = 6.35 mm(.25") AK-1signal = -

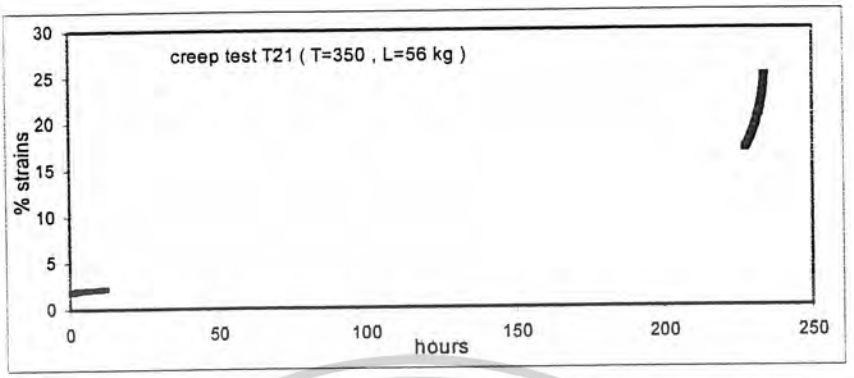
machine temperature 323 322 324 (top middle bottom)

real temperature 355 350 359 , 356 342 351

use data Mcr = 0.01639148 %strain/hr RT = 199.67 hours

สรุป อุณหภูมิในเตามีการผันแปรมาก เนื่องจากน็อตในปลั๊กของthermo couple หลวมหรือไม่ก็ยึดสายของมันกับชิ้นงานไม่ดี และการบันทึกผลของคอมไม่ต่อเนื่อง และ%strainmax = 35% แต่วัดจริงได้ = 22.71%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



T21 (Test at 350°c , stress = 19.45 Mpa (set weight = 56 kg) , machine no.3)

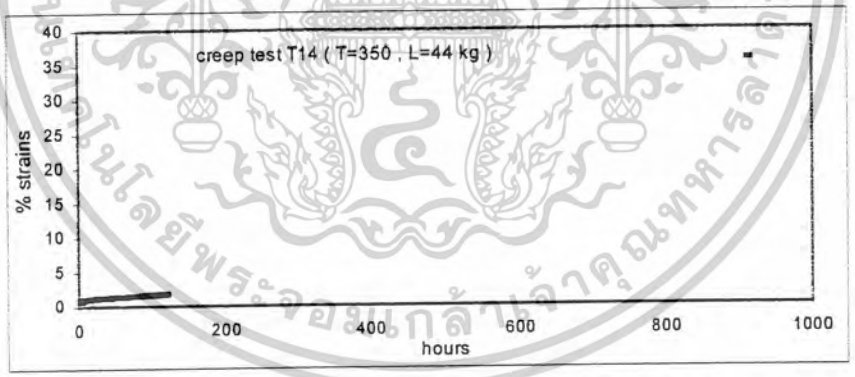
set data gaugelength = 25.4 mm(1") maxtravel = 6.35 mm(.25") AK-1signal = 245.8

machine temperature 330 332 332 (top middle bottom)

real temperature 370 352 350

use data Mcr = 0.019552012 %strain/hr RT = 244.37 hours

สรุป อุณหภูมิในเตาบนสูง เกิดจากการมัดสาย thermocouple ติดกับชิ้นงานไม่ดี (หลวม) การบันทึกผลของคอมขาดช่วงเกือบหมด เวลาการแตกหักควรประมาณ 300-400 hr และมีการเลื่อนตัวของ hot coupling ด้วย ทำให้มี %strain มากกว่าปรกติ



T14 (Test at 350°c , stress = 15.28 Mpa (set weight = 44 kg) , machine no.2)

set data gaugelength = 17.78 mm(.7") maxtravel = 6.35 mm(.25") AK-1signal = -

machine temperature 332 330 332 (top middle bottom)

real temperature 351 359 354

use data Mcr = 0.0058061 %strain/hr RT = 911.18 hours

สรุป การบันทึกผลของคอมขาดช่วงเกือบหมด เวลาของการแตกหักค่อนข้างนานกว่าปรกติที่คาดไว้(คาดไว้ประมาณ 600 ถึง 800 hr) และ %strainmax = 33.42% แต่วัดจริงได้เพียง = 13.57%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>การประมวลผล</u>

นำข้อมูลทั้งหมดของ minimum creep rate (Mcr) มาหากราฟ mimnimu m creep rate กับความเค้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยจะหาเส้นกราฟที่เหมาะสมที่ตัดผ่านข้อมูลได้ดีที่สุด โดยใช้วิธี least square ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของสมการ

$$S = a^*(Mcr + b)^m \quad \text{เป็น}$$

$$\ln(S) = m^* \ln(Mcr + b) + \ln(a) \qquad \text{--------(1)}$$

โดยตัวแปร ln(a) ; ค่าคงที่ที่จะต้องหา

m ; ความชันของกราฟ ในการพล็อตสเกลแบบ log เป็นค่าคงที่ที่จะต้องหา

Mcr ; Minimu m creep rate (%strains/hours)

S ; ค่าความเค้นที่ทดสอบ (N/mm^2 หรือ Mpa)

b ; ค่าคงที่เราเลือกใส่ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้มีโค้งหักมุมของกราฟ

ถ้าข้อมูลทั้งหมดในแต่ละอุณหภูมิ มี N ข้อมูล ก็จะได้สมการ (1) N สมการและนำมาบวกกัน โดยเขียนได้เป็น

$$\sum \ln(S) = m^* \sum \ln(Mcr + b) + N^* \ln(a) \qquad \text{--------(2)}$$

เอา (1)*ln(Mcr + b) ตลอดสมการแล้วใส่ $\sum$ เข้าไป

$$(\ln(S))^* \ln(Mcr + b) = m^*(\ln(Mcr + b))^2 + (\ln(a))^* \ln(Mcr + b)$$

$$\sum[(\ln(S))^* \ln(Mcr + b)] = m^* \sum(\ln(Mcr + b))^2 + (\ln(a))^* \sum \ln(Mcr + b) \text{ –(3)}$$

นำเอาข้อมูลที่ได้แทนลงในสมการ (2) , (3) แล้วหาค่าคงที่ m , ln(a) จะได้สมการ

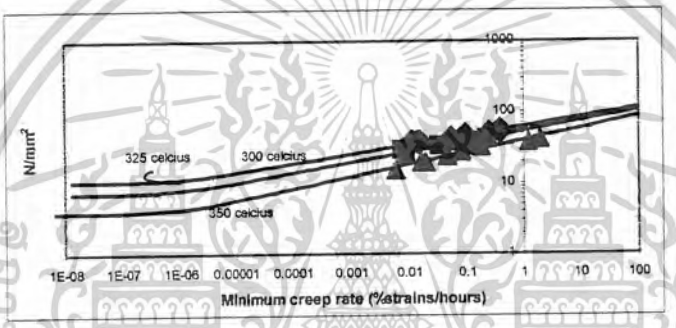
$$T=300^\circ c \; ; S = e^{(0.13^*\ln(mcr+0.000001)+1.857960)}$$

$$T=325^\circ c \; ; S = e^{(0.14526515^*\ln(mcr+0.000001)+1.69872111)}$$

$$T=350^\circ c \; ; S = e^{(0.169695^*\ln(mcr+0.000001)+1.40169627)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จริง ๆ แล้วที่อุณหภูมิ 300 ค่า m หรือ ค่าความชันใน log- log plot นั้นหาได้เท่ากับ 0.104749319 แต่เมื่อนำไปพล็อทกราฟรวมกันทั้ง 3 เส้นจะมีการตัดกับเส้นที่อุณหภูมิ 325° c ที่บริเวณ minimu m creep rate สูง ๆ ประมาณ 1-10 %strains/hours เนื่องจากเหตุผลทางข้อมูลของการเซทอุณหภูมิมีความผิดพลาด (อ่านดูได้ในตอนสรุปผล) จึงต้องทำการปรับแต่งกราฟโดยให้ค่า m = 0.13 ตามปรกติแล้วค่า m ของทุกอุณหภูมิ ควรจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากหรือเกือบเท่ากันตามที่เคยมีผู้วิจัยมาแล้ว ส่วนค่า b เป็นค่าที่เลือกใส่เข้าไปเพื่อให้มีส่วนหักโค้งของกราฟตามความเป็นจริงตามธรรมชาติของวัสดุดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 11 แสดงให้เห็นว่า กราฟ minimu m creep rate กับ stress ที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีการหักมุมตามธรรมชาติโดยที่ที่อุณหภูมิหนึ่งจะมีค่าความเค้นต่ำสุดที่ทำให้ไม่เกิดการคืบขึ้นได้

จากสมการที่หาได้ข้างบนค่า b ที่เลือกใส่เข้าไปนั้นคือ 10^{-6} หมายถึงให้กราฟเริ่มลู่เข้าหาความเค้นค่าหนึ่งในแต่ละอุณหภูมิโดยเริ่มเข้าลู่ที่ Mcr = 10^{-6} ถ้าเรามีข้อมูลมากกว่านี้ก็จะสามารถหาแนวโน้มของค่า b ได้ แต่ในที่นี้ค่า b ไม่จำเป็นนักสามารถตัดทิ้งได้โดยให้ b = 0 ได้ โดยสรุปแสดงผลของกราฟนี้ใน ถัดไปใน รูปที่ 12

ส่วนกราฟของ rupture time กับ stress ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ก็หาได้ในทำนองเดียวกัน แต่ไม่สามารถใช้ค่า b ในสมการพื้นฐานให้มีกราฟหักมุมที่เวลาแตกหักเข้าใกล้อินฟินิตี้ได้ เพื่อลู่เข้าความเค้นค่าหนึ่งที่ทำให้อายุการใช้งานที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ใช้งานได้ตลอดไปโดยไม่มีการแตกหัก ถ้าจะหาต้องประยุกต์สมการมากกว่านี้ ในที่นี้จะตัดแฟกเตอร์ตัวนี้ทิ้ง จะได้สมการโดยสรุปของกราฟดังกล่าวดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T= 300^\circ c \ ; S = e^{(-0.13*\ln(Rh)+1.927109162)}$$

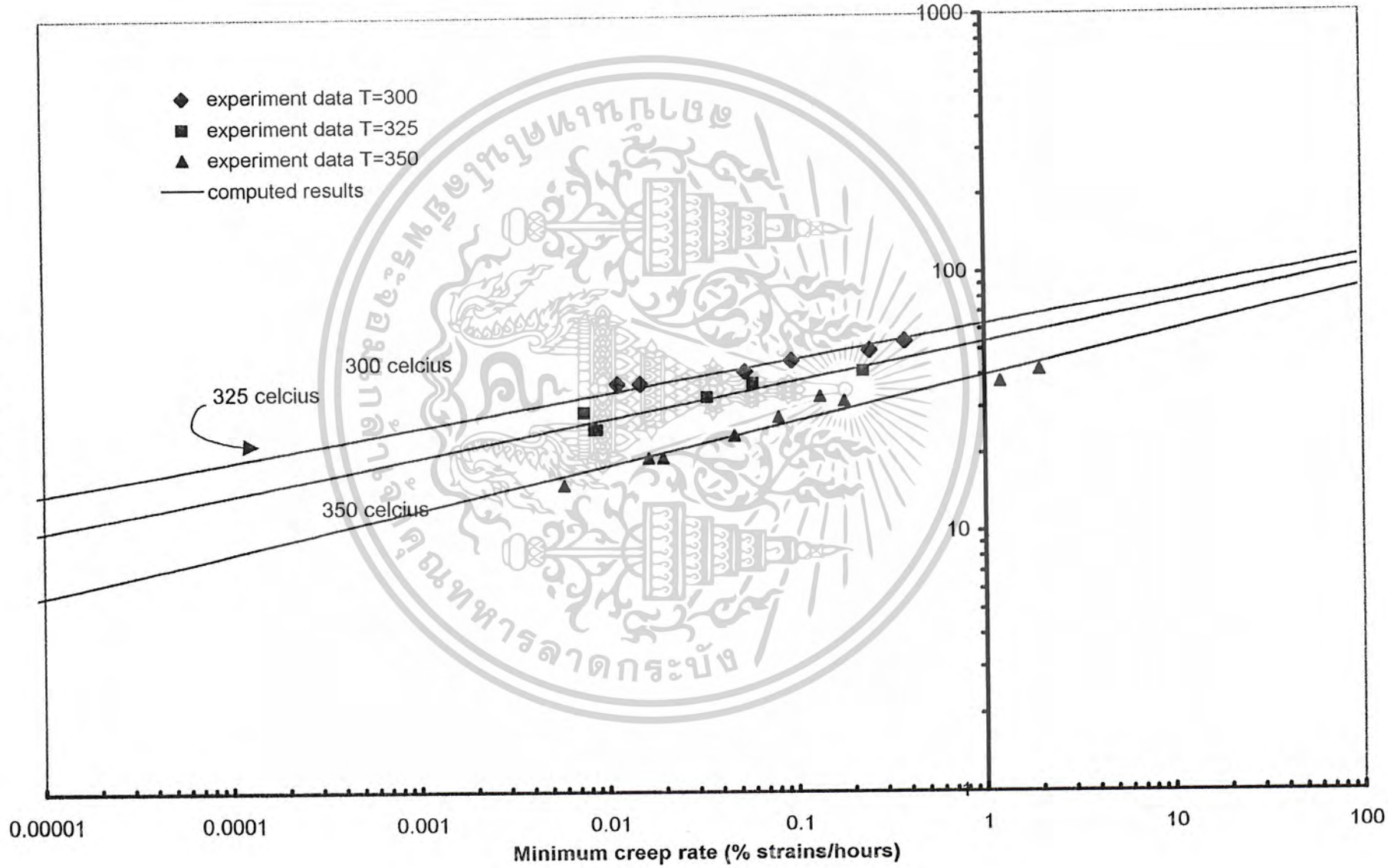
$$T= 325^\circ c \ ; S = e^{(-0.165578*\ln(Rh)+1.965187838)}$$

$$T= 350^\circ c \ ; S = e^{(-0.177889124*\ln(Rh)+1.699383688)}$$

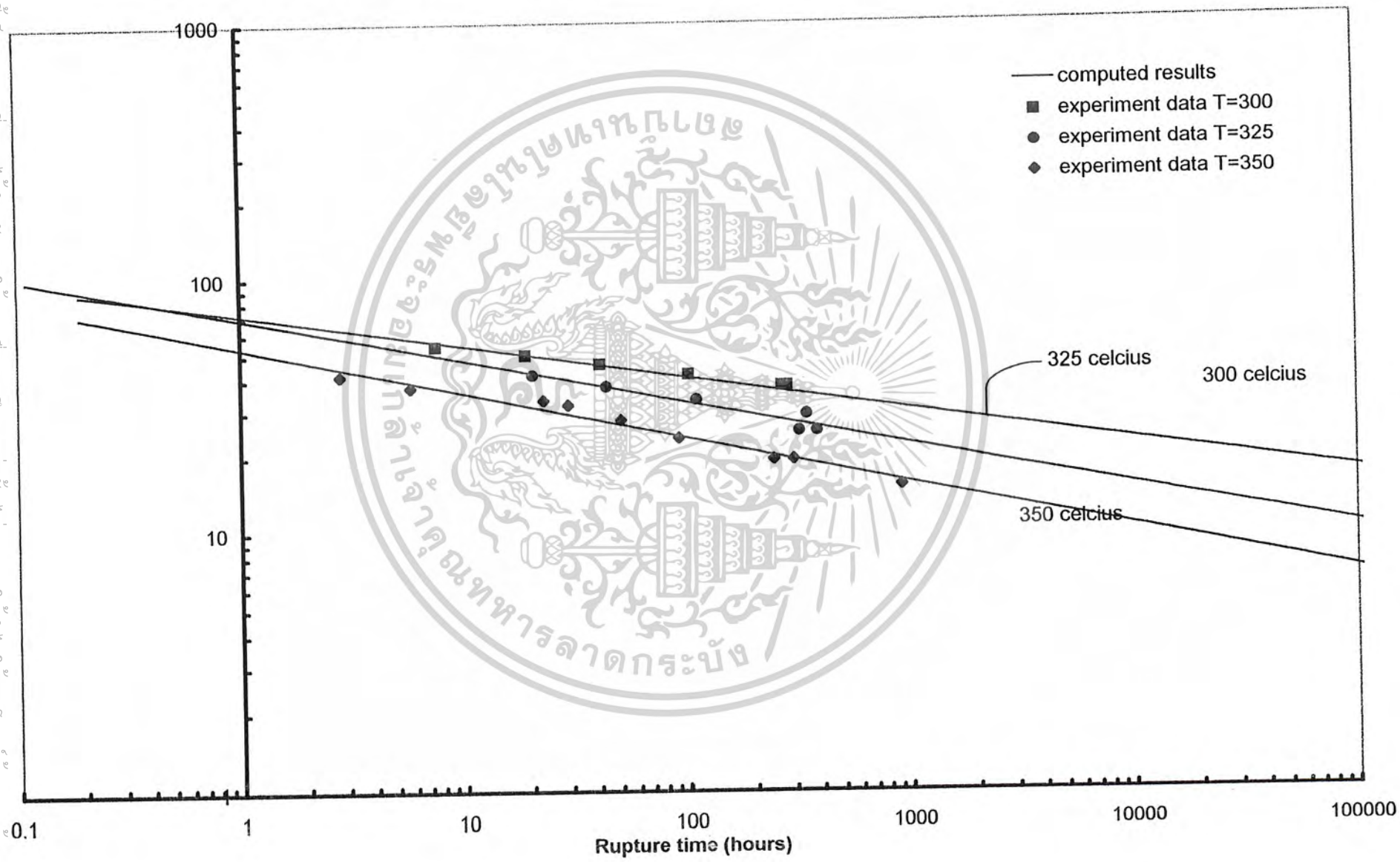
ซึ่ง ค่า m ที่ T= 300° c ถูกปรับแต่งจาก -0.103823035 เป็น -0.13 ด้วยเพื่อความเหมาะสมและสามารถ plot เป็น กราฟ ได้ในหน้าถัดไปรูปที่ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 12 กราฟ mimnimu m creep rate กับ stress ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของ Alumin um Alloys AC8A-F



รูปที่ 13 กราฟของ rupture time กับ stress ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของ Alumin um Alloys AC8A-F



บทที่ 4

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

กราฟที่ได้จากการทดลองและประมวลผล คือกราฟระหว่างความเค้นกับ minimum creep rate ที่อุณหภูมิต่างๆ และกราฟระหว่างความเค้นกับชั่วโมงแตกหักที่อุณหภูมิต่าง ๆ สามารถนำไปใช้ เป็นวัสดุตัวเลือกในการออกแบบอุปกรณ์ที่ทำงานที่อุณหภูมิสูงได้ โดยเป็นวัสดุ อลูมิเนียมผสม AC8A-F แต่ยังมีข้อผิดพลาด และข้อปรับปรุงอยู่หลายข้อ คือ

1. ข้อมูลการทดลองยังน้อยไปในแต่ละช่วงอุณหภูมิ ควรมีการทดลองที่ความเค้นและอุณห ภูมิเดิมซ้ำๆกันอย่างน้อย 3-4 ครั้ง เพื่อให้มีความแน่นอนของข้อมูลมากขึ้น และ ควรทำการทดลองให้มีค่าความเค้นให้ต่าง ๆ มากขึ้นในแต่ละอุณหภูมิ จะทำให้การประมาณค่าในช่วงอื่น ๆ ของข้อมูลใกล้เคียงความจริงขึ้น

2. ในช่วงอุณหภูมิ 300° c ที่ถูกทดลองนั้นมีความผิดพลาดในการเซทอุณหภูมิที่ 300 ° c ชิ้นทดสอบเกือบทั้งหมดในอุณหภูมินี้ถูกตั้งให้ทดลองที่อุณหภูมิเกิน 305° c มาก เช่น บางชิ้นทดสอบถูกทดลองในอุณหภูมิ 307° c บางชิ้นอยู่ที่ 314° c เนื่องจากความไม่ชำนาญของผู้ทดลองในการเซ็ทเครื่องในระยะแรก ๆ ทำให้ข้อมูลดังกล่าวมีความไม่แน่นอนอยู่มาก

3. ในแง่ของเวลาที่เราจะทำการทดลองว่าชิ้นสุดท้ายในแต่ละอุณหภูมิควรทำการทดลองนานเท่าไหร่นั้นไม่ได้มีกำหนดไว้ แต่ที่คิดไว้ควรอยู่ในราว ๆ 1500-1800 ชั่วโมง แต่ที่ทดลองได้สูงสุดประมาณ 900 ชั่วโมงเอง

4. ในการทดลองควรมีการทดลองที่ minimum creep rate ต่ำ ๆ ที่ 10^{-5} สัก 1 ข้อมูลต่อ 1 ช่วงอุณหภูมิ เพื่อที่จะสามารถประมาณค่าคร่าวๆ ของ minimium creep rate ที่ 10^{-5} ได้ และกราฟที่สร้างขึ้นจากข้อมูลเหล่านี้จะถูกต้องมากขึ้น โดยวิธีการทดลองดังนี้
   - การหา minimum creep rate ที่ 10^{-5} ควรหาเป็นข้อมูลสุดท้ายของแต่ละอุณหภูมิทดลอง เพื่อที่จะหาแนวโน้มของ load หรือความเค้นที่ทำกับชิ้นทดสอบ ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ minimum creep rate เข้าใกล้ 10^{-5} โดยการสมมติ load ที่ทำให้ minimium creep rate ต่ำกว่าที่ทดลองได้ในช่วงอุณหภูมินั้น แล้วทำการทดลอง

- รอให้การทดลองมีข้อมูลการทดลองที่ถูกบันทึกข้อมูลโดยคอมพิวเตอร์ให้นานประมาณ 1000-1500 ชั่วโมง (เดือนครึ่งถึง 2 เดือน) แล้ว load เอาข้อมูลที่มีอยู่มาทำกราฟ creep curve เพื่อหาขนาดของ minimum creep rate คร่าวๆ อาจได้ข้อมูล minimum creep rate อยู่ที่ 10^{-4} ก็ถือว่าใช้ได้และนำข้อมูลของ minimum creep rate ดังกล่าวไปรวมกับข้อมูลในช่วงอุณหภูมินั้นเพื่อสร้างกราฟจะทำให้แนวโน้มของกราฟมีความเป็นจริงมากขึ้น
- สามารถนำข้อมูลของ minimum creep rateนั้น ไปคำนวณคร่าว ๆ หาชั่วโมงการแตกหักได้ แต่ในการนำข้อมูลเข้าไปใส่เพื่อสร้างกราฟต้องเอาไปเปรียบเทียบ กับไม่นำข้อมูลเข้าไปใส่ดูว่ามีความผิดพลาดมากแค่ไหนควรจะใส่เข้า ไปหรือไม่ เพราะเป็นแค่การคำนวณคร่าวๆเท่านั้น

ตามปกติในการออกแบบควรใช้ minimum creep rate ที่ 10^{-5} % stains/hr. ตามหลักการของการออกแบบชิ้นอุปกรณ์ที่ทำงานในอุณหภูมิสูง แต่ถ้าอุปกรณ์นั้นต้อง เปิดปิด ๆ บ่อย ๆ พฤติกรรมการคืบของวัสดุจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย ซึ่งจะเรียก creep (การคืบ) แบบนี้ว่า Cyclic Creep ดัง creep curve ดังรูปข้างล่างนี้

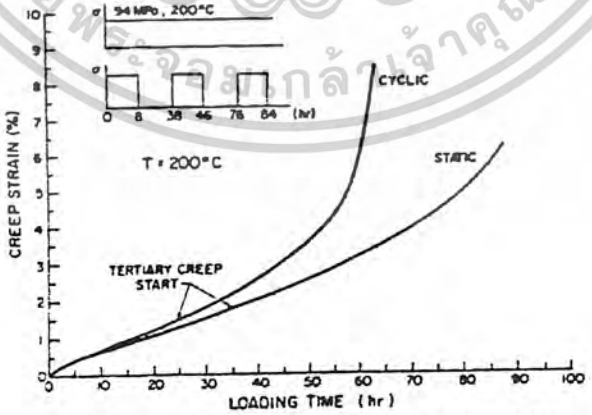


Fig. 1 Creep strain curves under constant and cyclic loadings

Cyclic Creep มีลักษณะสำคัญคือจะมีเวลาในการแตกหักหรือขาดสั้นกว่า creep ที่อุณหภูมิเดียวกันได้รับความเค้นเท่ากันแต่ cyclic creep จะได้รับ load คงที่เป็นช่วง ๆ ของเวลา ค่าของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Minimu m creep rate จะสูงขึ้น และพฤติกรรมการคืบในช่วงที่ 3 (tertiary creep) ก็จะเกิดเร็วขึ้นกว่าการคืบธรรมดา ผู้ออกแบบชิ้นส่วนอุปกรณ์จึงต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

[1] Thomas H. Courtney , " Mechanical Behavior Of Materials " , International Ed. , McGraw Hill Publishing Company , 1990.

[2] พรศักดิ์ อรรถวานิช , " วัสดุศาสตร์ " , พิมพ์ครั้งที่ 1 , ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2536.

[3] " Hardware Systems Model M3 " , SATEC Systems,Inc. , September 1996.

[4] " Software Systems LinkPac Manual " , SATEC Systems,Inc. , August 1996.

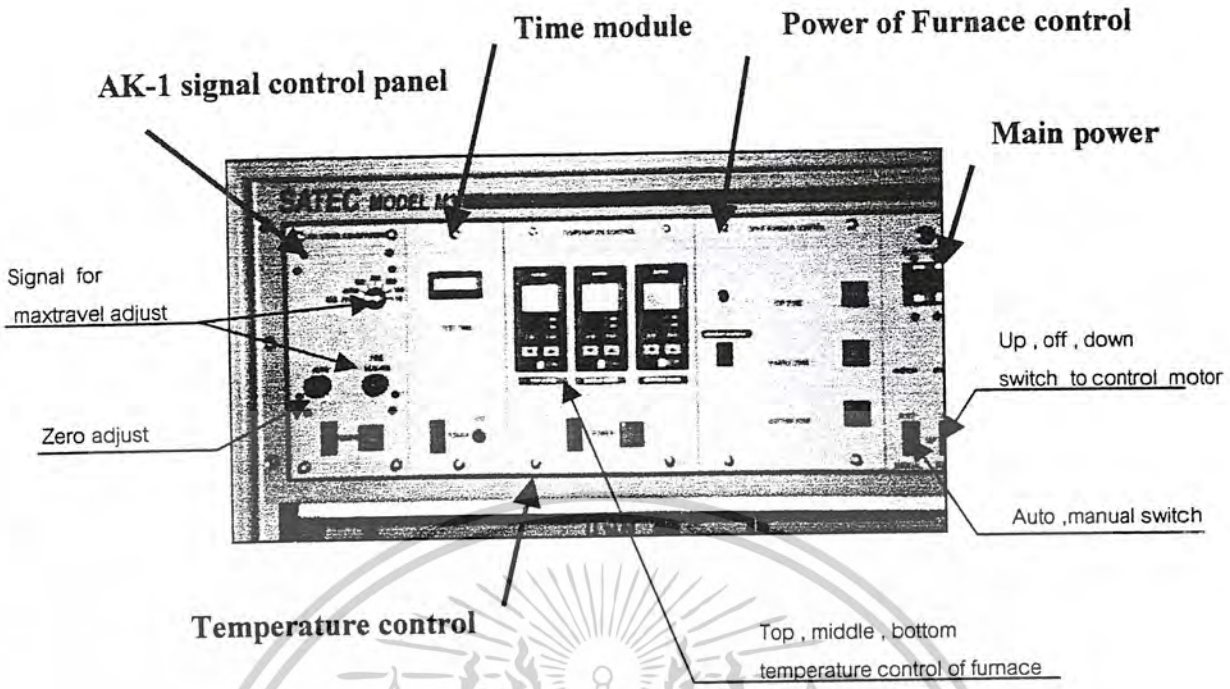
[5] สิริศักดิ์ ปโยธรสิริ , " กำลังวัสดุ " , พิมพ์ครั้งที่ 4 , ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์คณะวิศวกรรม-ศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , 2536.

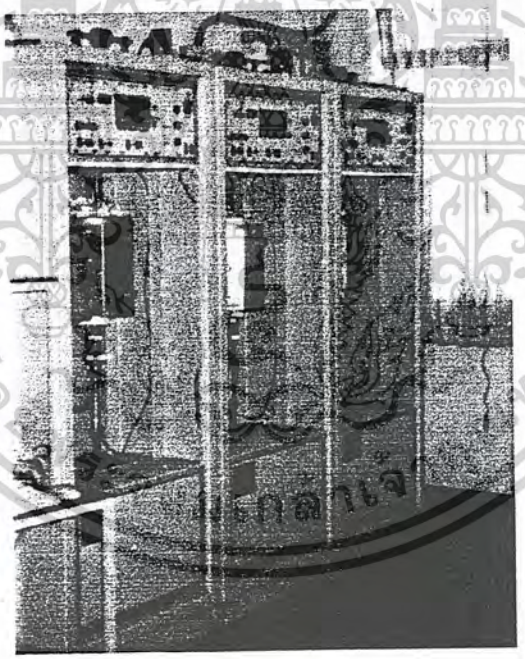
[6] Z. L. Gong and T. R. Hsu , A Constitutive Model for Metals Subjected to Cyclic Creep , Journal of Engineering Materials and Technology , October 1991 , Vol. 113/ 419

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

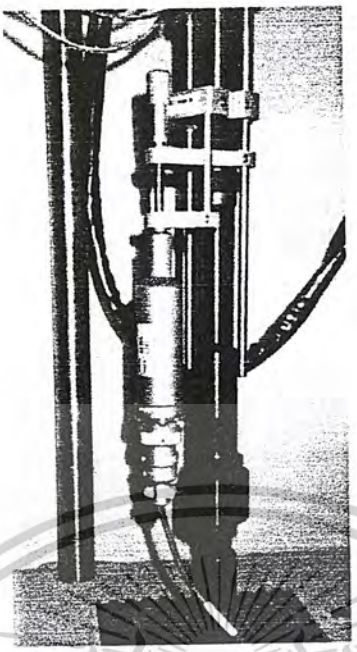




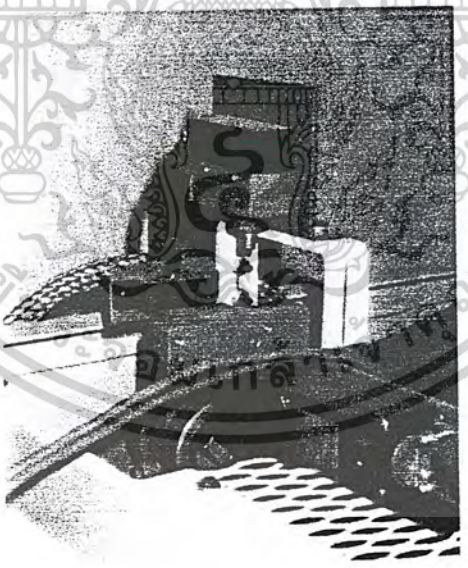
รูปบน คือ control panel ของเครื่องทดสอบ

รูปล่าง คือ เครื่องทดสอบการคืบ creep test rupture machine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

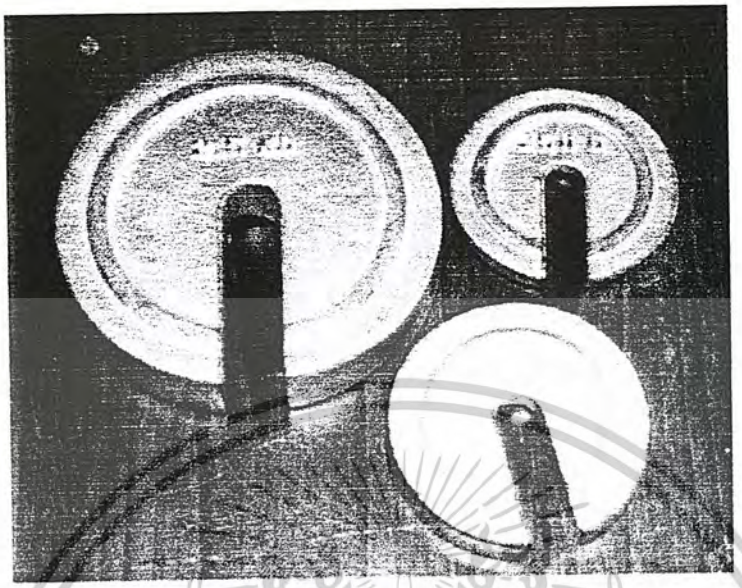


Extensometer เป็นตัวที่วัดระยะยืดของชิ้นงานใช้ระบบ LVDT's
(Linear Variable Differential Transformers)



ในรูปส่วนบนเป็น limit switch ส่วนล่างเป็น magnetic sensor
เวลาที่ชิ้นทดสอบขาดตัวเซนเซอร์จะตัดการจ่ายไฟให้เตา

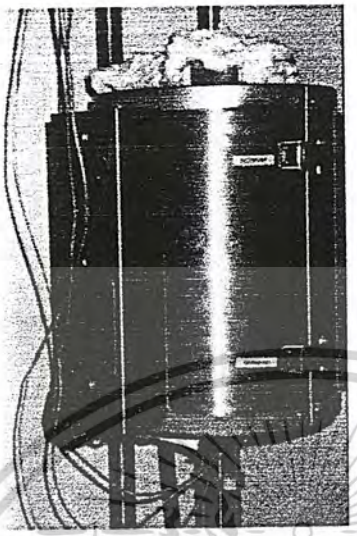
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



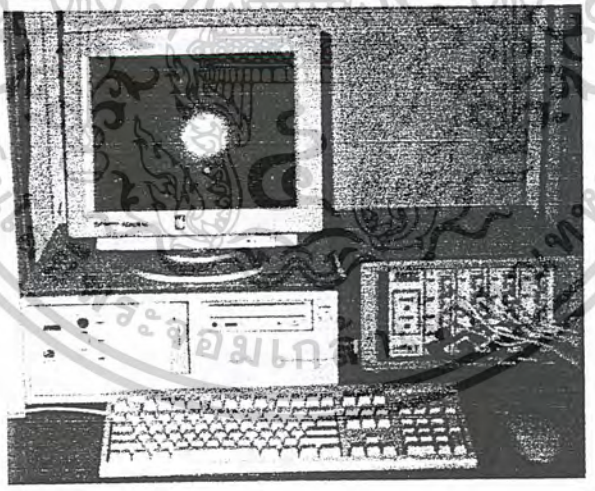
น้ำหนักที่นำไปใส่ที่คานของเครื่องเพื่อดึงชิ้นทดสอบ

ชิ้นทดสอบที่ผ่านการขัดผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

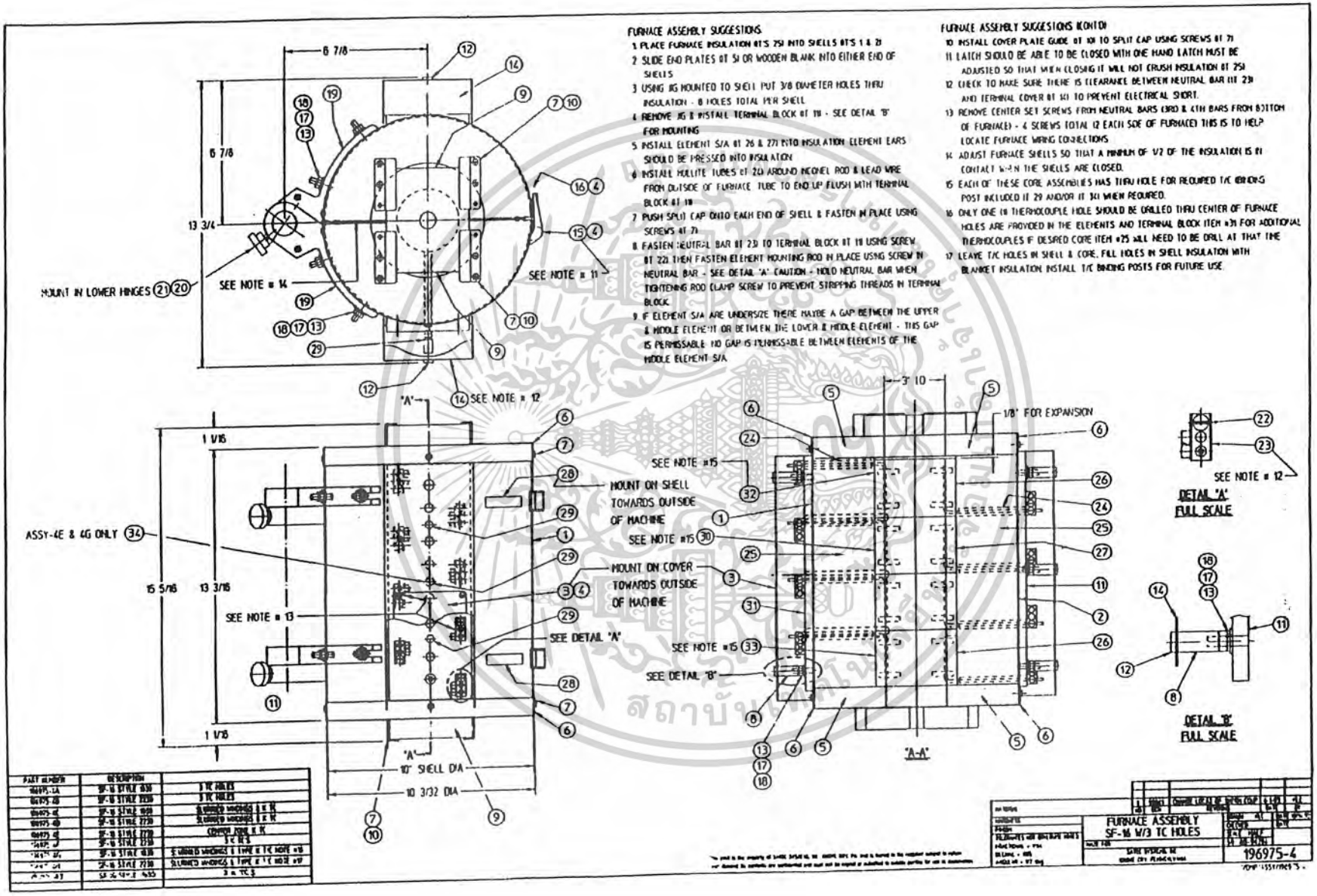


เตาที่อบชิ้นงานตลอด
เวลาที่ทำการทดสอบ
สามารถตั้งอุณหภูมิได้
สูงสุด 1000 เซลเซียส

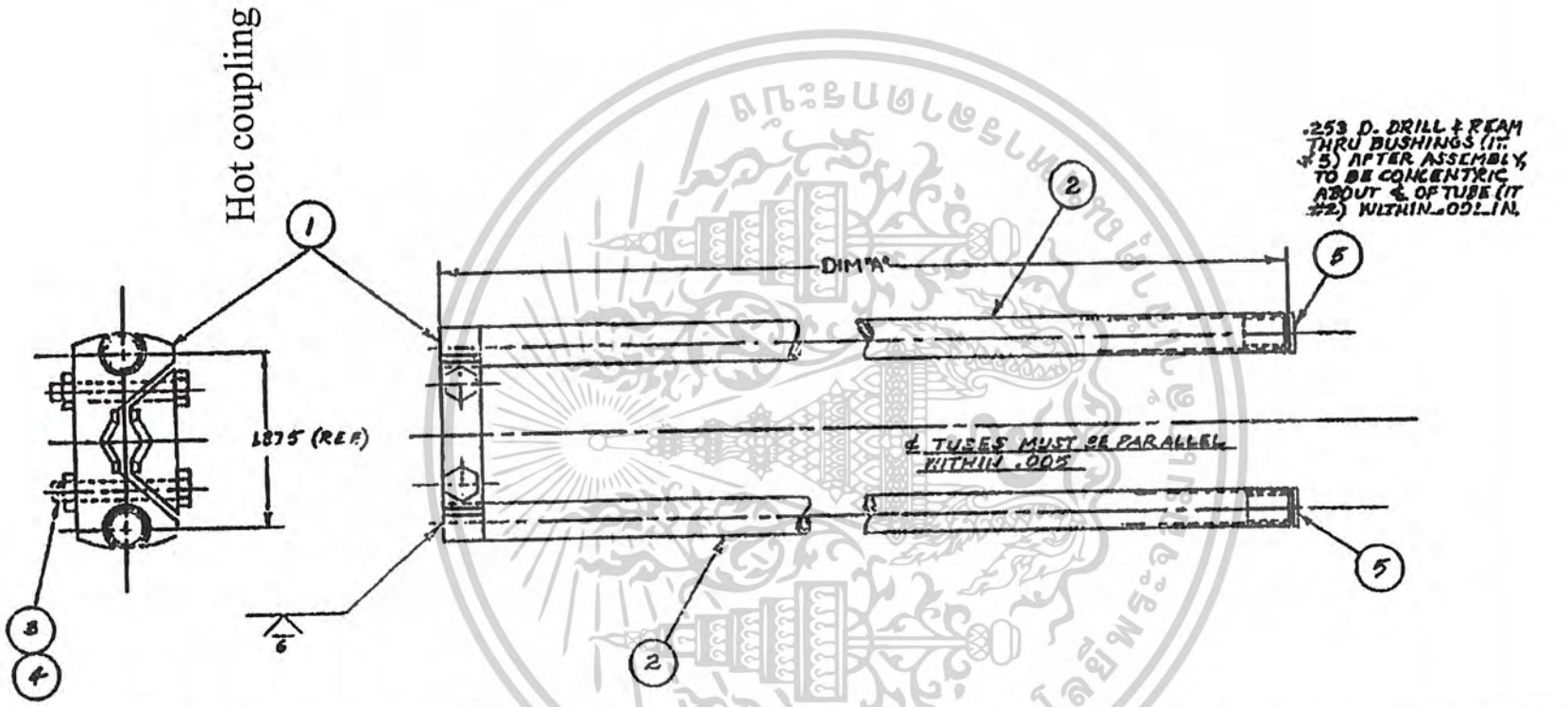


Computer and Linkpack Jr.
linkpack ทำหน้าที่แปลงสัญญาณต่าง ๆ ของเคื่องเข้าสู่ computer
แล้ว computer จะทำหน้าที่บันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น สถาบันฯ ขอสงวนสิทธิ์ในการดำเนินคดีตามกฎหมายกับผู้ที่นำเอกสารนี้ไปใช้ในทางที่ผิดกฎหมาย



ASS'Y	MATERIAL	DIM "A"
[illegible]	INCONEL X-750	12 1/16
[illegible]	HASTELLOY X	12 1/16
182646-2C	HAYNES 214	12 1/16
182646-2D	HASTALLOY X	11 1/4

This print is the property of SATEC SYSTEMS, INC. Grove City Pa. and is loaned to the recipient subject to return upon demand. Its contents are confidential and must not be copied or submitted to outside parties for use or examination.

NO.	ECN	REVISIONS	DATE	BY
1	B6104	TAB	9/1/86	RLF

MATERIAL
HARDNESS
FINISH
TOLERANCES NOT OTHERWISE NOTED
FRACTIONAL—1/64
DECIMAL— ± .005
ANGULAR—1/2°

LOWER HEAD AND TUBE ASSEMBLY

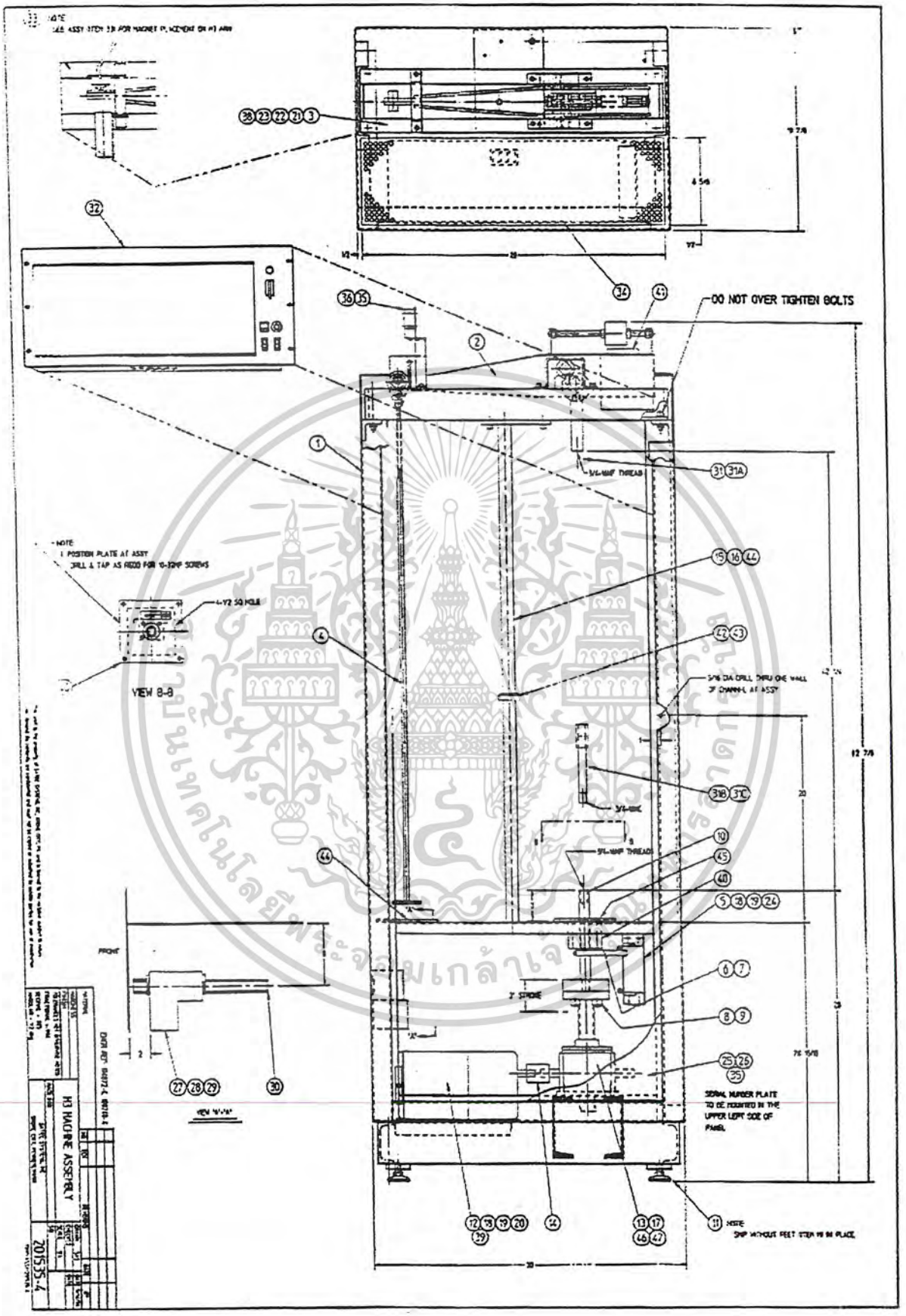
MADE FOR 200 EXT

DRAWN GR
TRACED
SCALE —
S.O. 68-1252

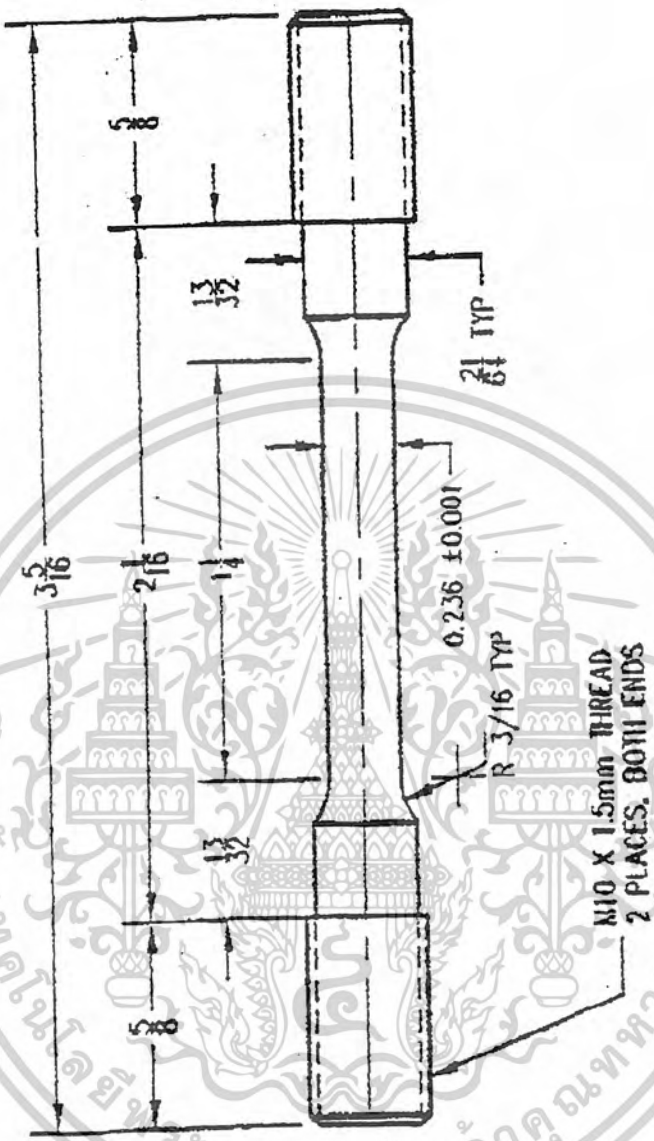
SATEC SYSTEMS, INC.
GROVE CITY, PENNSYLVANIA

182646-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



this print is the property of SATEC SYSTEMS, INC. GROVE CITY, PA and is loaned to the recipient subject to return upon demand. No contents are confidential and must not be copied or published or offered price for sale or association.

ENG. REF: 183485-1

MATERIAL: SPECIFIED TEST MATERIAL
1/2" DIA X 3-3/8" LG

NO.	ECN	REVISIONS	DATE	BY

HARDNESS:
FINISH:
TOLERANCES NOT OTHERWISE NOTED
FRACTIONAL: +/- 1/64
DECIMAL: +/- .005
ANGULAR: +/- 1/2 DEGREE

6 mm DIA THREADED END SPECIMEN

MADE FOR:
SATEC SYSTEMS, INC.
GROVE CITY, PENNSYLVANIA

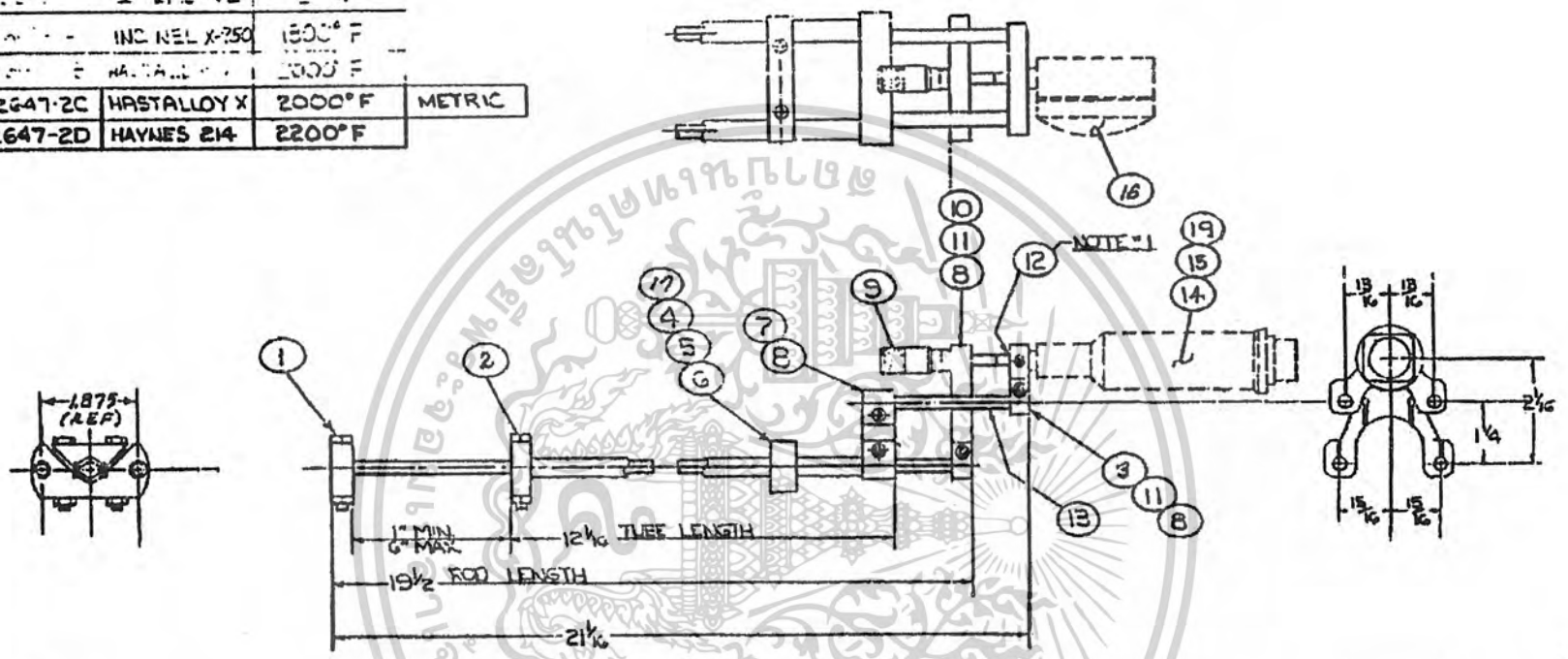
DRAWN: TCS DATE: 7/12/96
CHECKED: DATE:
SCALE: 2=1
S.O. 8A-07070
ACAD R13 DESIGNJET

R 205497-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASSY	ITEM 5 MAT'L	TEMP
[illegible]	INC NEL X-750	1500° F
[illegible]	HASTALLOY X	2000° F

182647-2C	HASTALLOY X	2000° F	METRIC
182647-2D	HAYNES 214	2200° F	



NOTES:—

ITEM # 12 IS AN INCLUDED ADAPTER FOR USE WITH OPTIONAL DIAL INDICATOR (IT. # 16)

NO	ECN	REVISIONS	DATE	BY
1	86104	TAE	5/1/86	RLK

MATERIAL

HARDNESS

FINISH

TOLERANCES NOT OTHERWISE NOTED

FRACTIONAL ±1/64

DECIMAL ± .015

ANGULAR ±1°

EXTENSOMETER ASS'Y 2002 G

MADE FOR FL.125 I0.250 X.625 RD.125-.250

SATEC SYSTEMS, INC. GROVE CITY, PENNSYLVANIA.

DRAWN GE

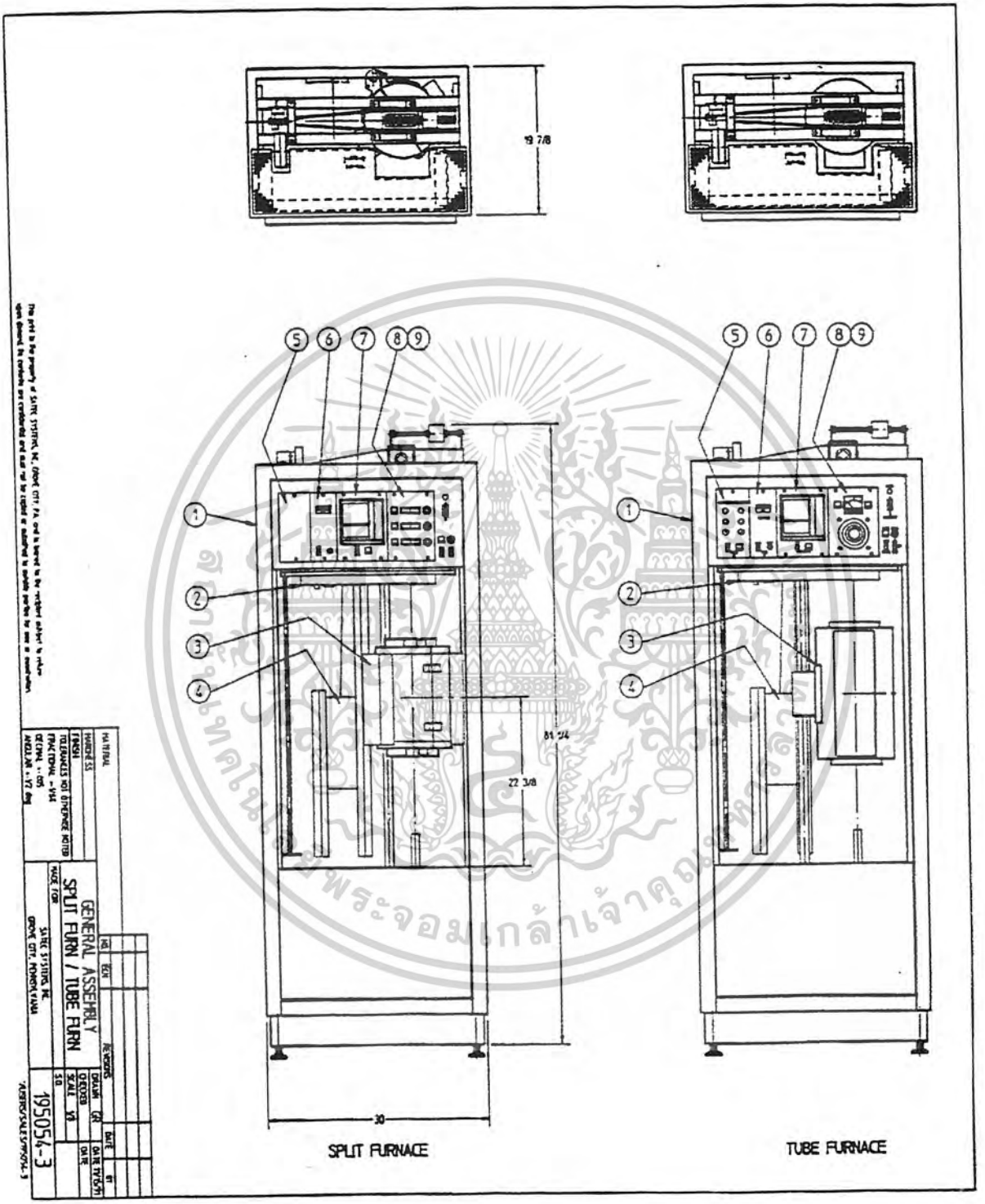
CHECKED

SCALE —

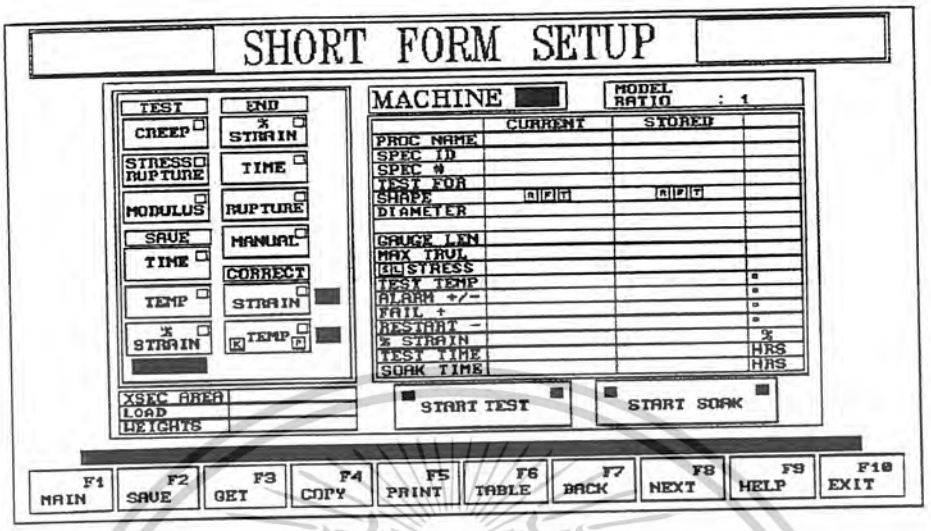
S.O. 18520

182647-2

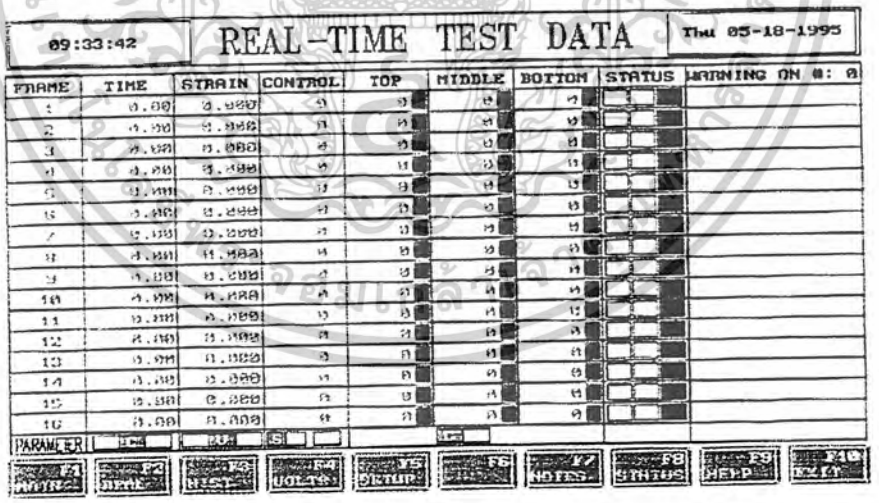
This print is the property of SATEC SYSTEMS INC., Grove City, Pa. and is loaned to the recipient subject to return upon demand. Its contents are confidential and must not be copied or submitted to outside parties for use or examination.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตัวอย่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้