

บทที่ 5

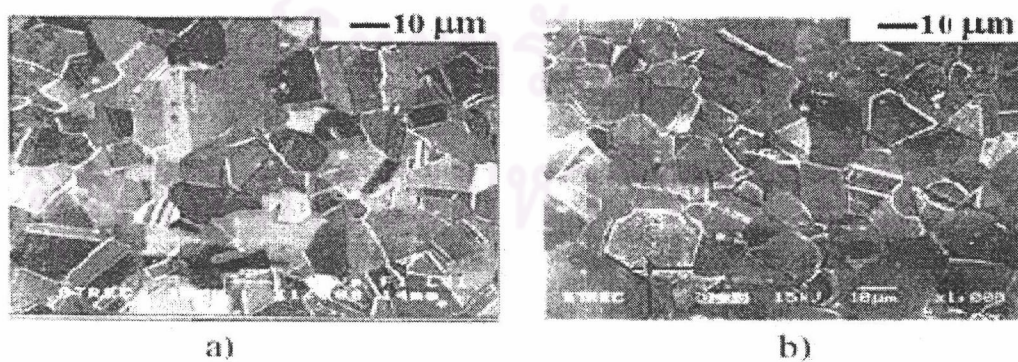
ผลการทดลองและอภิปราย

5.1 คำนำ

ผลจากการปรับปรุงโครงข่ายของขอบเกรนโดยวิธีการผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกลทำให้คุณสมบัติบางประการของวัสดุเปลี่ยนไปเช่น ความต้านทานการคืบ ความต้านทานต่อการกัดกร่อน ความต้านทานต่อการเกิด IGSCC (Inter Granular Stress Corrosion Cracking) และจากงานวิจัยครั้งนี้พบว่า การปรับปรุงโครงข่ายของขอบเกรนโดยวิธีนี้มีผลทำให้คุณสมบัติความต้านทานการคืบของชิ้นงานเปลี่ยนไปซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของค่าความเค้นภายในและค่า apparent stress exponent (n) ที่มีต่อคุณสมบัติของการคืบของชิ้นงาน 304TT และ 304AR

5.2 ลักษณะของโครงข่ายขอบเกรนหลังจากผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกล

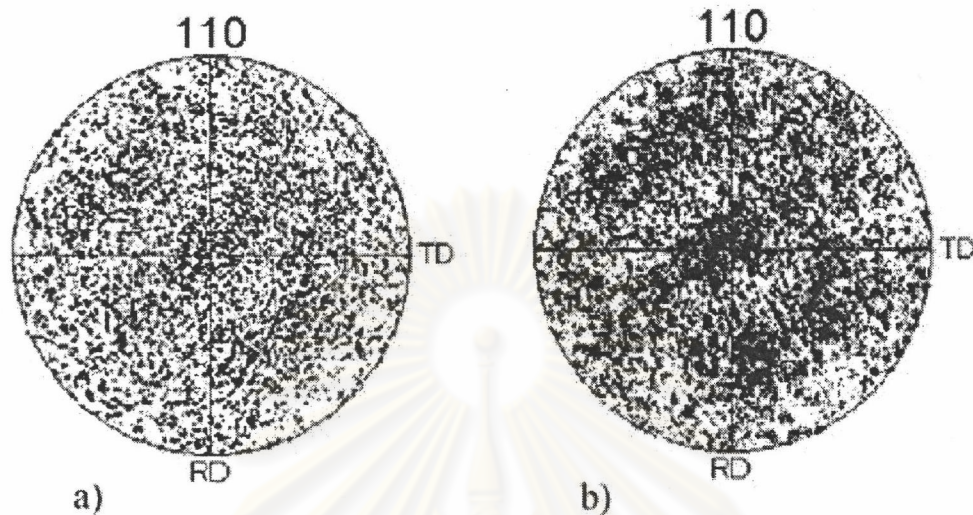
จากการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของขอบเกรนของชิ้นงานตัวอย่างทั้งสองชนิดจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope, SEM) แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างขอบเกรนของชิ้นงานทั้งสองชนิดไม่มีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเกรนทั้งสองชนิดมีขนาดประมาณ $10\ \mu\text{m}$ ขอบเกรนของชิ้นงาน 304TT มีอนุภาคโครเมียมคาร์ไบด์อยู่เล็กน้อยซึ่งเกิดจากการผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกล นอกจากนี้รูปร่างเกรนของ 304TT มีลักษณะค่อนข้างเรียกว่าชิ้นงาน 304AR เล็กน้อยเนื่องจากการผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกล ลักษณะของขอบเกรนทั้งสองสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ภาพถ่ายโครงข่ายขอบเกรนของ a) 304AR b) 304TT

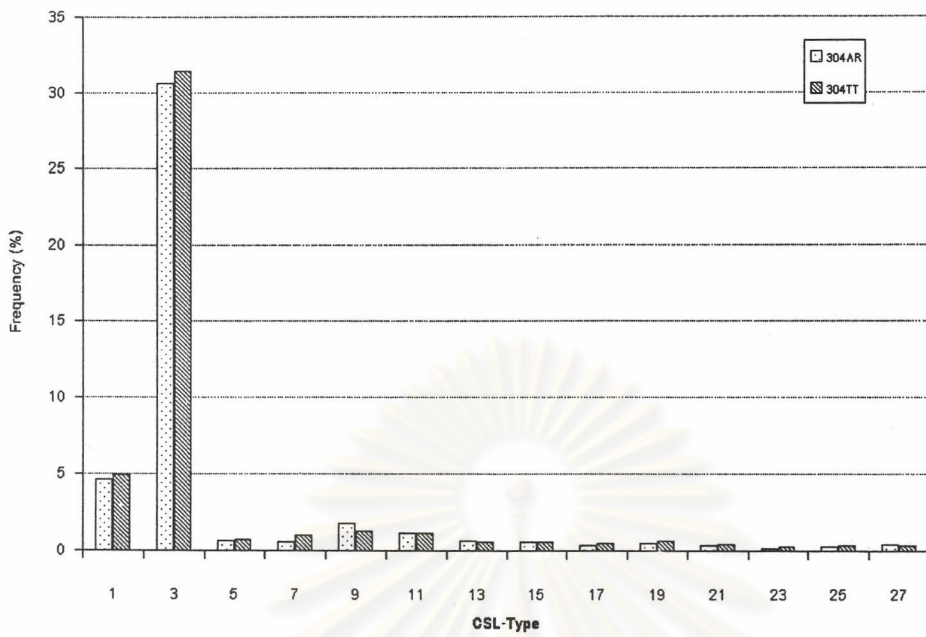
งานวิจัยครั้งนี้นอกจากการศึกษาลักษณะของขอบเกรนโดย SEM แล้ว ได้พิจารณาลักษณะการกระจายตัว และ microtexture ของขอบเกรนโดยใช้ผลวิเคราะห์จากเครื่อง OIM (Orientation Imaging Microscopy) ที่ได้รับมาจากห้องทดลองทดลอง north campus electron microbeam

analysis laboratory ที่มหาวิทยาลัย Michigan (Ann Arbor) ซึ่งทำการวิเคราะห์ห้บนพื้นที่ขนาด $200 \mu\text{m} \times 400 \mu\text{m}$ ของชิ้นงานทำให้ได้ภาพถ่าย pole figure ดังรูปที่ 5.2

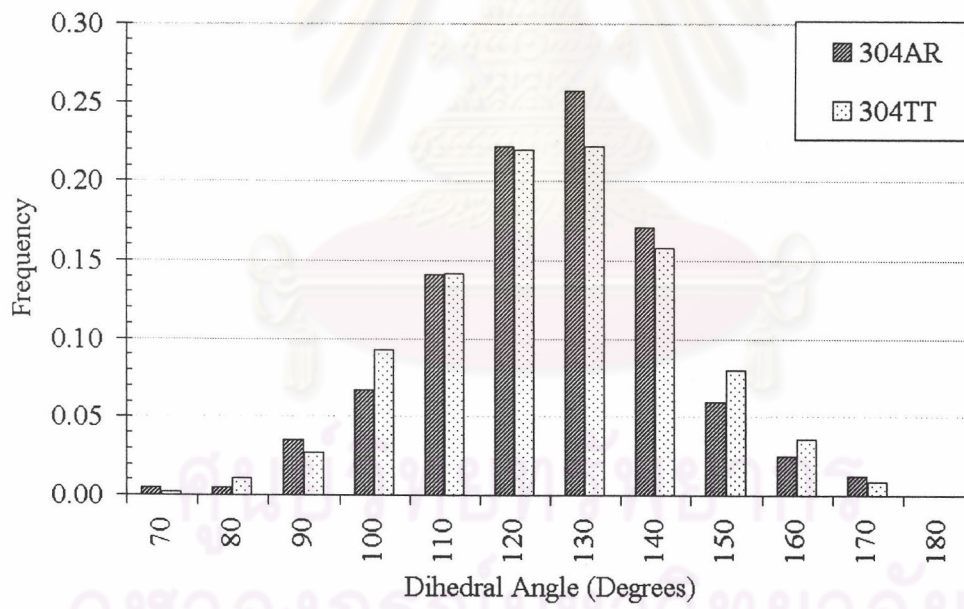


รูปที่ 5.2 ภาพถ่าย pole figure แสดงลักษณะการกระจายตัวของ microtexture ของ a) 304AR และ b) 304TT

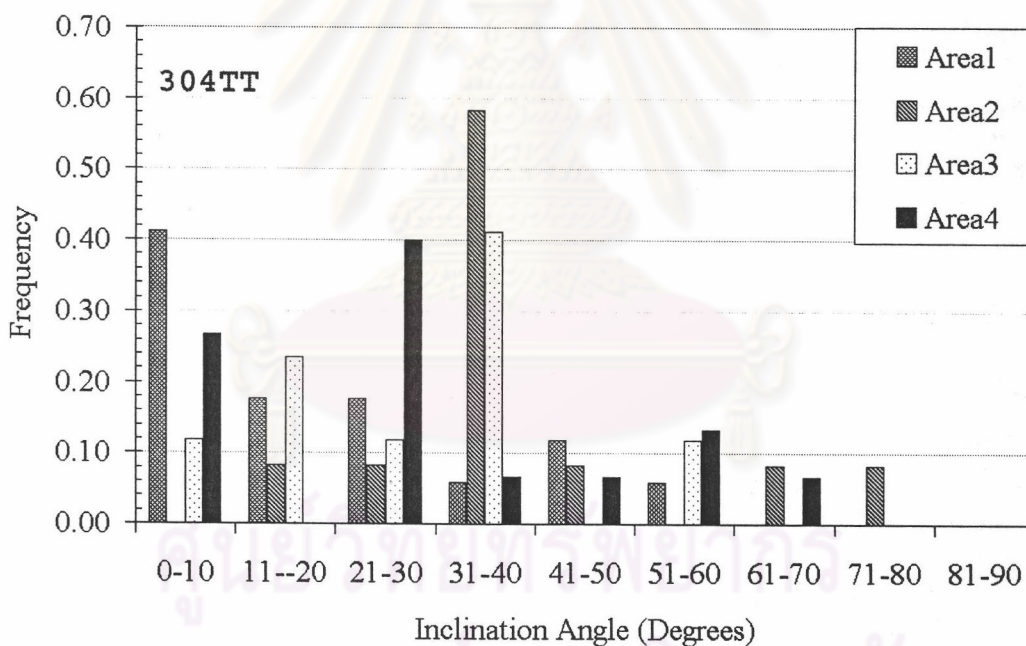
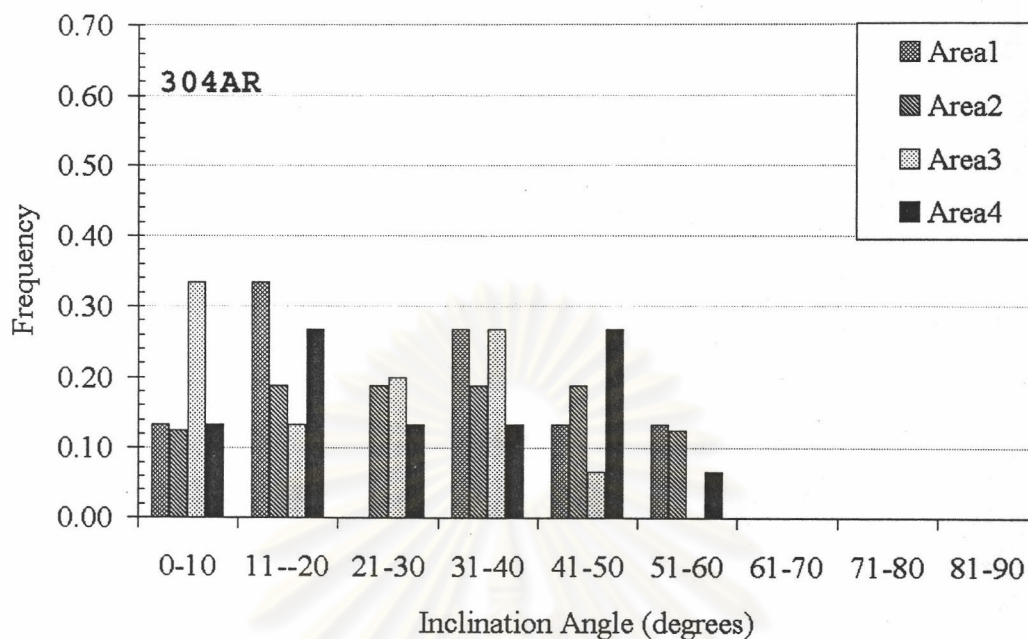
ภาพ pole figure ที่สร้างจาก OIM แสดงให้เห็นว่า texture ของ 304TT มีลักษณะการกระจายตัวใกล้เคียงกับ 304AR แต่มีความคมชัดกว่าเล็กน้อย และเมื่อนำมาพิจารณาการกระจายตัวของโครงข่ายผลึกของขอบเกรนชนิด CSLB (Coincidence Site Lattice Boundary) ดังรูปที่ 5.3 พบว่าอัตราส่วนของ CSLB ส่วนมากจะเป็นชนิด $\Sigma 3$ และการกระจายตัวของ CSLB ของชิ้นงานทั้งสองชนิดมีลักษณะการกระจายตัวเหมือนกันซึ่งสอดคล้องกับการกระจายตัวของ dihedral angle ของชิ้นงานทั้งสองชนิดที่มีลักษณะการกระจายตัวไม่แตกต่างกันดังรูปที่ 5.4 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าของ V. Thaveprungsripom และคณะตามที่เคยได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 แม้ว่าการจำแนกลักษณะของขอบเกรนตามวิธีต่างๆข้างต้นไม่สามารถจำแนกความแตกต่างของขอบเกรนได้อย่างเด่นชัดแต่เมื่อพิจารณาความแตกต่างของขอบเกรนจากการวัดความลาดเอียงของขอบเกรนซึ่งสุ่มตัวอย่างจากเกรนประมาณ 60 เกรน ทำให้พบความแตกต่างของการกระจายตัวของมุมความลาดเอียงของขอบเกรนซึ่งแสดงไว้ตามรูปที่ 5.5 จากรูปพบว่า ความลาดเอียงของขอบเกรนของ 304TT กระจายตัวอยู่ที่ช่วง $30^\circ - 40^\circ$ ในขณะที่ 304AR กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ผลจากภาพถ่าย SEM ที่ได้จากการศึกษาระนาบของขอบเกรนของชิ้นงานทั้งสองตามรูปที่ 5.6 เห็นได้อย่างชัดเจนว่าลักษณะระนาบขอบเกรนของ 304TT มีความโค้งมนกว่า 304AR ที่มีระนาบเป็นเหลี่ยมมุมชัดเจน ซึ่งความแตกต่างของระนาบของขอบเกรนที่เกิดขึ้นเหล่านี้เป็นผลทำให้คุณสมบัติทางกายภาพบางอย่างของชิ้นงานทั้งสองชนิดแตกต่างกัน เช่น ความต้านทานการกัดกร่อน ความต้านทานการคืบ



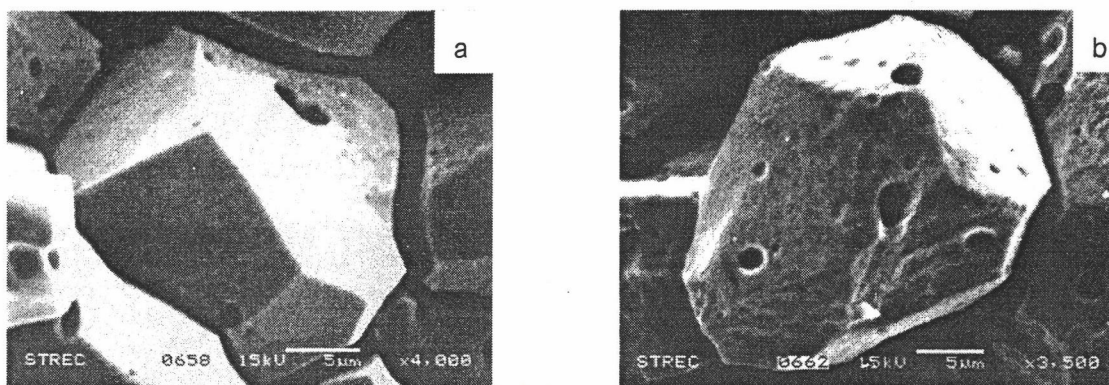
รูปที่ 5.3 การกระจายตัวของขอบเกรนแบบ CSLB ของชิ้นงาน 304TT และ 304AR



รูปที่ 5.4 การกระจายตัวของ dihedral angle ของ 304TT และ 304AR

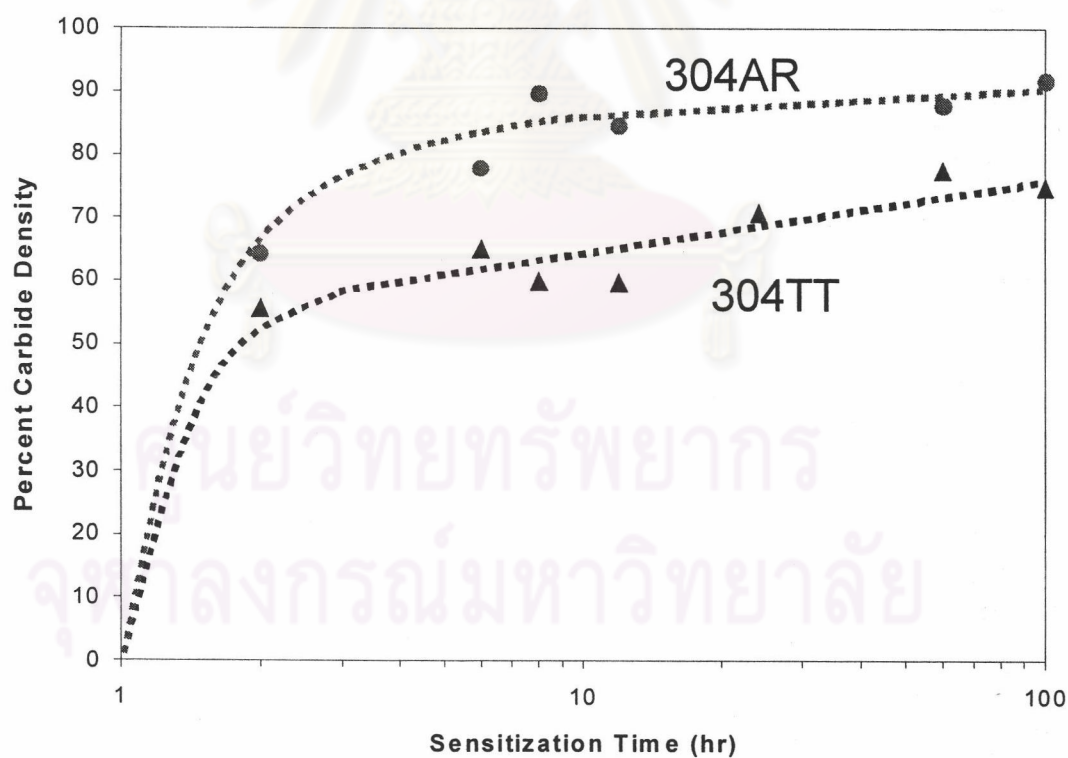


รูปที่ 5.5 การกระจายตัวของความลาดเอียงของขอบเกรนของ 304TT และ 304AR



รูปที่ 5.6 ภาพถ่ายระนาบของขอบเกรน a) 304TT และ b)304AR

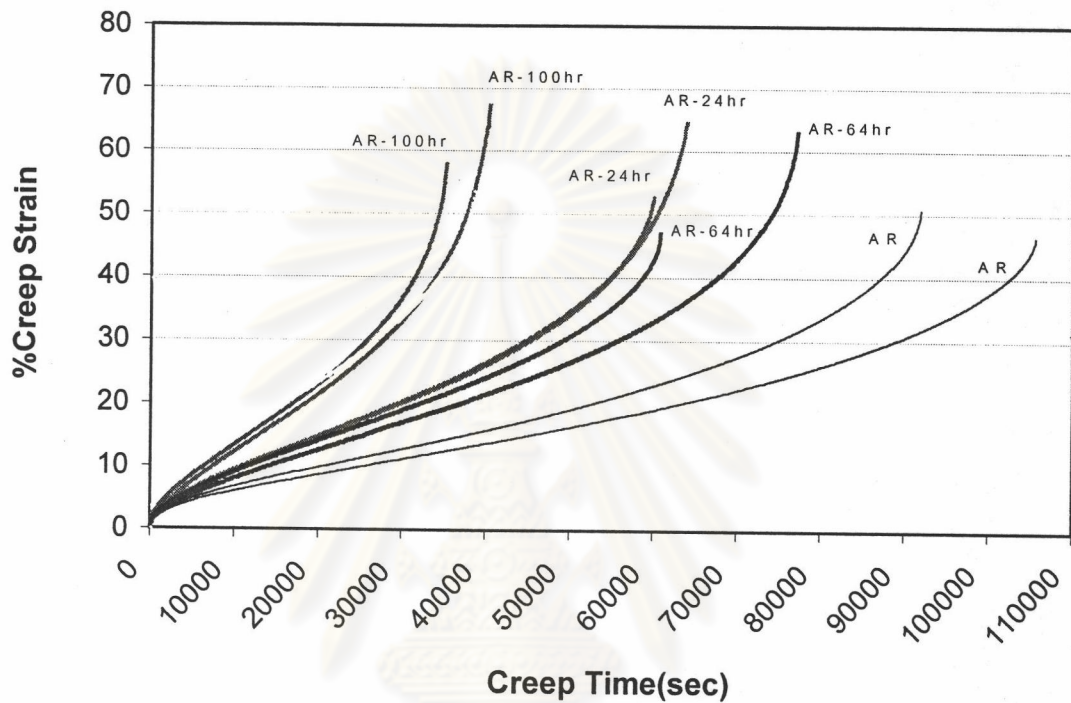
จากงานวิจัยก่อนหน้าของ กิตติศักดิ์ โกศลวรรณชนะ [31] พบว่าชิ้นงาน 304TT มีความต้านทานต่อการเกิด IGSCC เมื่อเทียบกับชิ้นงาน 304AR ซึ่งมีสาเหตุที่สำคัญคือ ปริมาณของโครเมียมคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นบริเวณขอบเกรนของชิ้นงาน และพบว่าชิ้นงาน 304TT มีปริมาณโครเมียมคาร์ไบด์น้อยกว่าของ 304AR หลังจากที่ยื่นงานทั้งสองถูกเซนซิไทซ์ด้วยระยะเวลาที่เท่าๆกัน สัดส่วนของโครเมียมคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นบนขอบเกรนตามระยะเวลาของการเซนซิไทซ์ของชิ้นงานทั้งสองชนิดแสดงไว้ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 สัดส่วนของโครเมียมคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นบนขอบเกรนของ 304TT และ 304AR

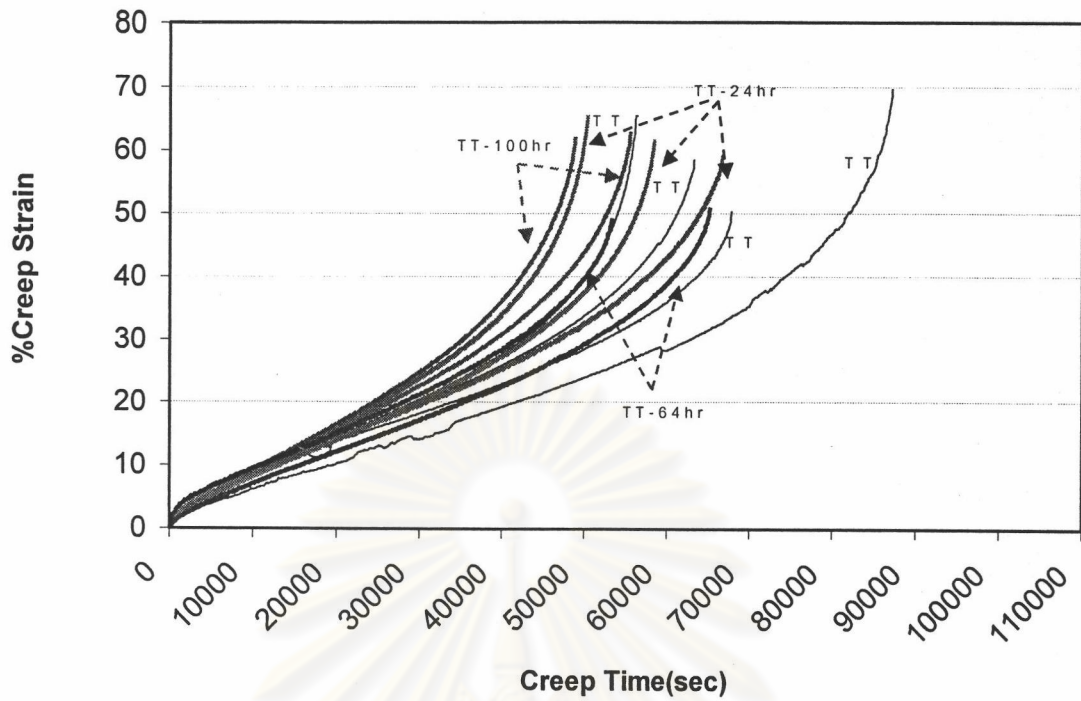
5.3 ผลการทดสอบการคืบโดยให้น้ำหนักคงที่แก่ชิ้นงาน

การทดสอบการคืบโดยให้น้ำหนักคงที่แก่ชิ้นงาน 304TT และ 304AR ได้แสดงผลการทดลองตามรูปที่ 5.8 a) และ b) บนแกนที่เป็นมาตราส่วนตัวเลข และรูปที่ 5.9 a) และ b) แสดงบนแกนที่เป็นมาตราส่วน logarithm

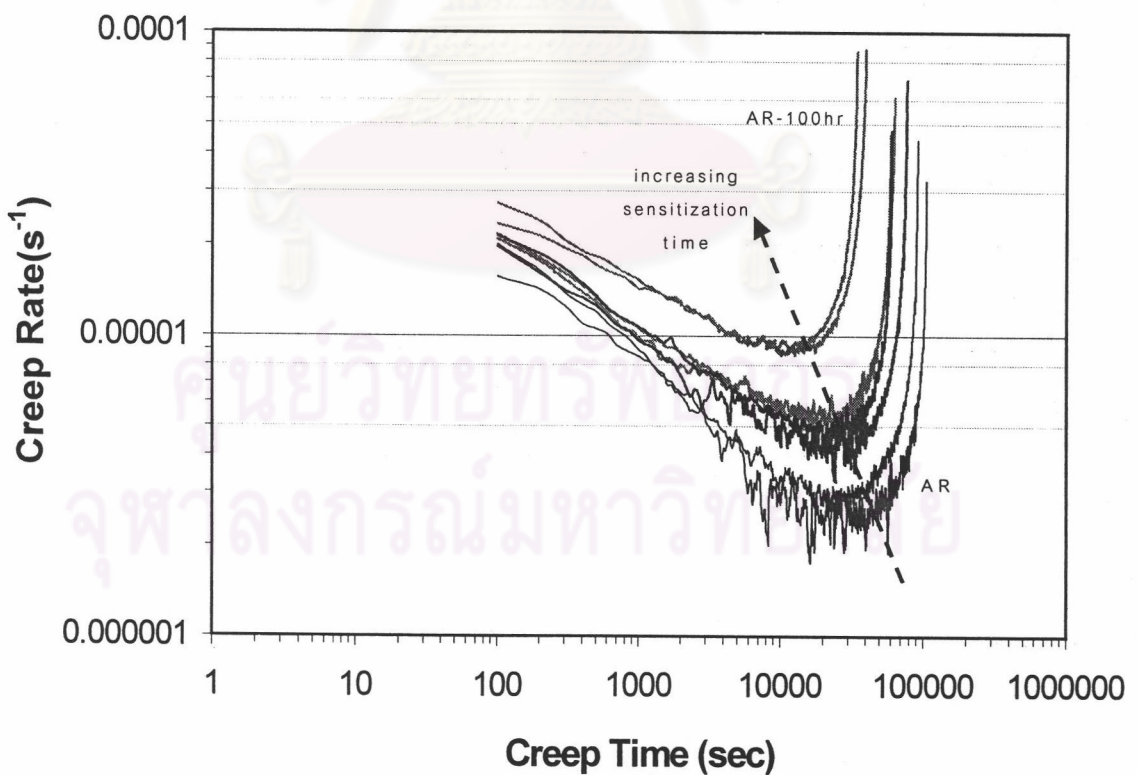


รูปที่ 5.8 a) กราฟการคืบของ 304AR หลังจากผ่านการเซนซิไทซ์ที่เวลาต่างๆ แล้วนำมาทดสอบการคืบที่ความเค้น 200 MPa อุณหภูมิ 650°C

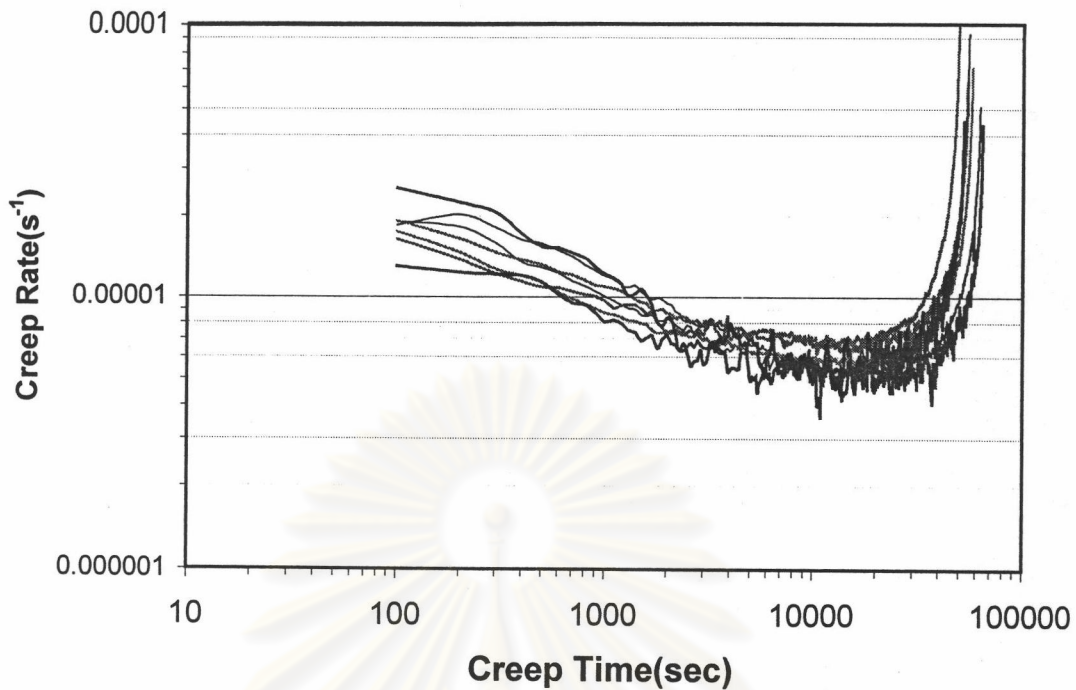
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.8 b) กราฟการคืบของ 304TT หลังจากผ่านการเซนซิไทซ์ที่เวลาต่างๆ แล้วนำมาทดสอบการคืบที่ความเค้น 200 MPa อุณหภูมิ 650°C



รูปที่ 5.9 a) กราฟการคืบของ 304AR หลังจากผ่านการเซนซิไทซ์ที่เวลาต่างๆ แล้วนำมาทดสอบการคืบที่ความเค้น 200 MPa อุณหภูมิ 650°C โดยแสดงบนแกน logarithm

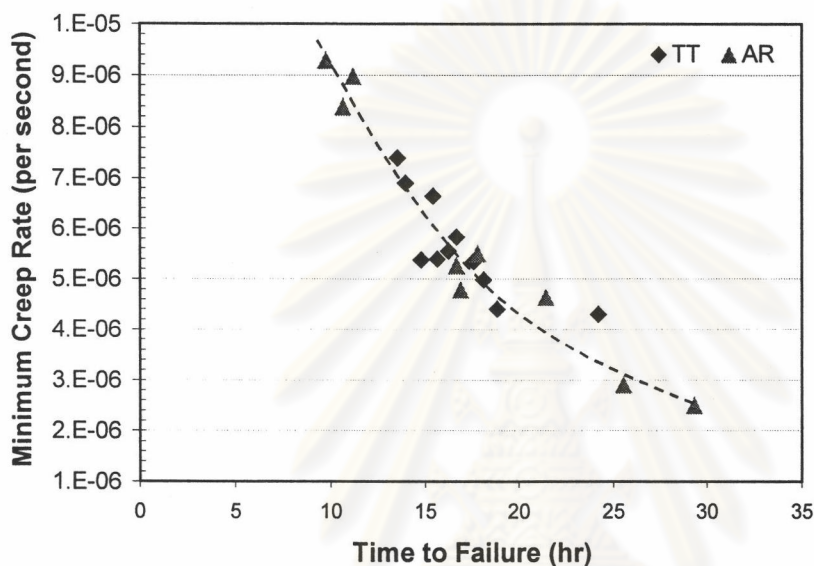


รูปที่ 5.9 b) กราฟการคืบของ 304TT หลังจากผ่านการเซนซิไทซ์ที่เวลาต่างๆ แล้วนำมาทดสอบการคืบที่ความเค้น 200 MPa อุณหภูมิ 650°C โดยแสดงบนแกน logarithm

จากรูป 5.8 a) พบว่าระยะเวลาในการเซนซิไทซ์ชิ้นงาน 304AR ก่อนที่จะนำมาทดสอบการคืบมีผลต่อคุณสมบัติการคืบ เมื่อเพิ่มเวลาในการเซนซิไทซ์จาก 24 เป็น 100 ชั่วโมง ทำให้เวลาที่ชิ้นงานขาดลดลง และเมื่อดูจากรูป 5.9 a) จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าอัตราการคืบต่ำสุดเพิ่มขึ้นเมื่อช่วงเวลาการเซนซิไทซ์เพิ่มขึ้น หรือกล่าวได้ว่าคุณสมบัติการคืบของ 304AR มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อถูกเซนซิไทซ์ ซึ่งแตกต่างจาก 304TT เมื่อพิจารณาจากรูป 5.8 b) พบว่าจะเห็นผลของการเซนซิไทซ์ไม่ทำให้ลักษณะการคืบเปลี่ยนไปมากนัก รูปกราฟของ 304TT มีลักษณะใกล้เคียงกันถึงแม้ว่าจะผ่านการเซนซิไทซ์ในช่วงเวลา 24, 64 หรือ 100 ชั่วโมงก็ตาม และเมื่อดูจากกราฟในรูป 5.9 b) จะพบว่าค่าอัตราการคืบต่ำสุดไม่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาของการเซนซิไทซ์เช่นกัน และจากผลการทดลองสังเกตได้ว่าอัตราการยึดตัวของชิ้นงานทั้งสองชิ้นงานมีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันคือ 45-60 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงตามรูปที่ 5.8 a) และ b) และค่าอัตราการยึดตัวของชิ้นงานทั้งสอง ณ เวลาที่อัตราการคืบมีค่าต่ำสุดก็มีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าลักษณะการเสียรูปทรงและการขาดของชิ้นงานเกิดจากกลไกของการคืบที่เหมือนกันและเมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคืบต่ำสุดกับเวลาที่ชิ้นงานขาดพบว่าชิ้นงานทั้งสองชนิดมีแนวการเรียงตัวของบุนเส้นโค้งเดียวกันซึ่งเป็นการยืนยันว่ากลไกที่ควบคุมการขาดของชิ้นงานเป็นกลไกเดียวกัน และสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้จากสมการของ Monkman-Grant ตามสมการที่ 5.1

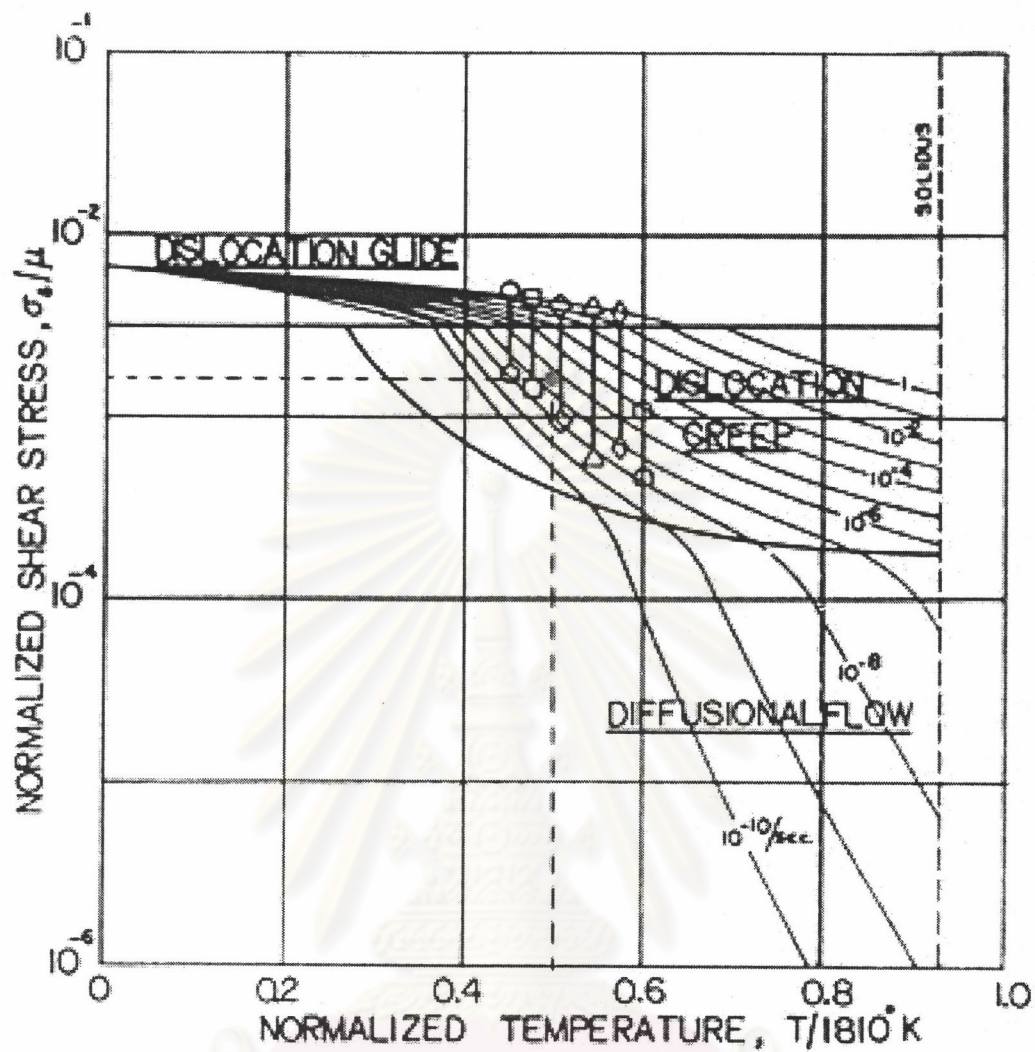
$$\dot{\epsilon}_s t_f = C \quad 5.1$$

โดย C เป็นค่าคงที่ t_f เป็นค่าเวลาที่ชิ้นงานขาดและ $\dot{\epsilon}_s$ เป็นอัตราการคืบต่ำสุด จากสมการ 5.1 พบว่าค่าอัตราการคืบต่ำสุดกับค่าเวลาที่ชิ้นงานขาดมีความสัมพันธ์ต่อกันแบบฟังก์ชันไฮเปอร์โบล่าซึ่งตรงกับกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ชิ้นงานขาดกับค่าอัตราการคืบต่ำสุดที่ถูกควบคุมโดยกลไกของการคืบแบบเดียวกัน

เมื่อพิจารณาจากแผนผังกลไกการคืบของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 [32] ตามรูปที่ 5.11 พบว่าความเค้นและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง (ความเค้น 200 MPa และ 650°C) อยู่ในช่วงของ dislocation creep ดังนั้นกลไกสำคัญที่เป็นตัวผลักดันให้เกิดการคืบสำหรับการทดลองครั้งนี้คือการเคลื่อนที่ของ ดิสโลเคชัน จากที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ว่าสารละลายของแข็ง (solid solution) และการตกตะกอนที่ขอบเกรน (ในการทดลองนี้หมายถึงโครเมียมคาร์ไบด์) ทำหน้าที่เสมือนสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่ของดิสโลเคชันและส่งผลให้อัตราการคืบเปลี่ยนไปโดยพฤติกรรมเหล่านี้สามารถแสดงออกมาในรูปของค่าความเค้นภายในดังที่จะกล่าวถึงในส่วนต่อไป



รูปที่ 5.11 แผนผังกลไกการคืบของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 (เส้นประแสดงค่าความเค้นและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองซึ่งตรงกับค่าอัตราการคืบในแผนผังที่ใช้เป็นมาตรฐาน)

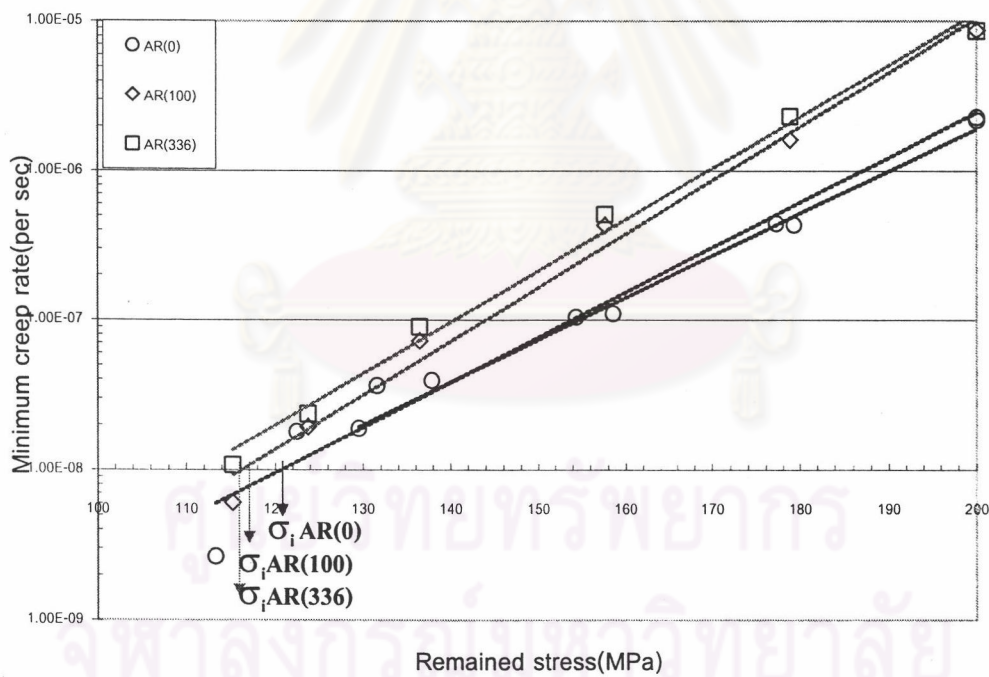
5.4 ผลการหาค่าความเค้นภายในด้วยวิธี Load Reduction Test

จากการทดลองหาค่าความเค้นภายในของชิ้นงานทั้งสองชนิดโดยพิจารณาให้ค่าอัตราการคืบที่ 1×10^{-8} เป็นค่าต่ำสุดที่วัดได้พบว่าค่าความเค้นภายในที่วัดได้อยู่ในช่วงใกล้เคียงกันดังรูปที่ 5.12 รูปที่ 5.13 และตารางที่ 5.1 ซึ่งจะเห็นว่าค่าความเค้นภายในของ 304AR จะอยู่ในช่วง 116-120 MPa ส่วน 304TT จะอยู่ในช่วง 110-116 MPa และสามารถกล่าวได้ว่าค่าความเค้นภายในของ 304 TT มีค่าอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 304 AR เล็กน้อยโดยสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 5.14

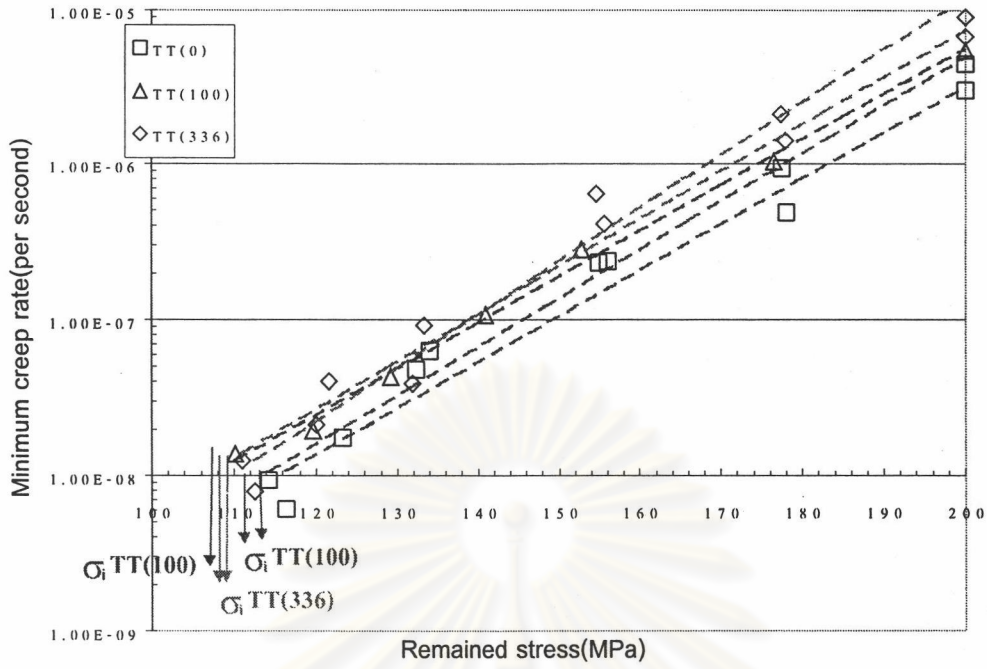
ตารางที่ 5.1 ค่าความเค้นภายในของ 304AR และ 304TT ที่อัตราการคืบ 1×10^{-8} ต่อ วินาที , ค่าความเค้นเริ่มต้นที่ให้แก่ชิ้นงาน เท่ากับ 200MPa, 650°C

ชิ้นงาน	ระยะเวลาเซนซิไทซ์ (ชั่วโมง)	อัตราการคืบต่ำสุด (ต่อวินาที)	ความเค้นภายใน (MPa)	Effective stress* (MPa)
304TT	0 [304TT(0)]	$3.00 \times 10^{-6}, 4.47 \times 10^{-6}$	114, 116	86, 84
	100 [304TT(100)]	5.47×10^{-6}	110	90
	336 [304TT(336)]	$9.00 \times 10^{-6}, 6.70 \times 10^{-6}$	111, 112	89, 88
304AR	0 [304AR(0)]	$2.29 \times 10^{-6}, 2.18 \times 10^{-6}$	120	80
	100 [304AR(100)]	8.68×10^{-6}	114	86
	336 [304AR(336)]	8.64×10^{-6}	115	85

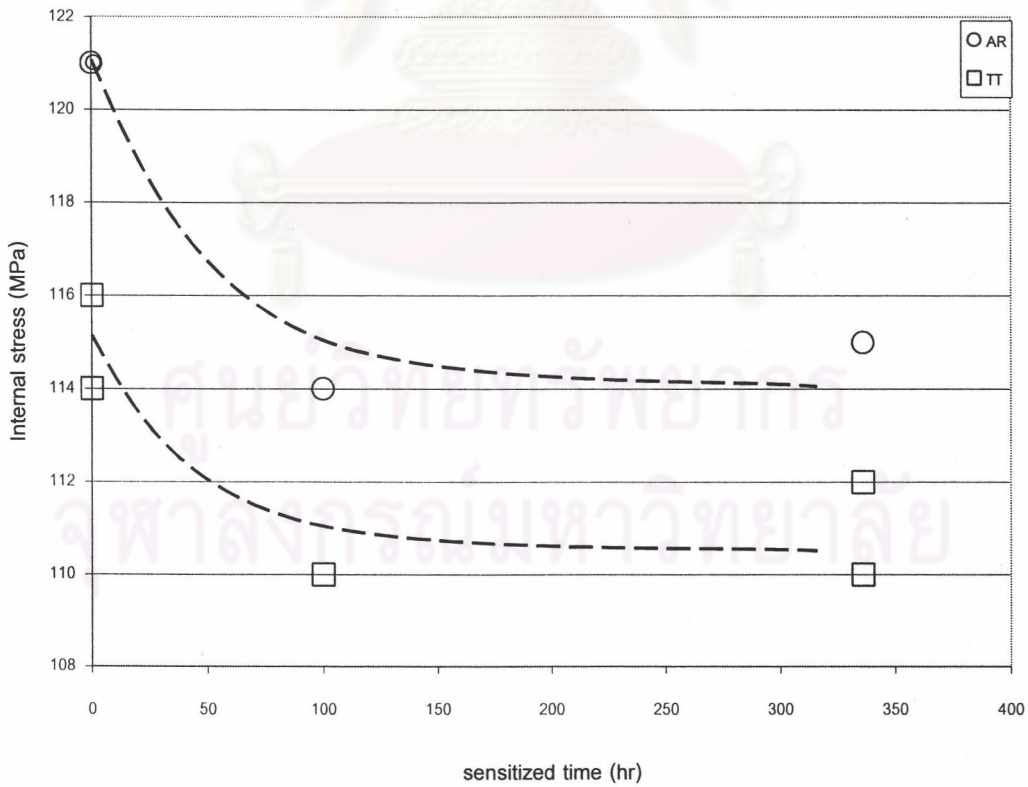
*ค่า effective stress หาได้จากค่าความเค้นเริ่มต้นที่ให้แก่ชิ้นงาน (200MPa) ลบออกด้วยค่าความเค้นภายในที่หาได้



รูปที่ 5.12 ค่าความเค้นภายในของ 304AR โดยพิจารณาให้อัตราการคืบที่ 1×10^{-8} เป็นอัตราการคืบต่ำสุดที่วัดได้ต่ำสุดที่วัดได้

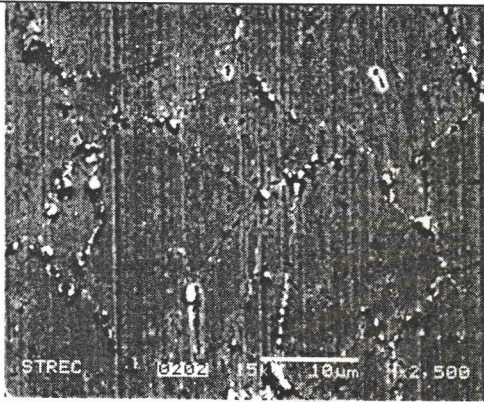
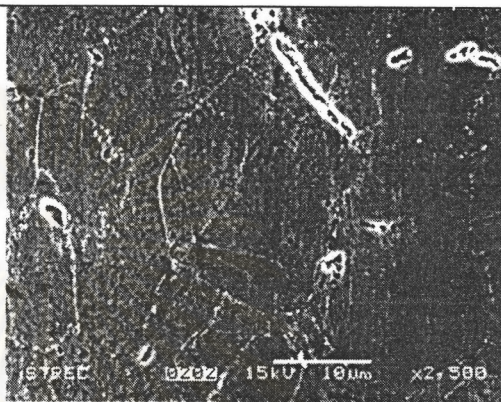
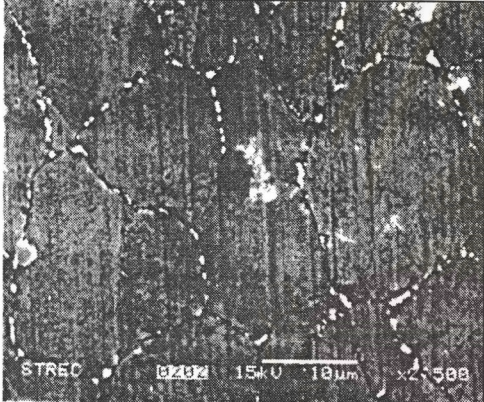
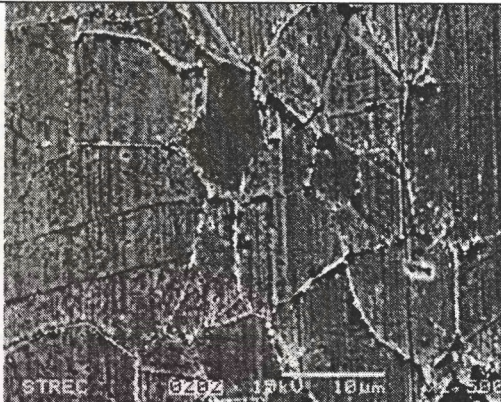
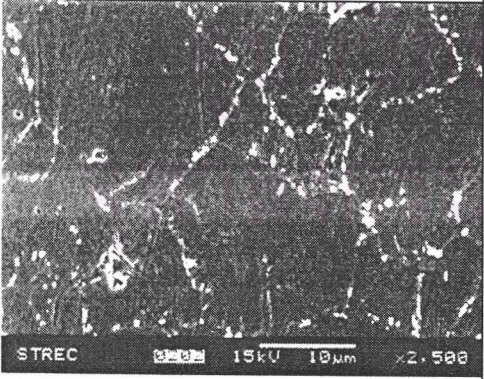
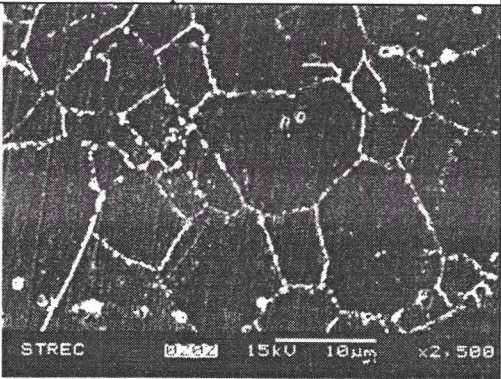


รูปที่ 5.13 ค่าความเค้นภายในของ 304TT โดยพิจารณาให้อัตราการคืบที่ 1×10^{-8} เป็นอัตราการคืบต่ำสุดที่วัดได้ต่ำสุดที่วัดได้



รูปที่ 5.14 ค่าความเค้นภายในของ 304AR และ 304 TT มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเซนซิไทซ์เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหลังจากผ่านการทดสอบหาค่าความเค้นภายใน พบว่าปริมาณและลักษณะของโครเมียมคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นบนขอบเกรนมีลักษณะต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

304TT	304AR	เวลาเซนซิไทซ์ (ชั่วโมง)
		0
Minimum creep rate = 4.47×10^{-6}	Minimum creep rate = 2.18×10^{-6}	
		100
Minimum creep rate = 5.47×10^{-6}	Minimum creep rate = 8.68×10^{-6}	
		336
Minimum creep rate = 6.70×10^{-6}	Minimum creep rate = 8.64×10^{-6}	

รูปที่ 5.15 ปริมาณโครเมียมคาร์ไบด์บนขอบเกรน 304TT และ 304AR ระหว่างการทดสอบหาค่าความเค้นภายในหลังจากถูกเซนซิไทซ์ด้วยเวลาต่างๆ

ตามที่แสดงดังรูปที่ 5.15 ซึ่งจะเห็นได้ว่าโครเมียมคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นบนขอบเกรนของ 304TT มีลักษณะกระจายแบบไม่ต่อเนื่องและมีลักษณะการกระจายที่เหมือนกันไม่ว่าจะถูกเซนซิไทซ์ด้วยเวลานานเท่าใดก็ตาม ในขณะที่โครเมียมคาร์ไบด์ที่ขอบเกรนของ 304AR มีลักษณะเป็นเส้นต่อเนื่องตามขอบเกรนและมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อผ่านเวลาการเซนซิไทซ์นานขึ้น

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง load reduction test นอกจากทำให้หาค่าความเค้นภายในได้แล้ว สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์หาค่า stress exponent (n) ได้เช่นกันโดยค่า stress exponent หาได้จากสมการต่อไปนี้

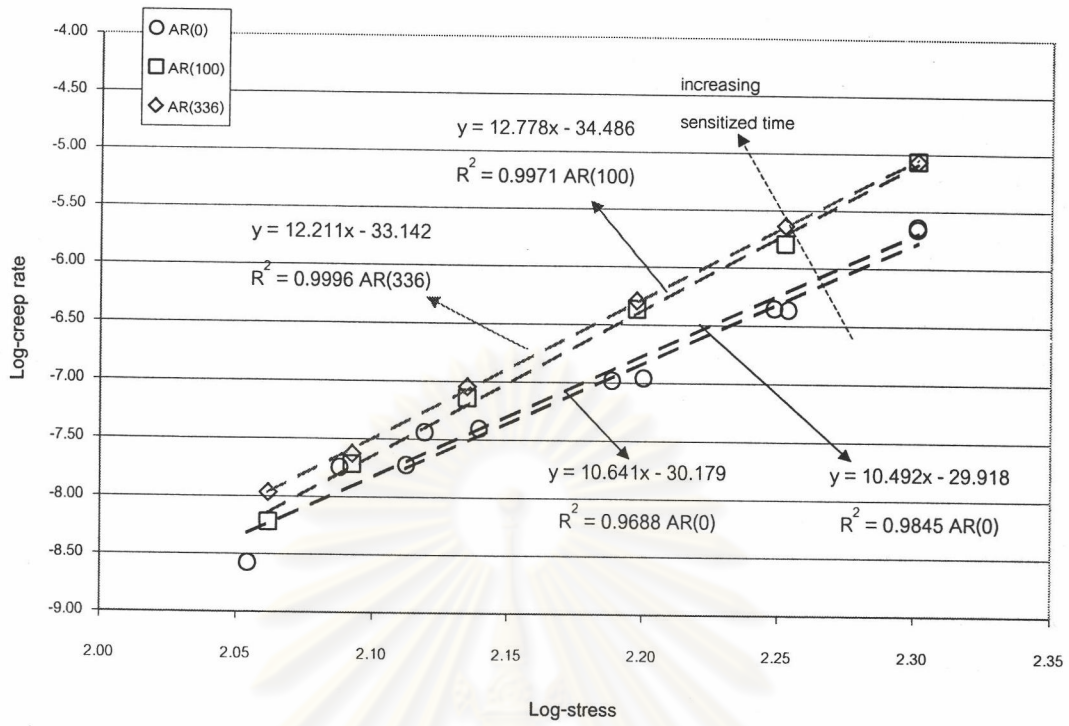
$$\dot{\epsilon} = A\sigma^n \quad 5.2$$

ใส่ log ทั้ง 2 ด้านของสมการจะได้

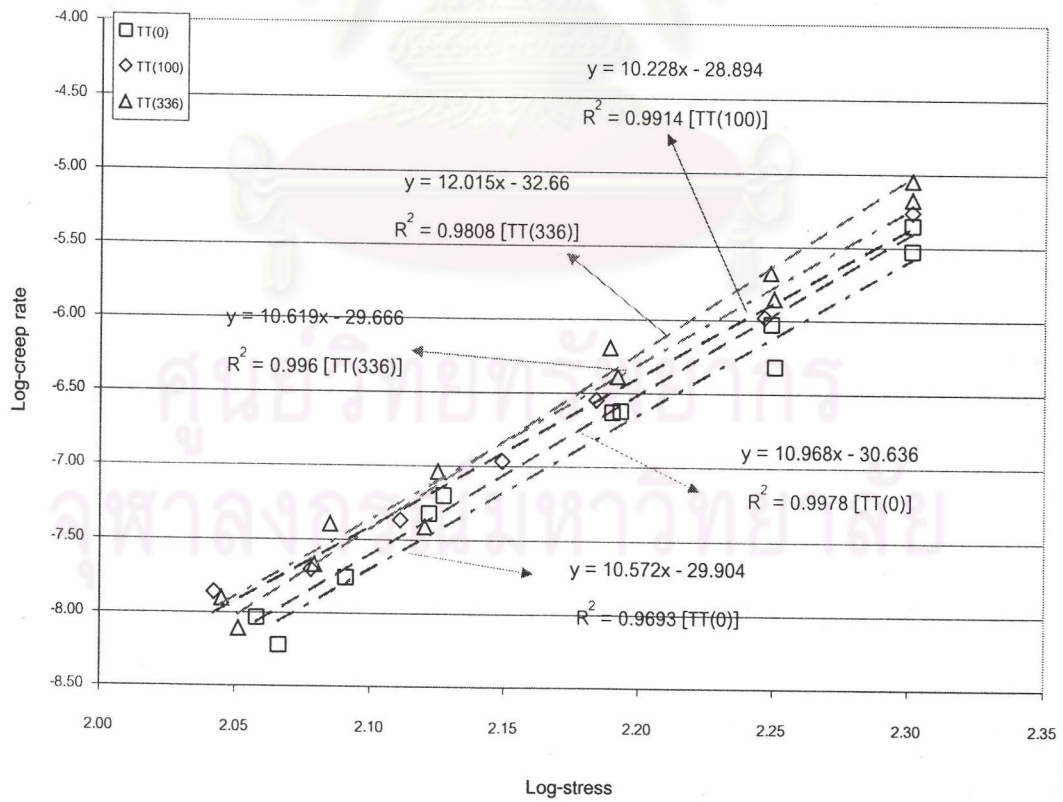
$$\log \dot{\epsilon} = n \log \sigma + A' \quad 5.3$$

จากสมการที่ 5.3 ค่า n คือค่า ความชันของกราฟระหว่างอัตราการคืบกับความเค้นในมาตราส่วน logarithm และค่า n ที่หาได้จากการทดลอง load reduction นี้เรียกว่า apparent stress exponent (n) ซึ่งเป็นค่า n ของโครงสร้างจุลภาคของวัสดุที่เกิดจากค่าความเค้นและอุณหภูมิค่าหนึ่งๆ ในกรณีของการทดลองครั้งนี้ค่า n ที่ได้เป็นค่า n ของโครงสร้างจุลภาค ณ ที่ค่าความเค้น 200 MPa และอุณหภูมิ 650°C ดังนั้นสำหรับค่า n ของ 304AR และ 304TT หาได้จากค่าความชันของกราฟในรูป 5.12 และ 5.13 โดยเปลี่ยนให้อยู่ในมาตราส่วนของ logarithm ดังรูป 5.15 และ 5.16 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

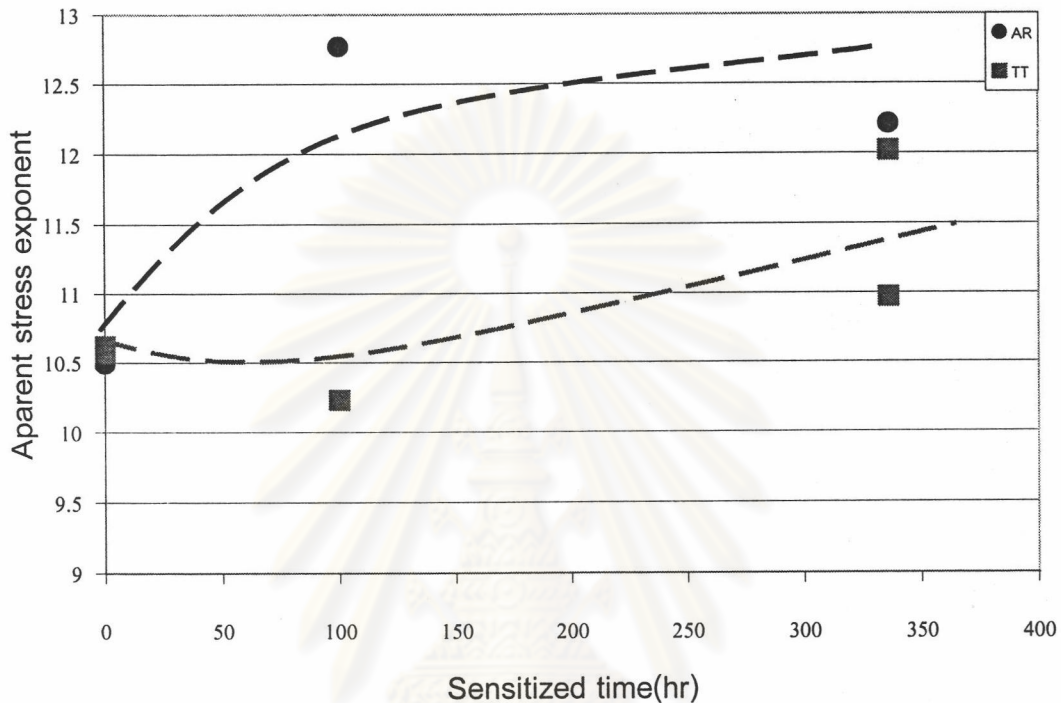


รูปที่ 5.16 apparent stress exponent (ความชันของกราฟ) ของ 304AR ที่ผ่านการเซนซิไทซ์ตามช่วงเวลาต่างๆ



รูปที่ 5.17 apparent stress exponent (ความชันของกราฟ) ของ 304TT ที่ผ่านการเซนซิไทซ์ตามช่วงเวลาต่างๆ

จากข้อมูลผลการทดลองพบว่าค่า n ของ 304TT มีแนวโน้มที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาที่ถูกเซนซิไทท์มากนักและมีค่าน้อยกว่าค่า n ของ 304AR เล็กน้อยหลังจากที่เซนซิไทท์เป็นเวลา 100 และ 300 ชั่วโมง ในขณะที่ 304AR มีแนวโน้มที่ค่า n จะเพิ่มขึ้นหลังจากถูกเซนซิไทท์ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้จากรูป 5.18



รูปที่ 5.18 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า n ของ 304TT และ 304AR หลังจากถูกเซนซิไทท์ด้วยเวลาต่าง

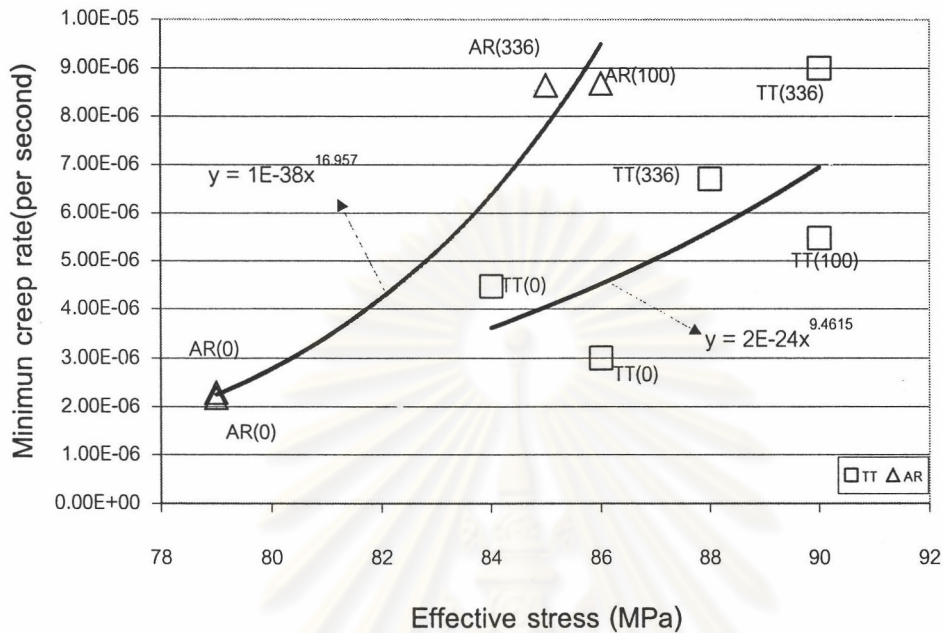
จากการหาค่า n โดยอ้างอิงจากสมการ 5.1 และ 5.2 เป็นการหาค่า n โดยไม่พิจารณาถึงค่าความเค้นภายในซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่สามารถใช้บอกถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาค ดังนั้นเมื่อนำค่าความเค้นภายในมาพิจารณาด้วยจะสามารถเขียนสมการได้ใหม่คือ

$$\dot{\epsilon} = A'(\sigma - \sigma_i)^{n'} \quad 5.4$$

โดยค่า σ คือค่าความเค้นที่ให้กับชิ้นงาน (200 MPa) และค่า σ_i คือค่าความเค้นภายใน และผลต่างระหว่างค่าทั้งสอง ($\sigma - \sigma_i$) เรียกว่า effective stress

จากตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.14 แสดงให้เห็นว่าค่าความเค้นภายในมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการเซนซิไทท์ซึ่งเป็นผลทำให้ค่า effective stress และค่าอัตราการคืบต่ำสุดเพิ่มขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงของ effective stress มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการคืบต่ำสุดของ 304AR มากกว่า

304TT ซึ่งเห็นได้จากรูปที่ 5.19 และเมื่อพิจารณาสมการความสัมพันธ์ที่ได้จากกราฟในรูปที่ 5.19 พบว่า สมการดังกล่าวสามารถเทียบได้กับสมการ 5.4

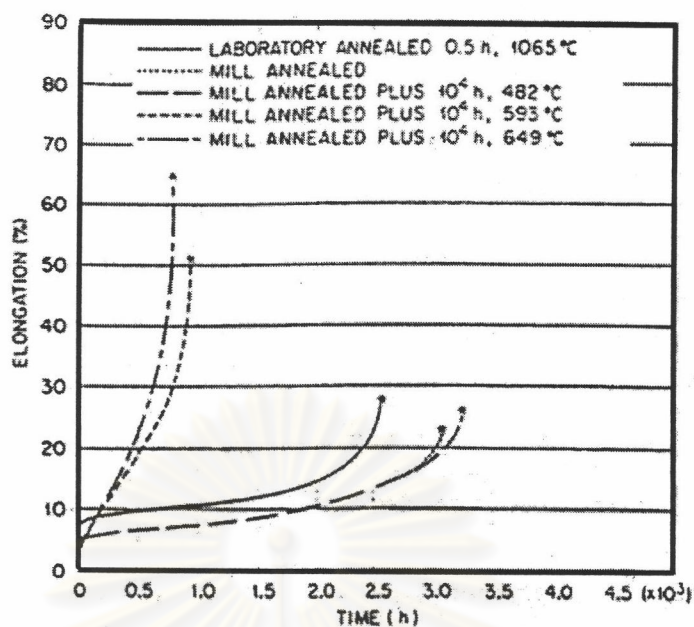


รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคืบต่ำสุดกับค่า effective stress ของชิ้นงาน 304AR และ 304TT ที่ถูกเซนซิไทซ์ที่เวลาต่างๆกัน

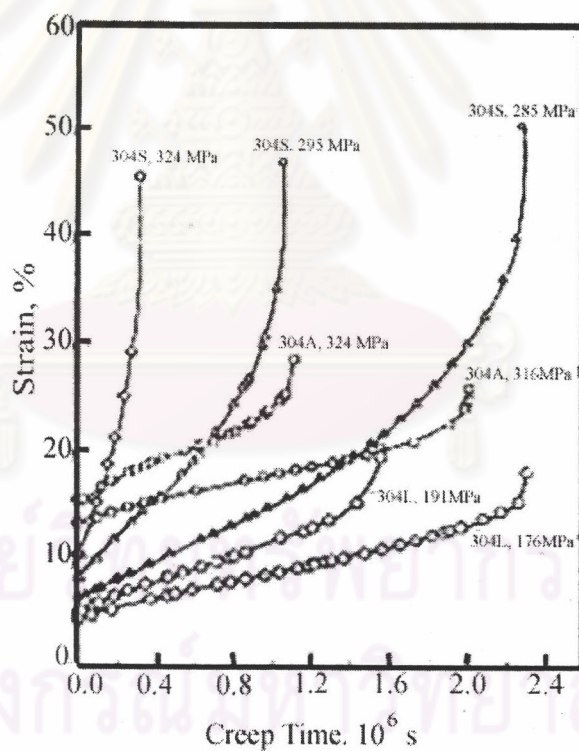
โดยค่า n' ที่ได้จากกราฟมีค่าเท่ากับ 16.967 สำหรับ 304AR และ 9.462 สำหรับ 304TT การที่ค่า n' ของ 304AR มีค่ามากกว่าของ 304TT ทำให้สอดคล้องกับการที่อัตราการคืบต่ำสุด ($\dot{\epsilon}$) ของ 304AR สามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อถูกเซนซิไทซ์

5.5 อภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าค่าความเค้นภายในของ 304TT และ 304AR มีค่าต่ำลงหลังจากถูกเซนซิไทซ์ และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า effective stress กับค่าอัตราการคืบต่ำสุด (รูปที่ 5.19) จะพบว่าอัตราการคืบต่ำสุดของ 304AR มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามระยะเวลาการถูกเซนซิไทซ์เมื่อเปรียบเทียบกับ 304TT เนื่องจากค่า n ของ 304AR มีค่ามากกว่าของ 304TT R.W. Swinderman [33] และ J.He [34] ได้ทดลองนำเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ไปผ่านกระบวนการเซนซิไทแล้วนำมาทดสอบการคืบที่อุณหภูมิและค่าความเค้นสูงใกล้เคียงกับงานวิจัยครั้งนี้พบว่าคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นส่งผลทำให้อัตราการคืบต่ำสุดเพิ่มขึ้นและทำให้เวลาที่ชิ้นงานขาดลดลงซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 5.20 และ 5.21 นอกจากนั้น J.He ยังแสดงให้เห็นว่าคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นที่ขอบเกรนมีผลต่อการป้องกันการเกิดการเลื่อนไถลของขอบเกรนและส่งผลให้ลักษณะของการขาดของชิ้นงานเป็นแบบผ่าเกรน (transgranular fracture) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการขาดของการทดลองครั้งนี้

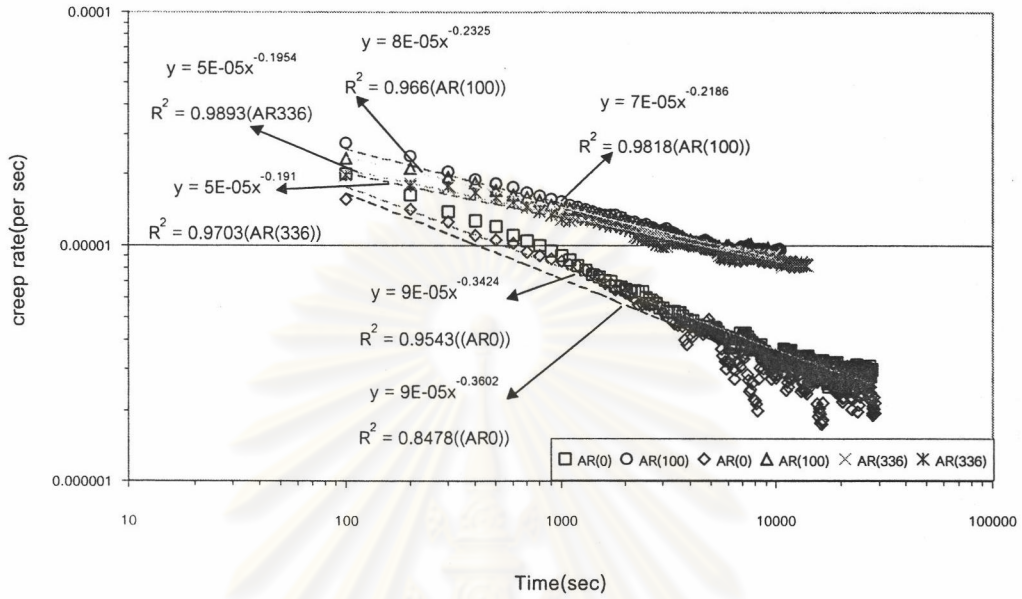


รูปที่ 5.20 ผลของการเซตไทม์เทคเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ต่อการคืบ

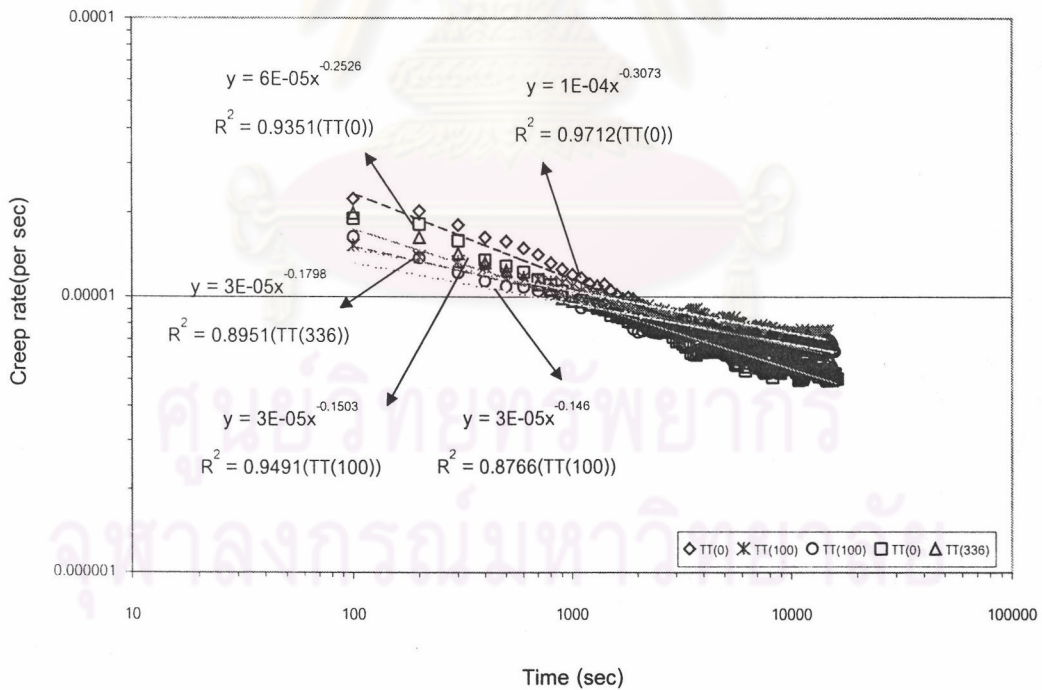


รูปที่ 5.21 ผลของการเซตไทม์เทคเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ต่อการคืบ (304S คือ ชิ้นงานที่ถูกเซตไทม์ 24 ชั่วโมงก่อนนำมาทดสอบการคืบ 304A เป็นชิ้นงานที่ผ่าน solution anneal 304L เป็นชิ้นงานที่มีส่วนผสมคาร์บอนต่ำ)

นอกจากนั้นแล้วเมื่อพิจารณากราฟการคืบในช่วง transient creep (primary และ steady state creep) ของ 304TT และ 304AR ตามรูปที่ 5.22 และ 5.23 พบว่ามีความแตกต่างของกราฟอย่างเด่นชัด จากรูป 5.21 พบว่าเมื่อ 304AR ถูกเซนซิไทซ์กราฟการคืบที่ได้จะยกตัวสูงขึ้นกว่าเดิมและ



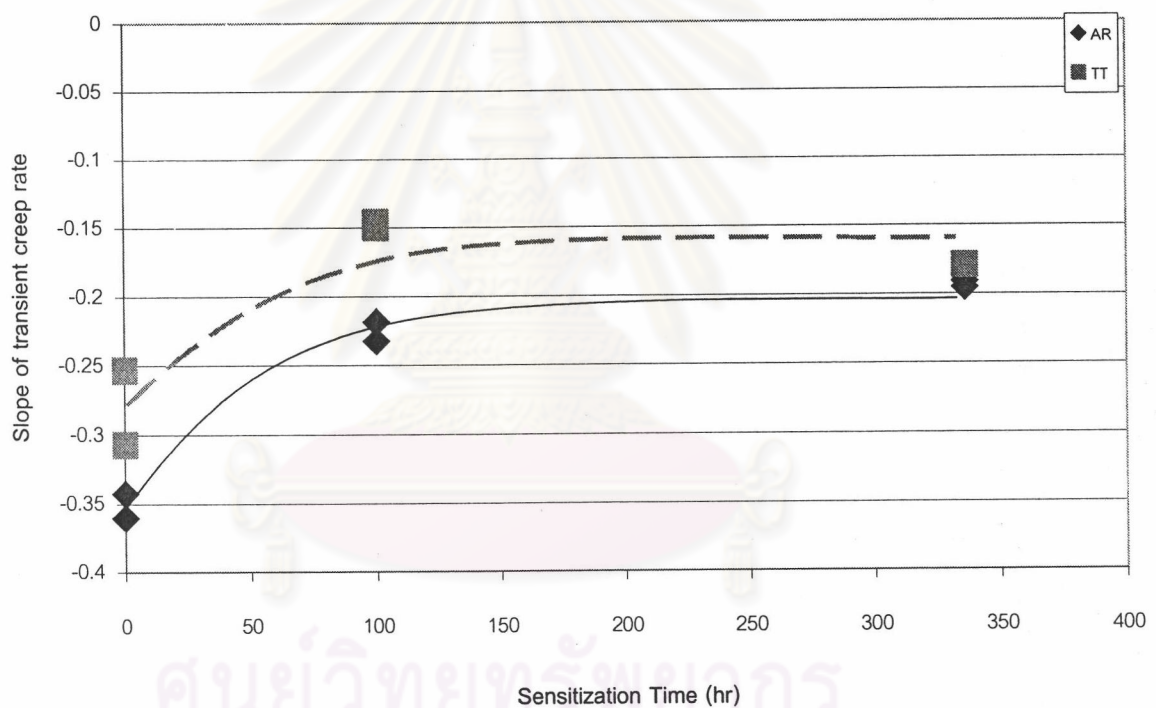
รูปที่ 5.22 กราฟการคืบช่วง transient creep ของ 304AR



รูปที่ 5.23 กราฟการคืบช่วง transient creep ของ 304TT

มีค่าเลขยกกำลัง (หรือค่าความชันของกราฟในมาตราส่วน logarithm) ตีคลบลดลง ที่จุดปลายของกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าอัตราการคืบต่ำสุดเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดหลังจากผ่านการเซนซิไทซ์

สำหรับลักษณะกราฟของ 304TT ค่าความชันที่แสดงในรูป 5.23 มีค่าติดลบลดลงเช่นกัน แต่ที่จุดปลายของกราฟพบว่าค่าอัตราการคืบต่ำสุดไม่แตกต่างกันไปจากชิ้นงานที่ไม่ผ่านการเซนซิไทซ์ เมื่อนำค่าความชันและระยะเวลาการเซนซิไทซ์มาสร้างกราฟจะได้กราฟดังในรูปที่ 5.24 จากรูปสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อผ่านการเซนซิไทซ์ความชันจะเพิ่มขึ้นโดยความชันของ 304TT จะมีค่ามากกว่า 304AR และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นภายในกับเวลาในการ เซนซิไทซ์ (รูปที่ 5.14) จะพบว่าค่าความเค้นภายในมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับค่าความชันของกราฟอัตราการคืบ (ในมาตราส่วน logarithm)



รูปที่ 5.24 ค่าความชันของกราฟอัตราการคืบกับระยะเวลาการเซนซิไทซ์ของ 304AR และ 304TT

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวของค่าความชันกับค่าความเค้นภายใน สามารถอธิบายได้ว่า ค่าความเค้นภายในของ 304AR และ 304TT มีค่าลดลงหลังจากผ่านการเซนซิไทซ์ น่าจะมีสาเหตุมาจากปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในเมทริกซ์ลดลงเนื่องจากคาร์บอนแพร่ออกมารวมตัวกับโครเมียมที่ขอบเกรน เหตุการณ์เหล่านี้แสดงให้เห็นได้จากความชันของกราฟอัตราการคืบที่ลดลงหลังจากผ่านการเซนซิไทซ์ (รูปที่ 5.22 และ 5.23) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Abe [24]

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่า n และอัตราการคืบต่ำสุดพบว่าค่า n ของ 304AR มีค่าเปลี่ยนไปหลังถูกเซนซิไทซ์น่าจะมีสาเหตุมาจากโครงสร้างจุลภาคที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากที่ถูกเซนซิไทซ์ (สังเกตได้จากรูปที่ 5.15) จึงส่งผลให้ค่าอัตราการคืบต่ำสุดเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน ในขณะที่ ค่า n ของ 304TT มีการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยหลังจากที่ถูกเซนซิไทซ์น่าจะมีสาเหตุเนื่องมาจาก โครงสร้างจุลภาคของ 304TT มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก (สังเกตได้จากรูปที่ 5.16) จึงส่งผลให้ค่าอัตราการคืบต่ำสุดเปลี่ยนแปลงน้อยมากเช่นกัน

5.6 สรุป

จากงานวิจัยนี้พบว่า การผ่านกระบวนการความร้อนเชิงกลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของวัสดุซึ่งสามารถวัดได้จากการกระจายตัวของความลาดเอียงของระนาบขอบเกรน และจากค่าความเค้นภายในของ ชิ้นงานตัวอย่าง และจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่ากลไกการคืบของวัสดุเกิดจากการเสีรูปร่างภายในเกรนไม่ได้เกิดจากการเลื่อนไถลของขอบเกรน และจากการทดลองพบว่าระยะเวลาการเซนซิไทซ์มีผลทำให้ค่าความเค้นภายในลดลงและความเค้นภายในที่เกิดขึ้นมีผลต่ออัตราการคืบต่ำสุดด้วยเช่นเดียวกัน จากการทดลองจะเห็นได้ว่าถึงแม้ค่าความเค้นภายในของ 304TT จะค่าค่อนข้างต่ำกว่าของ 304AR แต่อัตราการคืบต่ำสุดของ 304AR นั้นเปลี่ยนไปตามเวลาการเซนซิไทซ์มากกว่า 304TT ซึ่งเป็นเพราะค่า n' ในสมการที่ 5.3 ที่ต่างกันสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ยังไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจนว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า ความเค้นภายใน และค่า stress exponent มีผลมาจากอิทธิพลการของโครงสร้างจุลภาคแบบใดซึ่งอาจต้องทำการทดลองต่อไปโดยการศึกษาโครงสร้างจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM) เพื่อคุณลักษณะการกระจายตัวและขนาดของคาร์ไบด์ และดิสโลเคชันที่เกิดขึ้นขณะการคืบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย