

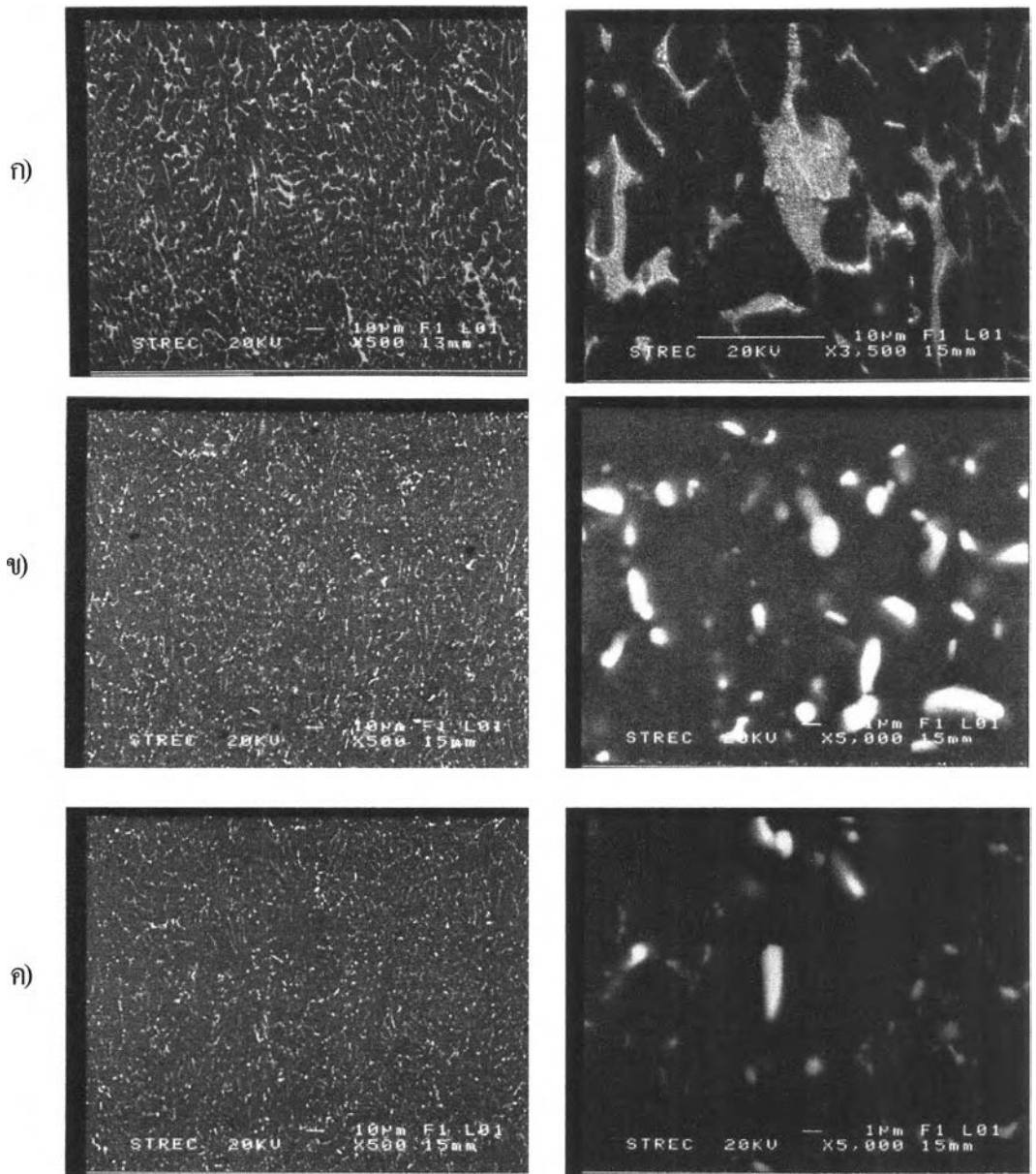
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เนื่องจากการวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของกระบวนการเชิงความร้อนและเชิงกลสำหรับอะลูมิเนียมแผ่น ดังนั้นรายละเอียดสำหรับผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองจะอธิบายตามตัวแปรของการทดลอง ซึ่งเป็นส่วนประกอบของกระบวนการเชิงความร้อนและเชิงกล คือ การอบไฮโดรเจนในเซชัน การรีดเย็น และ อุณหภูมิการอบอ่อน แม้ว่าตัวแปรต่างๆจะถูกอธิบายแยกกันอย่างชัดเจน แต่กระบวนการเชิงความร้อนและเชิงกลเป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องดังนั้นผลการอภิปรายบางส่วน โดยเฉพาะในส่วนของ การอบอ่อนจำเป็นต้องใช้ข้อมูลอธิบายร่วมกับผลของการอบไฮโดรเจนในเซชันและการรีดเย็น เพื่อให้การแสดงผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองเป็นไปอย่างชัดเจน

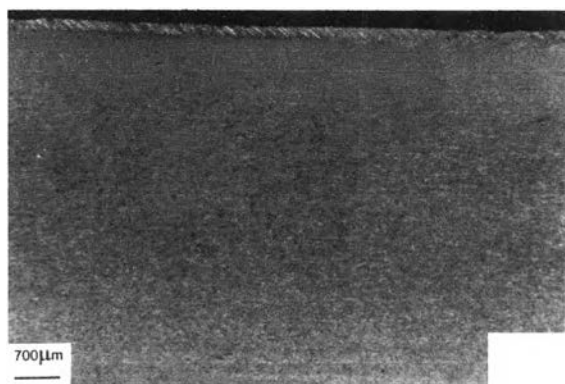
4.1 การอบไฮโดรเจนในเซชัน

ผลการอบไฮโดรเจนในเซชันที่มีต่อชิ้นงานผ่านการหล่อได้แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4-1 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (Scanning Electron Microscope) ในโหมดการทำงานด้วย Back Scatter Electron พบว่าอนุภาคถูกแสดงด้วยบริเวณสีขาวของรูป เนื่องจากการนำหน้าของอะตอมของเหล็ก และ แมงกานีสมากกว่าอะลูมิเนียม จากรูปที่ 4-1 แสดงให้เห็นว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเฟสที่สองเนื่องจากการอบไฮโดรเจนในเซชัน โดยเฟสที่สองที่มีลักษณะ Coarse Interdendritic ของชิ้นงาน ที่ผ่านการหล่อหิว โรลจะแยกตัวกลายเป็นอนุภาคนาโนขนาดเล็กที่มีลักษณะหลายรูปร่าง ตั้งแต่รูปร่างแบบแท่ง แบบเม็ดกลม(Round shape)จนถึงแบบ ไม่มีรูปร่าง(Irregular shape) ภายหลังจากการอบไฮโดรเจนในเซชันที่ 550 และ 580 องศาเซลเซียส โดยการอบที่อุณหภูมิต่างกันกลับไม่พบความแตกต่างในโครงสร้างจุลภาค ทั้ง ลักษณะเกรนและการกระจายตัวของอนุภาคดังรูปที่ 4-1 และ 4-2 ในรูปที่ 4-2 แสดงให้เห็นถึงลักษณะเกรนซึ่งพบการตกผลึกใหม่เกิดในชิ้นงานภายหลังจากการหล่อ และอบไฮโดรเจนในเซชัน ทำให้ความแข็งและความแข็งแรงของชิ้นงานลดลงซึ่งผลดังกล่าวสะท้อนถึงความสามารถในการลดระดับ สำหรับการรีดเย็นซึ่งพบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการอบไฮโดรเจนในเซชันจะเพิ่มความสามารถในการรีดลดขนาด ทำให้รีดลดขนาดได้ง่ายกว่า ชิ้นงานประเภทไม่ผ่านการอบไฮโดรเจนในเซชัน

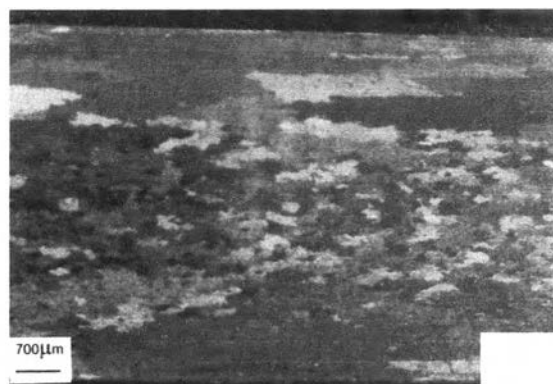
แม้ว่าในการศึกษาผลงานวิจัยเบื้องต้น⁽⁵⁾ จะพบPrecipitateของสารประกอบเชิงโลหะหลายชนิดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์TEP และการ Quenching ดังรูปที่ 2-8 และ 2-9 แต่จากการตรวจสอบผลการทดลองด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน กลับพบสารประกอบเชิงโลหะ ชนิดเดียวกันทั้งในชิ้นงานประเภทไม่ผ่านการอบไฮโดรเจนในเซชันและประเภทผ่านการอบไฮโดรเจนในเซชัน ดังรายละเอียดภาคผนวก ข ซึ่งพบสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก และ แมงกานีสเช่น Al_3Mn $Al_{11}Mn_{14}$ Al_6Mn Al_3Fe Al_5Fe_2 อย่างไรก็ตามการตรวจสอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน เป็นเพียงการบ่งความเป็นไปได้ของชนิดของสารประกอบภายในอะลูมิเนียม แต่ไม่สามารถบอกการเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณได้



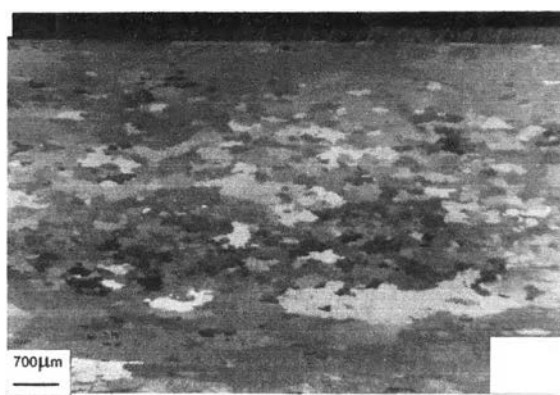
รูปที่ 4-1 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (SEM) แสดงความแตกต่างของการกระจายตัวของอนุภาคจากการอบไฮโมจิในเซชันของชิ้นงานประเภท ก) ไม่ผ่านการอบไฮโมจิในเซชัน ข) ผ่านการอบไฮโมจิในเซชัน ที่ 550 องศาเซลเซียส ค) ผ่านการอบไฮโมจิในเซชัน ที่ 580 องศาเซลเซียส



ก)



ข)



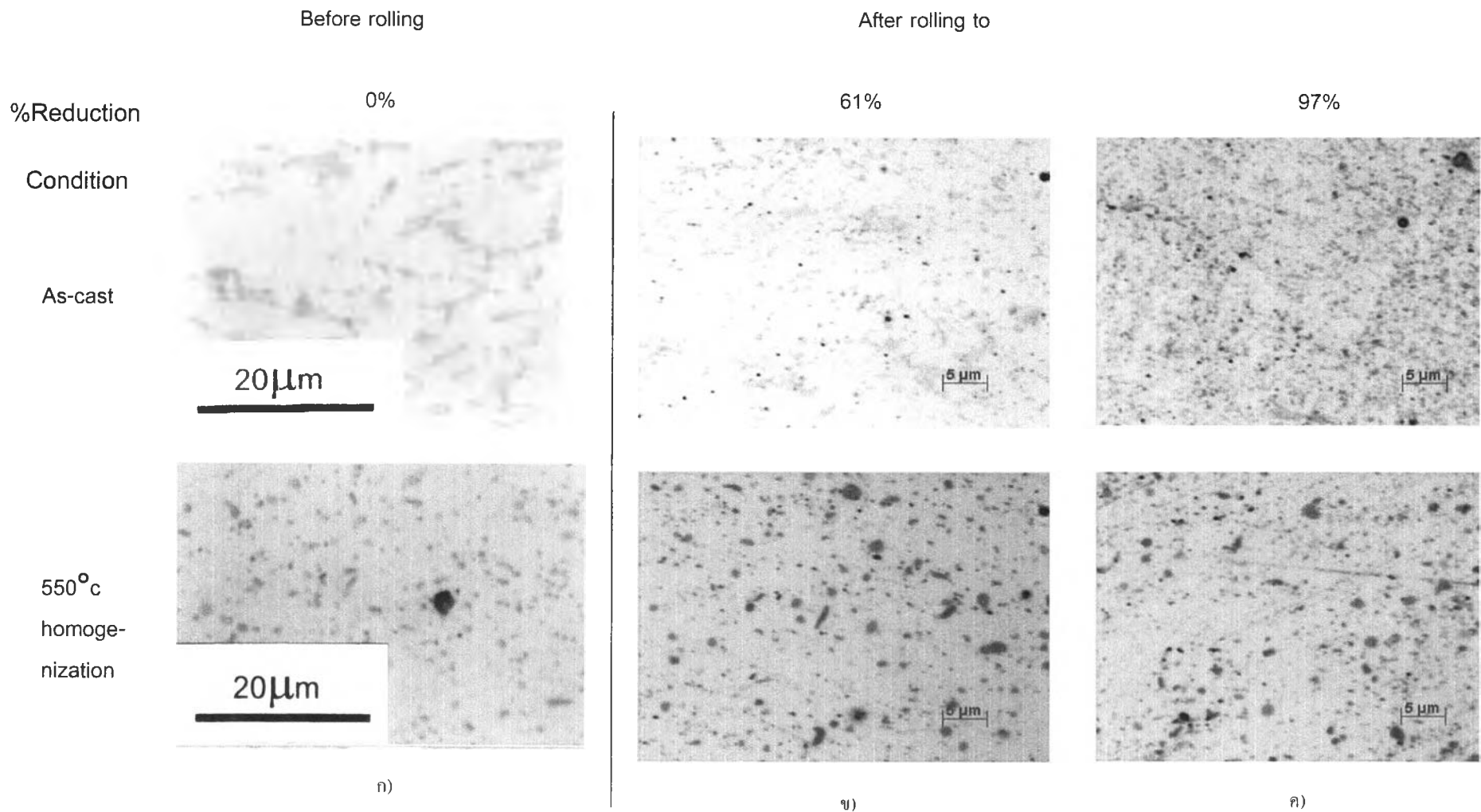
ค)

รูปที่ 4-2 ลักษณะเกรนของชิ้นงานประเภท ก) ไม่ผ่านการอบไฮโมจิโนเซชัน ข) ผ่านการอบไฮโมจิโนเซชัน ที่ 550 องศาเซลเซียส ค) ผ่านการอบไฮโมจิโนเซชัน ที่ 580 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 16.7x)

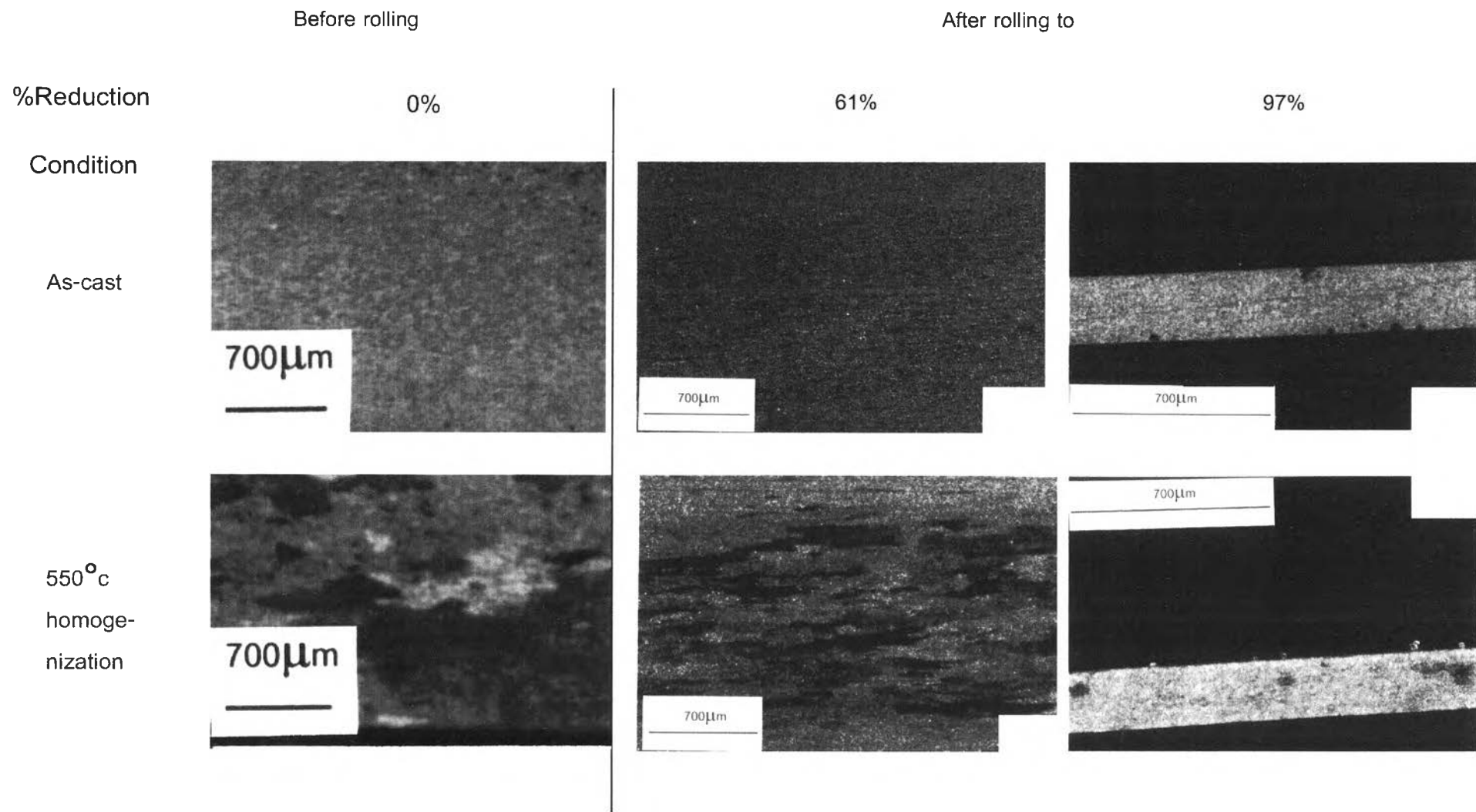
4.2 การรีดเย็น

การรีดเย็นทำให้รูปร่างเกรนและเฟสที่สองเกิดการบิดเบี้ยวไปซึ่งความแตกต่างที่พบเห็นสามารถแยกออกได้เป็น 2 ประเภทคือ 1) ชิ้นงานประเภทไม่ผ่านการอบไฮโมจิโนเซชัน จะพบการแตกสลายของเฟสที่สองอย่างชัดเจน เมื่อเพิ่มอัตราการรีดเย็น ดังรูปที่ 4-3 แต่เมื่อศึกษาลักษณะของเกรนกลับไม่พบการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง(รูปที่ 4-4) ซึ่งเกิดจากความสามารถของกล้องจุลทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง(Optical microscope)ที่ไม่สามารถแสดงลักษณะของเกรนและลักษณะsubgrainได้ 2) ชิ้นงานประเภทที่ผ่านการอบไฮโมจิโนเซชันที่ 550 และ 580 องศาเซลเซียส พบว่ารูปร่างเกรนเกิดการแตกสลายอย่างชัดเจน แต่ไม่มีการเปลี่ยนรูปร่างของเฟสที่สองดังรูปที่ 4-3 และ 4-4

เมื่อพิจารณาลักษณะเกรนภายหลังการอบอ่อน พบว่าการตกผลึกใหม่สำหรับชิ้นงานที่ผ่านการอบไฮโมจิโนเซชัน เกิดขึ้นน้อยลงเมื่อเพิ่มอัตราการรีดเย็นและพบโครงสร้างแบบ abnormal grain growth ขึ้นในชิ้นงานที่มีอัตราการรีดเย็นสูง (รูป 4-6) ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลงานวิจัยในเอกสารอ้างอิงที่ 13 นอกจากนี้ จากผลการทดลองรวมถึงข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง 13 และ 14 สามารถอ้างอิงได้ว่าอัตราการรีดเย็นเป็น ปัจจัยสำคัญตัวหนึ่งที่ส่งผล ต่อแนวโน้มการตกผลึกที่ลดลง ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากค่าเฉลี่ยของ misorientation ของ subgrain ที่เพิ่มขึ้นจากอัตราการแปรรูปที่รุนแรง (severe plastic strain) ส่วนการเกิด abnormal grain growth ซึ่งเกิดขึ้นในชิ้นงานที่อัตราการรีดเย็น 92-97 เปอร์เซ็นต์ สำหรับชิ้นงานที่ผ่านการอบไฮโมจิโนเซชันเป็นผลสนับสนุนจากกลไก PSN เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนรูปร่างของเฟสที่สองในช่วงการอบไฮโมจิโนเซชัน



รูปที่ 4-3 การกระจายตัวของอนุภาคเมื่อเพิ่มอัตราการรีดเย็นของชิ้นงานประเภท as-cast และชิ้นงานประเภทผ่านการอบ โฮโมจิไนเซชันที่ 550 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 1000x)

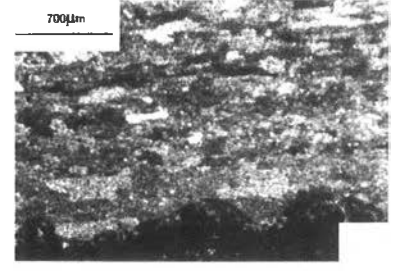
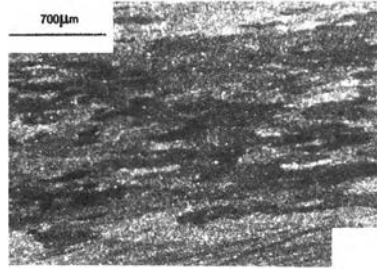


รูปที่ 4-4 ลักษณะเกรน เมื่อเพิ่มอัตราการรีดเย็นของชิ้นงานประเภทไม้ผ่านการอบโฮโมจิไนเซชันและชิ้นงานประเภทผ่านการอบโฮโมจิไนเซชันที่ 550 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 50x และ 100x)

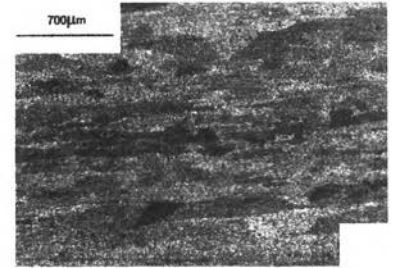
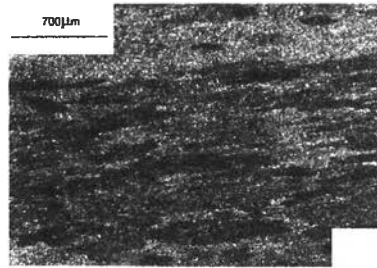
550°C homogenization &
300°C annealing

580°C homogenization &
300°C annealing

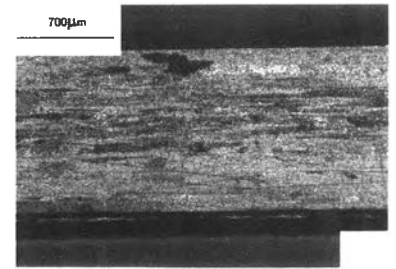
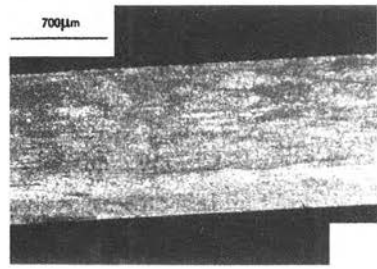
61%reduction



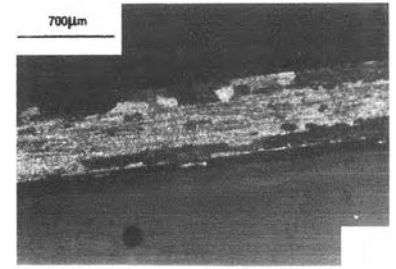
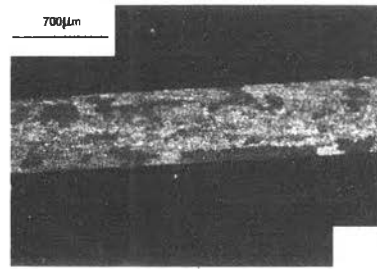
71%reduction



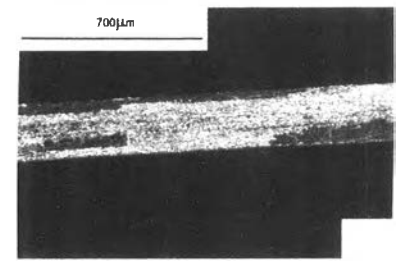
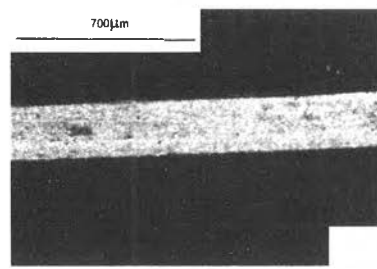
83%reduction



92%reduction



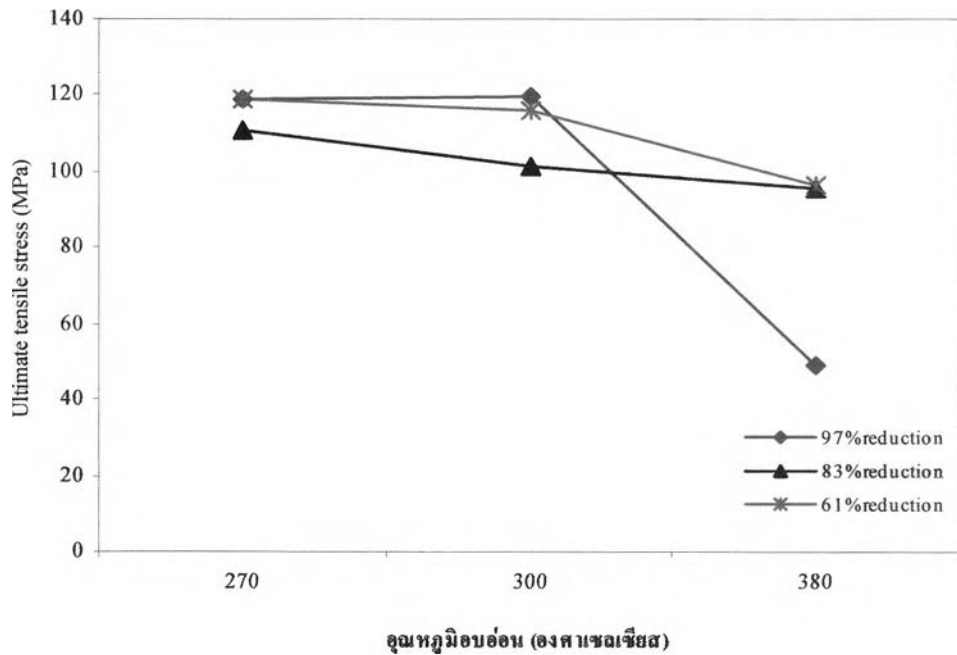
97%reduction



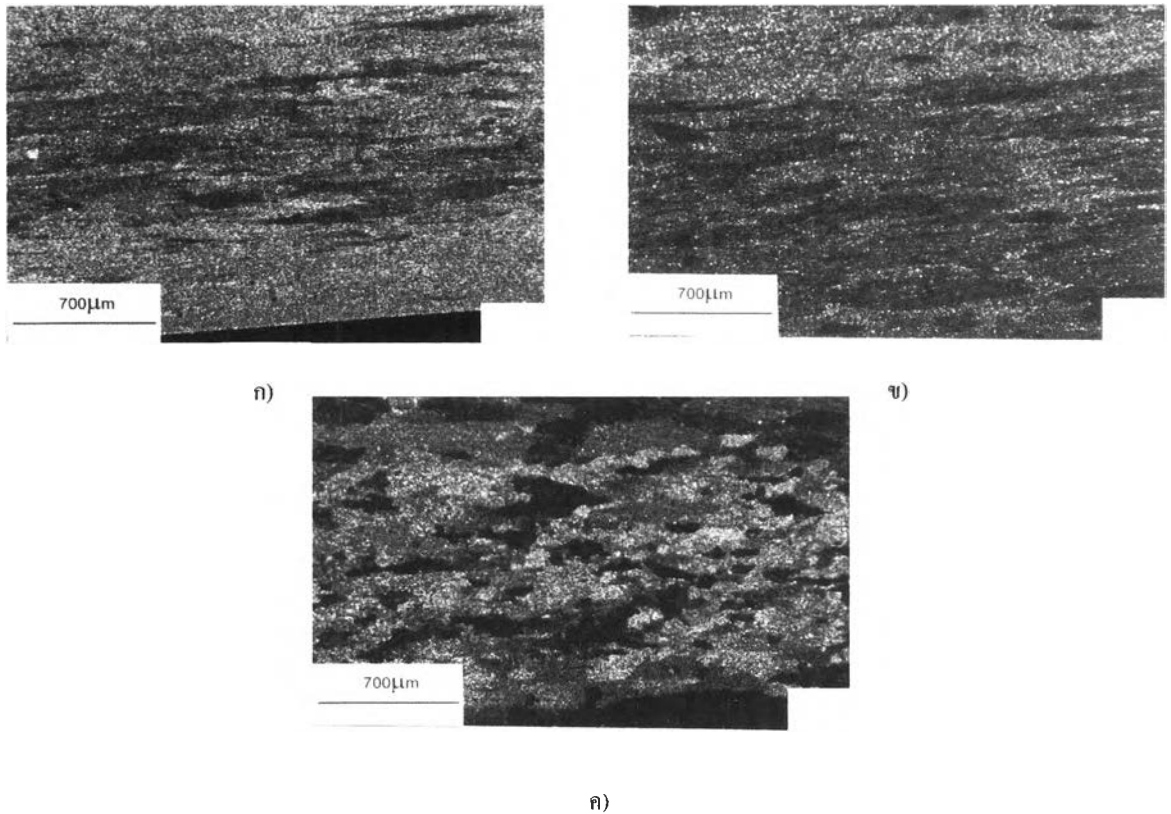
รูปที่ 4-5 ลักษณะเกรนของชิ้นงานประเภทผ่านการอบไฮโมจิโนเซชันและอบอ่อนที่ 300 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงอัตราการรีดเย็น (กำลังขยาย 50x และ 100x)

4.3 การอบอ่อน (Back Annealing)

รูปที่ 4-6 แสดงให้เห็นการเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อนจะลดค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) และกระตุ้นการตกผลึกใหม่ในชิ้นงานดังรูปที่ 4-7 แต่ยังพบชิ้นงานที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคเมื่ออบอ่อนที่อุณหภูมิ 270 -300 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่า Ductility เกือบคงที่และค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ลดลงเพื่อเล็กน้อยดังรูปที่ 4-6, 4-7 และตารางที่ ๓-2 และ ๓-3 จากผลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า โครงสร้างจุลภาคที่เปลี่ยนแปลงในช่วงอบอ่อนที่ 270-300 องศาเซลเซียสอยู่ในสภาวะการคืนตัว (recovery state) เนื่องจากมีโครงสร้างจุลภาคไม่เปลี่ยนแปลงและสมบัติเชิงกลเกือบคงที่ ส่วนการตกผลึกใหม่แบบ Full Recrystallization จะสามารถพบได้ในชิ้นงานที่ผ่านการอบ โส โมจิ ในเซชัน และอบอ่อนที่ 380 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4-7



รูปที่ 4-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความแข็งแรงสูงสุดของชิ้นงานประเภทผ่านการอบ โส โมจิ ในเซชันที่ 580 องศาเซลเซียสเมื่อเปรียบเทียบกับผลการเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อน



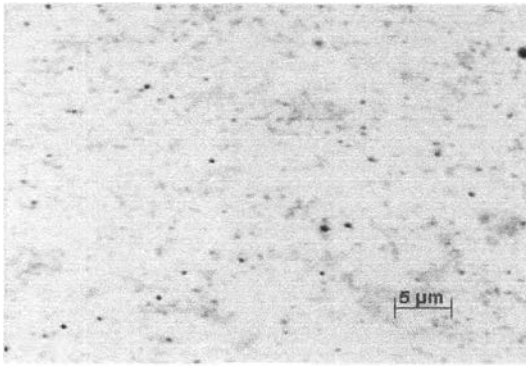
รูปที่ 4-7 ผลการเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อนต่อลักษณะเกรนของชิ้นงานประเภทผ่านการอบ ไฮโมจิในเซชันที่ 550 องศาเซลเซียสมีอัตราการรีดเย็นที่ 71% ภายหลังการอบอ่อนที่ ก) 270 องศาเซลเซียส ข) 300 องศาเซลเซียส ค) 380 องศาเซลเซียส(กำลังขยาย 50x)

การอบอ่อนกระตุ้นให้เกิดการตกผลึกของอนุภาคขนาดเล็กละเอียด ซึ่งจะพบชัดเจนในชิ้นงานประเภทไม่ผ่านการอบไฮโมจิในเซชันดังรูปที่ 4-8 โดยมีแนวโน้มเป็นไปตามผลงานวิจัยเบื้องต้นจากเอกสารอ้างอิง 5 ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า กลไกการเกิดอนุภาคขนาดเล็กสำหรับการขัดขวาง grain growth และการตกผลึกใหม่ถูกสนับสนุนโดยการอบอ่อน ซึ่งจะเห็นผลนี้ชัดเจนในชิ้นงานประเภทไม่ผ่านการอบไฮโมจิในเซชัน อย่างไรก็ตาม การตกผลึกใหม่ยังคงพบในชิ้นงานประเภทผ่านการอบไฮโมจิในเซชันเนื่องจากการเกิดอนุภาคขนาดมากกว่า 1 ไมครอนจากการสนับสนุนของกลไก PSNทำให้ยังคงพบโครงสร้างที่เกิดการตกผลึกใหม่ในชิ้นงานที่ผ่านการอบไฮโมจิในเซชัน และอบอ่อนที่อุณหภูมิสูง(380 องศาเซลเซียส) ดังรูปที่ 4-7

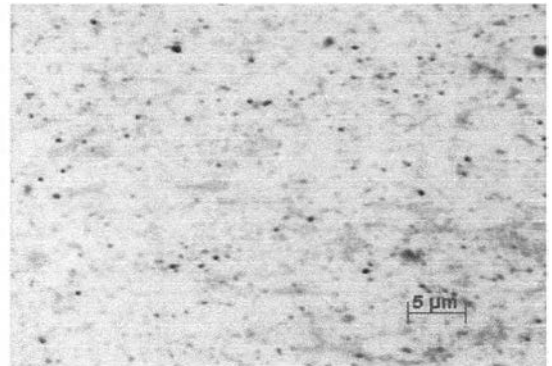
การพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างจุลภาคต่อสมบัติเชิงกลสามารถแบ่งการพิจารณาออกได้เป็น 2 กรณีดังนี้

1) ในชิ้นงานประเภทไม่ผ่านการอบไฮโมจิในเซชันพบว่า ค่า ductility และลักษณะ โครงสร้างจุลภาคไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อน มีเพียงค่า tensile strength เท่านั้นที่ลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อนดังรูป 4-10 ก) และ ข) นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะ

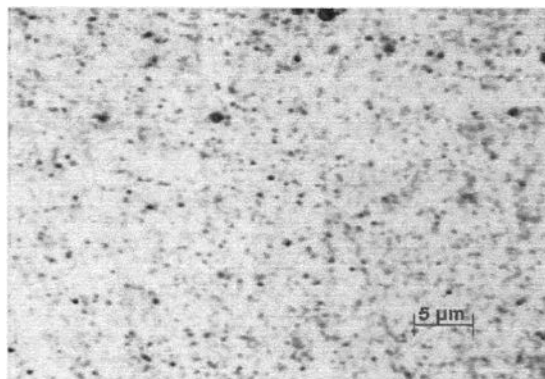
โครงสร้างจุลภาคไม่มีการเปลี่ยนแปลง หลังอบอ่อนดังรูปที่ 4-9 จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างจุลภาคภายหลังการอบอ่อนยังคงอยู่ในสภาวะคีนตัว ซึ่งเป็นผลสนับสนุนของกลไกอนุภาคขนาดเล็กขัดขวางการตกผลึกใหม่และ grain growth จากการแตกสลายของเฟสที่สองในช่วงการรีดเย็น และการเกิดอนุภาคขนาดเล็กในช่วงการอบอ่อน ดังรูปที่ 4-3 และ 4-8 แม้ว่า กลไก PSN น่าจะส่งผลต่อให้เกิดการตกผลึกใหม่ในชิ้นงานประเภทที่ไม่ผ่านการอบไฮโมจิในเซชัน เนื่องจากยังคงพบ อนุภาคขนาดใหญ่ในชิ้นงานที่อัตราการรีดเย็น 61% แต่เนื่องจากการไม่มีเสถียรภาพของโครงสร้าง ทำให้ภายหลังการอบอ่อนเกิดอนุภาค ขนาดเล็กดังรูปที่ 4-8 และไม่พบโครงสร้างที่มีการตกผลึกใหม่ในชิ้นงานประเภทไม่ผ่านการอบ ไฮโมจิในเซชันทั้งหมด(รูปที่ 4-9)



ก)

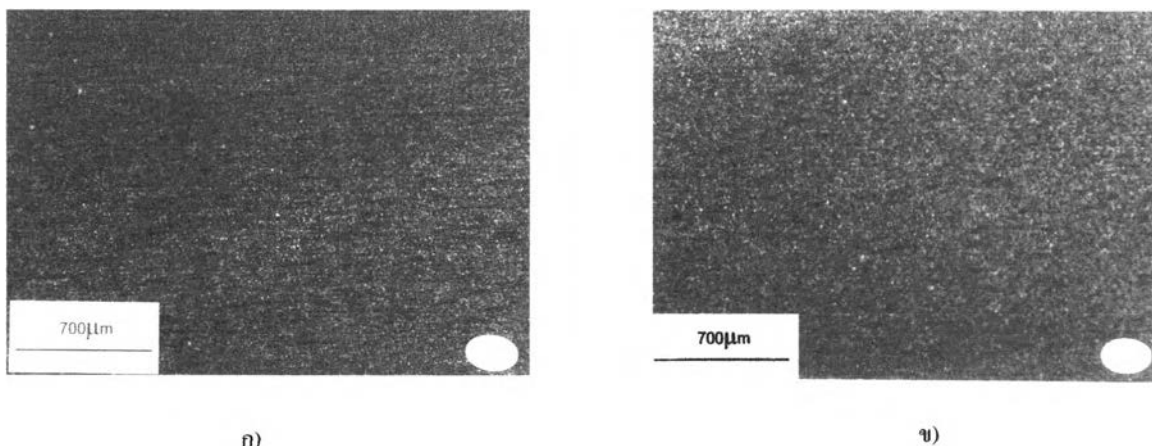


ข)

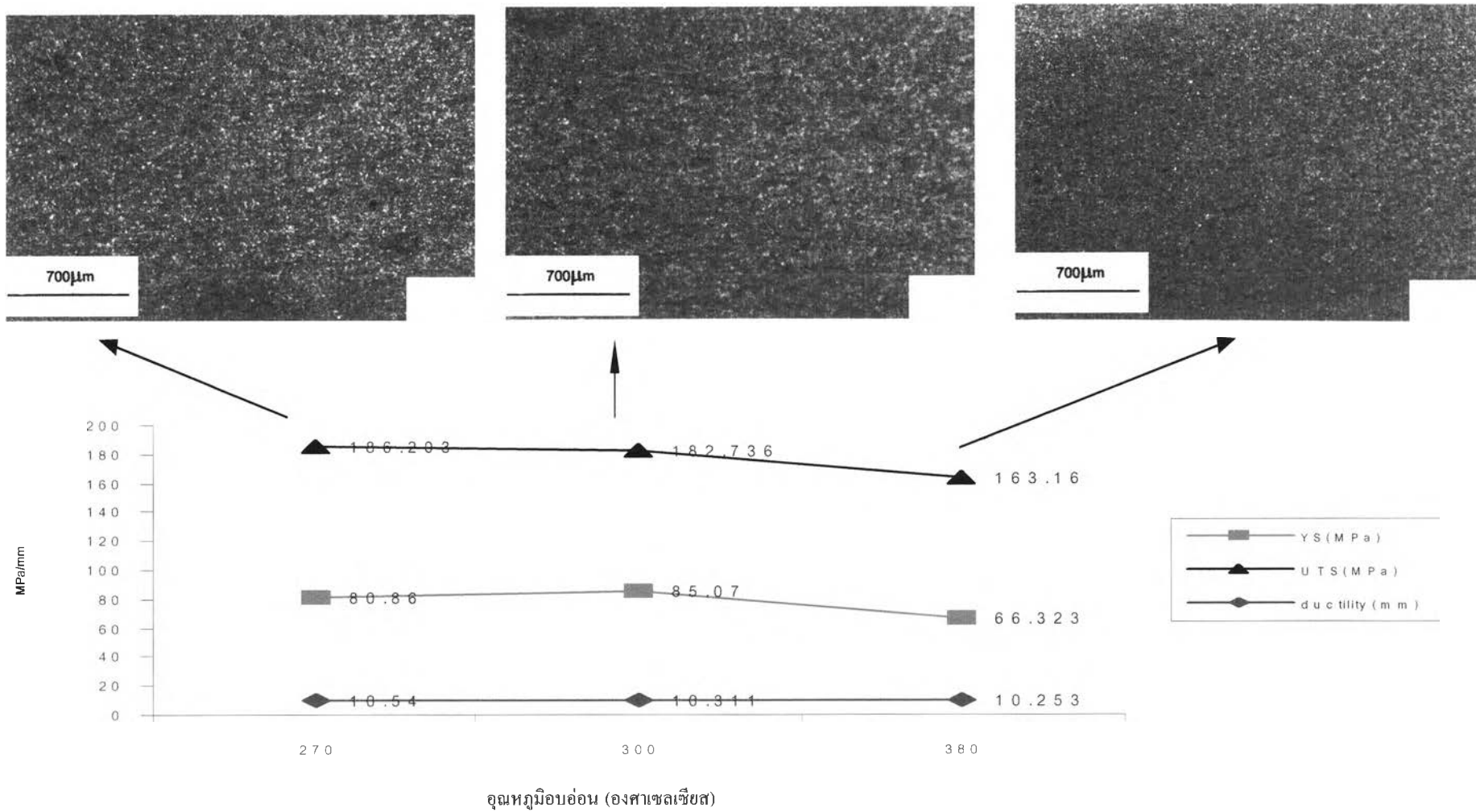


ค)

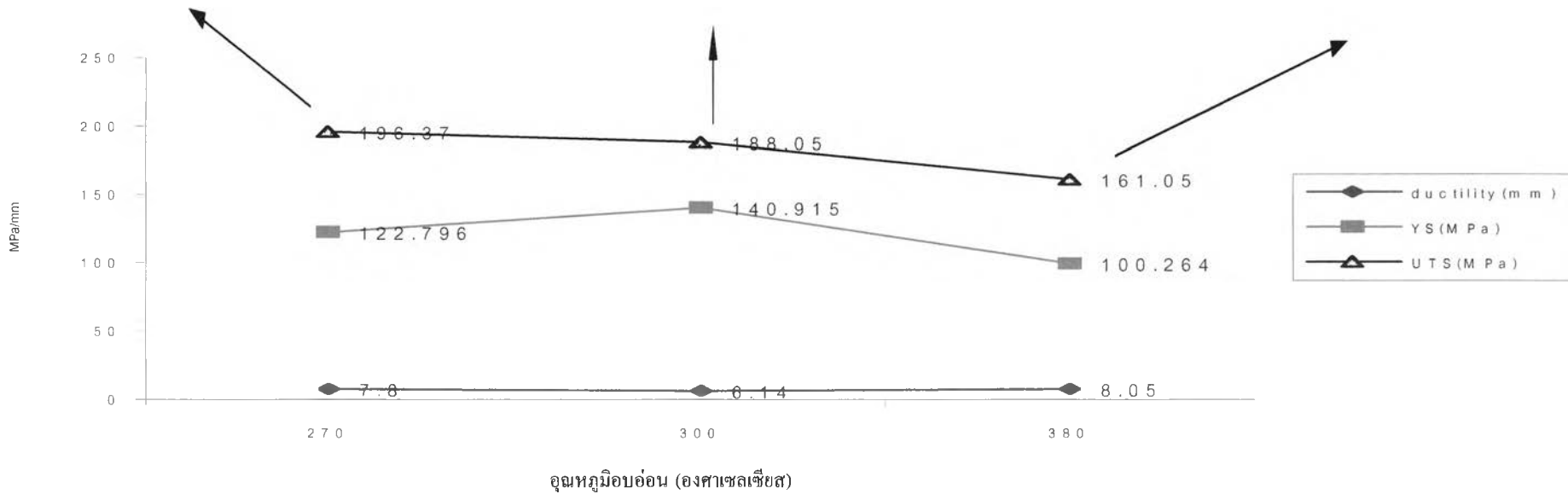
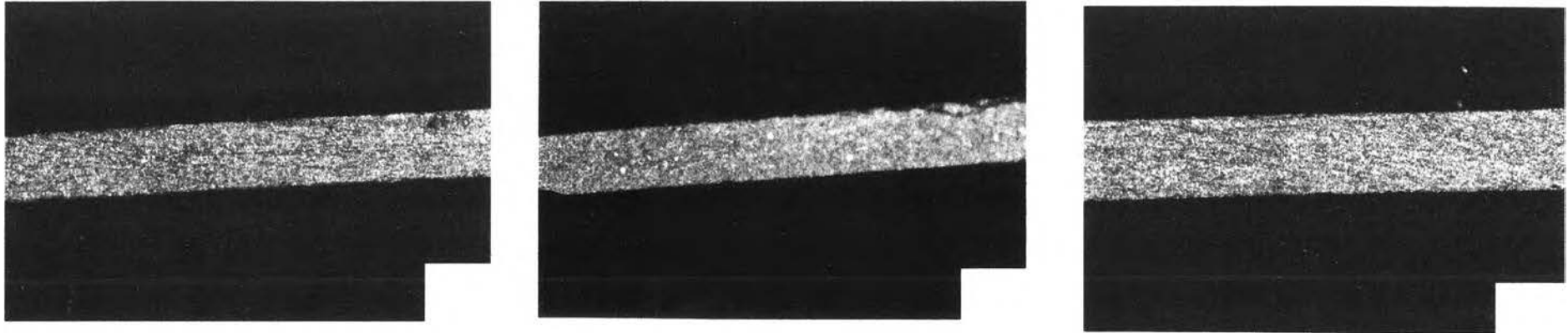
รูปที่ 4-8 ผลการเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อนต่อลักษณะการกระจายตัวของชิ้นงานประเภทไม่ผ่านการอบไฮโมจิในเซชัน ที่อัตราการรีดเย็น 61% ก) ภายหลังการรีด ข) ภายหลังอบอ่อนที่ 300 องศาเซลเซียส ค) ภายหลังอบอ่อนที่ 380 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 1000x)



รูปที่ 4-9 ลักษณะเกรนของชิ้นงานประเภทไม้ผ่านการอบ โซ โมจิโนเซชัน ที่อัตราการรีดเย็น 61% ก) ภายหลังจากการรีด ข) หลังอบอ่อนที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 50x)



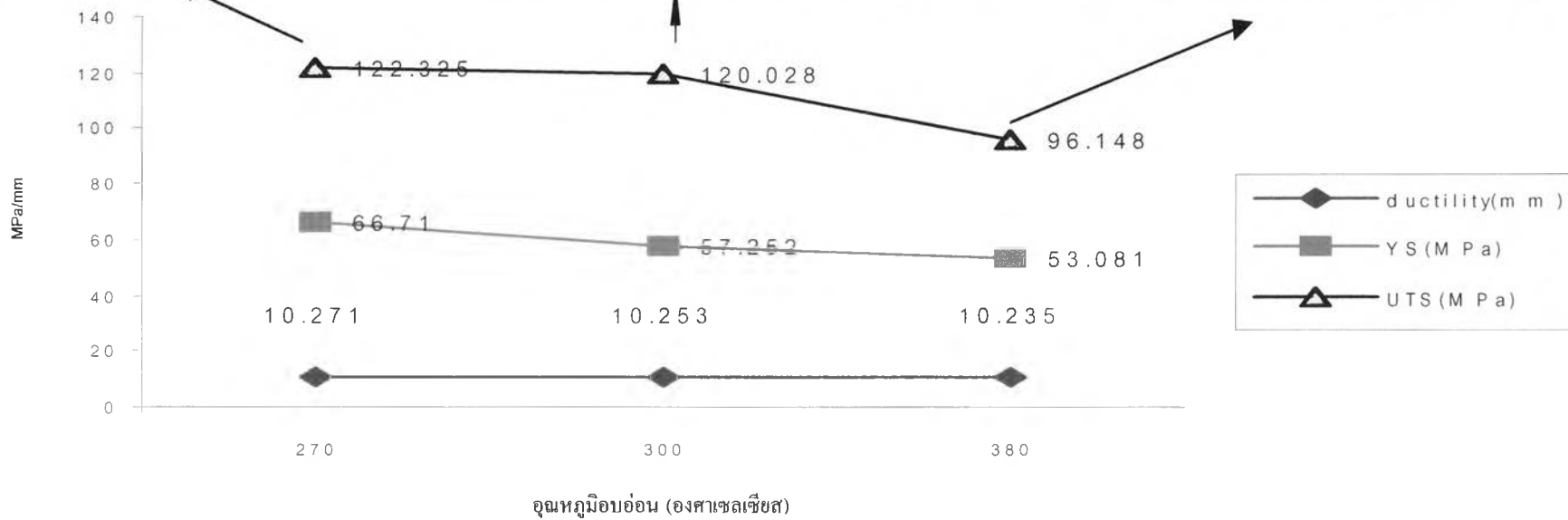
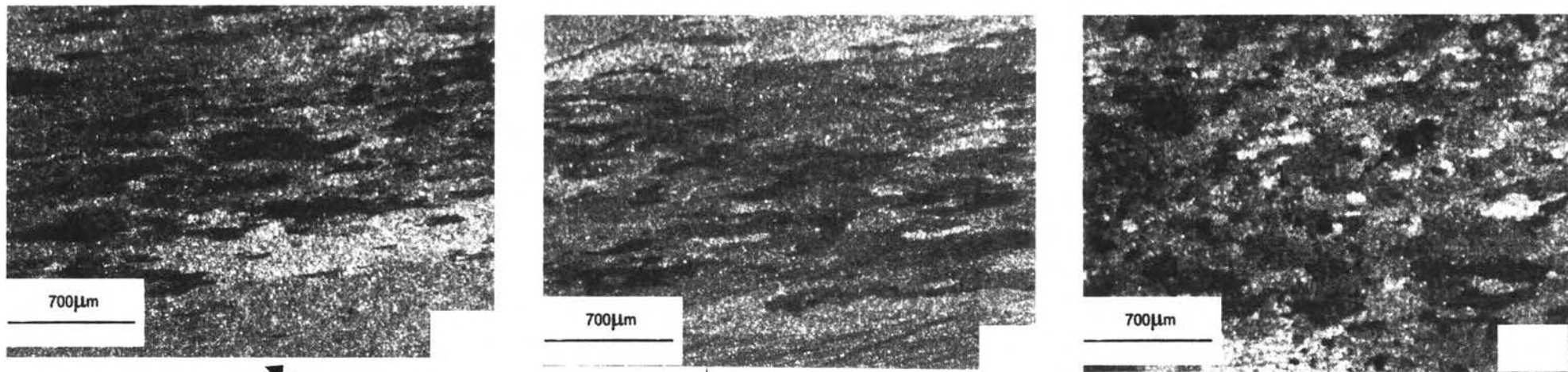
รูปที่ 4-10 ก) ความสัมพันธ์ของลักษณะเกรนและสมบัติเชิงของประเภทไม้อผ่านการอบไฮโมจิในเซชัน ที่อัตราการรีดเย็น 61%เมื่อเปรียบเทียบผลการเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อน



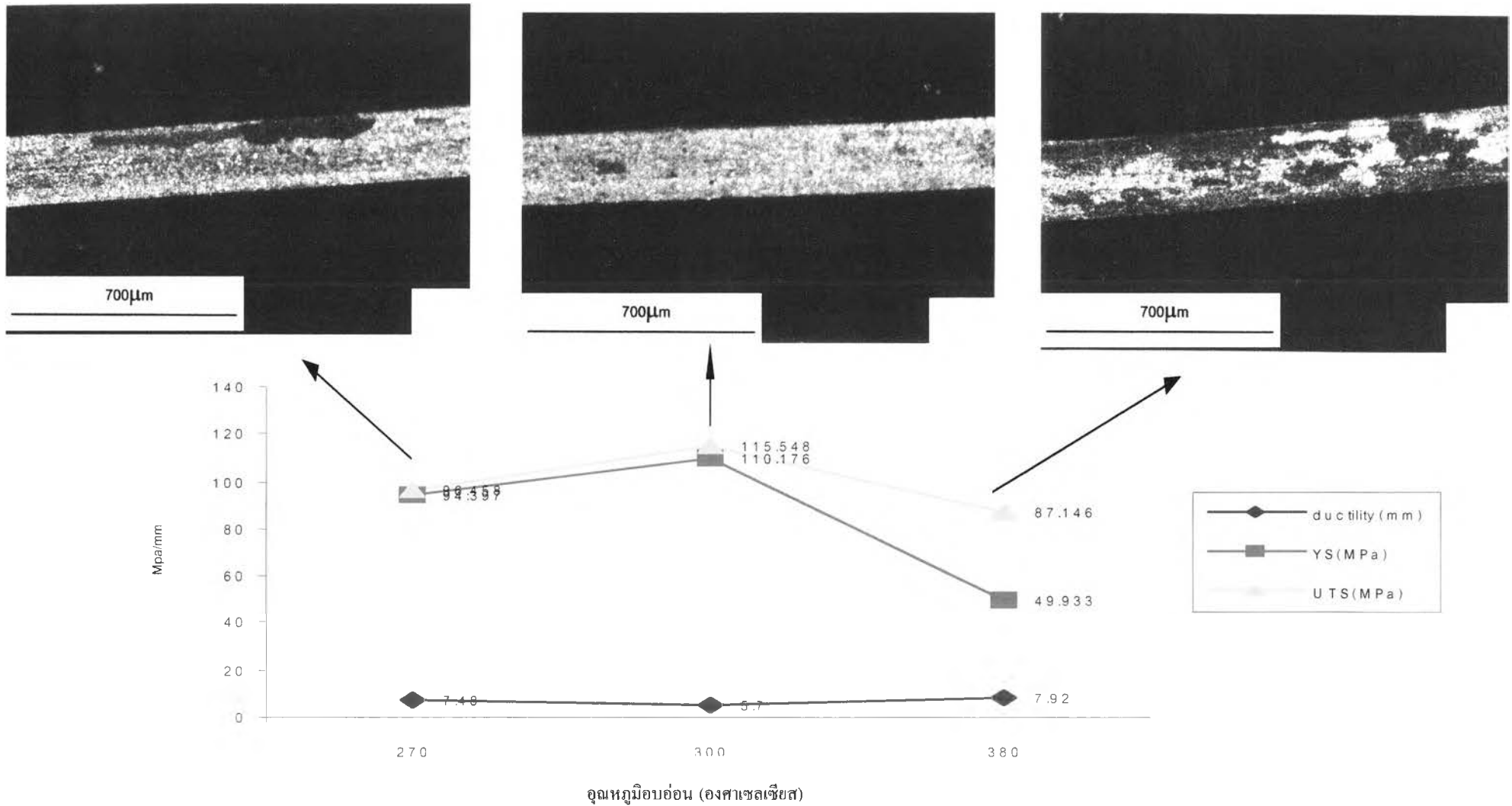
รูปที่ 4-10 ข) ความสัมพันธ์ของลักษณะเกรนและสมบัติเชิงของประเภทไม้ผ่านการอบไฮโมจิโนเซชันที่อัตราการผลิตเย็น 97%เมื่อเปรียบเทียบผลการเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อน

2) ชิ้นงานประเภทผ่านการอบไฮโมจิในเซชัน รูป 4-11 และ 4-12 ก) และ ข) แสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งแรง (tensile strength) ลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อน ส่วนแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง ductility พบว่ามี 2 ลักษณะคือ 1. ในชิ้นงานแผ่นหนาที่อัตราการรีด 61-83% ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ ductility เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อนซึ่งพบการตกผลึกใหม่แบบ full recrystallization หลังจากการอบที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส โดยที่การอบที่ 270 และ 300 องศาเซลเซียสยังคงพบโครงสร้างในสภาวะคืนตัว (recovery state) 2. ในชิ้นงานแผ่นบางที่อัตราการรีด 92-97% พบว่าค่า ductility จะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อนเนื่องจากผลข้างเคียงของการเกิดโครงสร้าง Abnormal grain growth ในทุกอุณหภูมิอบอ่อน จากรูปที่ 4-11 และ 4-12 จะพบโครงสร้างจุลภาคที่มีการตกผลึกใหม่แบบ full recrystallization และ Abnormal grain growth เนื่องจากผลการส่งเสริมของกลไก PSN โดยโครงสร้างที่เกิดแบบ full recrystallization จำเป็นต้องได้รับการกระตุ้นจากการอบอ่อนที่อุณหภูมิสูงถึง 380 องศาเซลเซียส แต่สำหรับโครงสร้างแบบ abnormal grain growth จะได้รับการกระตุ้นจากอัตราการรีดเย็นสูง (92-97% reduction) โดยสามารถเกิดได้ในทุกอุณหภูมิการอบอ่อน

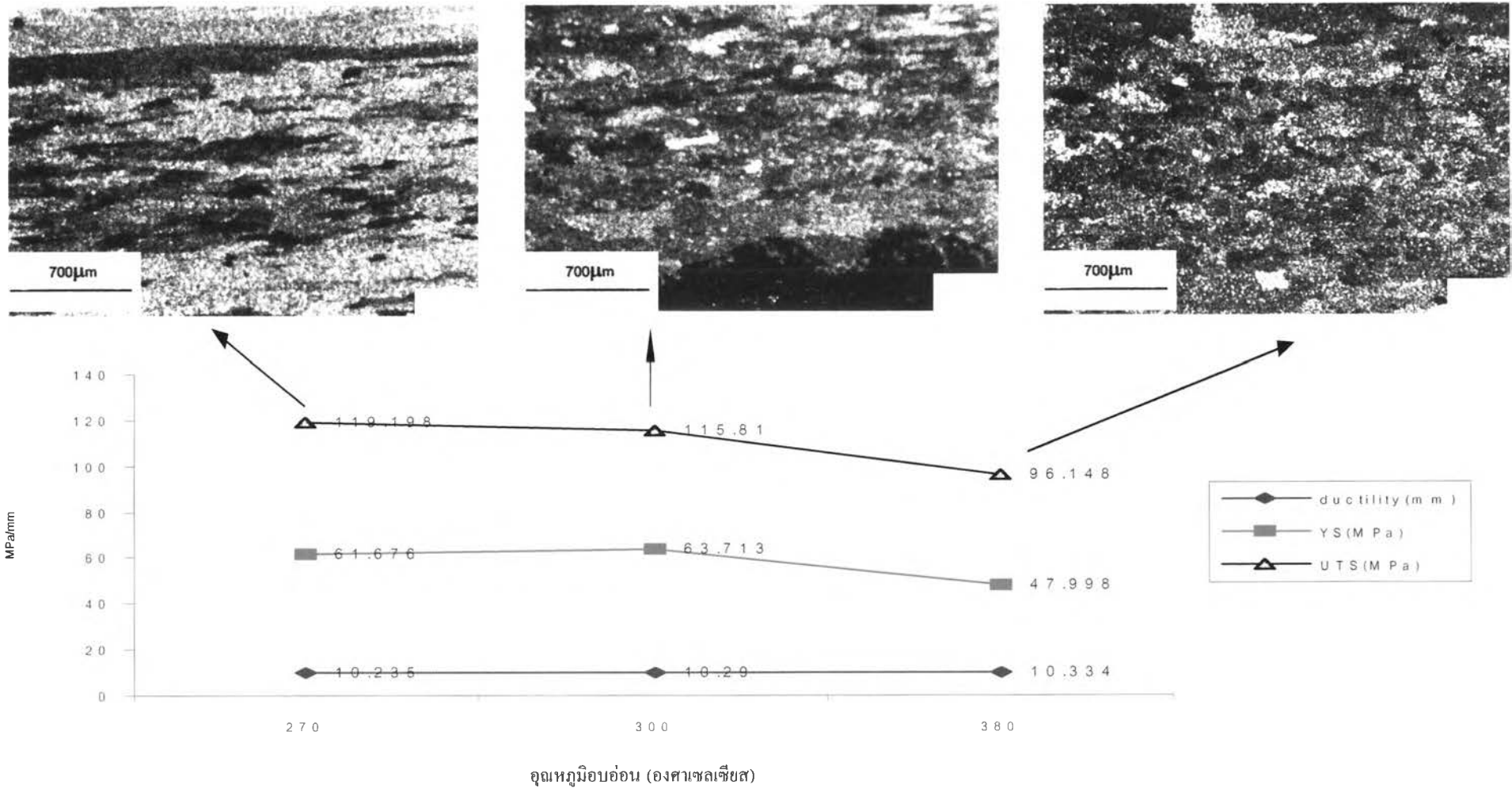
จากการศึกษาผลกระทบของอัตราการรีดเย็นต่อการกระจายตัวของอนุภาคด้วย particle count per 25 ม.ม.² และขนาดเฉลี่ยของอนุภาค (average particle size) พบว่า ค่า particle count สำหรับชิ้นงานทุกประเภทมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการรีดเย็น ดังรูปที่ 4-13 ในขณะที่การลดลงของขนาดอนุภาคเฉลี่ยเนื่องจากการเพิ่มอัตราการรีด จะปรากฏเฉพาะในชิ้นงาน ประเภทไม่ผ่านการอบไฮโมจิในเซชัน ดังรูป 4-14 จากผลการทดลองที่กล่าวมาทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มกลไกการเกิดอนุภาคขนาดเล็กขัดขวางการตกผลึกใหม่และ grain growth (Zener Drag) จะถูกสนับสนุนด้วยการเพิ่มอัตราการรีดเย็น เฉพาะในชิ้นงานประเภทไม่ผ่านการอบไฮโมจิในเซชันเนื่องจากการลดขนาดเฉลี่ยของเฟสที่สอง และการเพิ่มค่า particle count ภายหลังการรีด



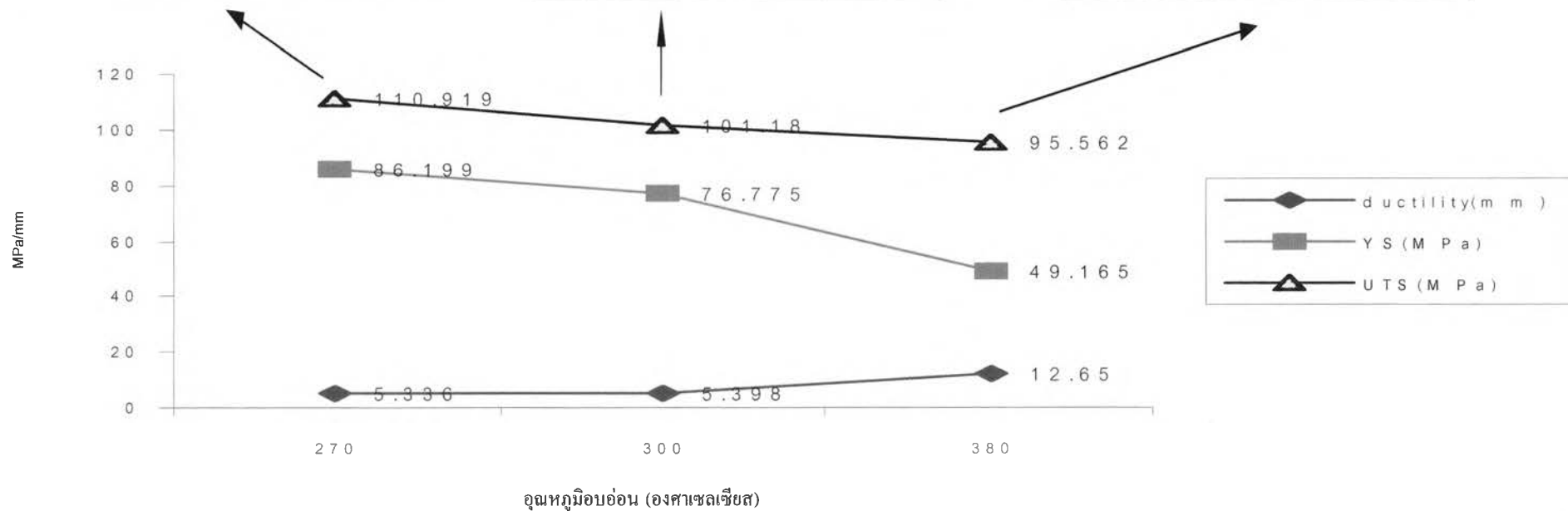
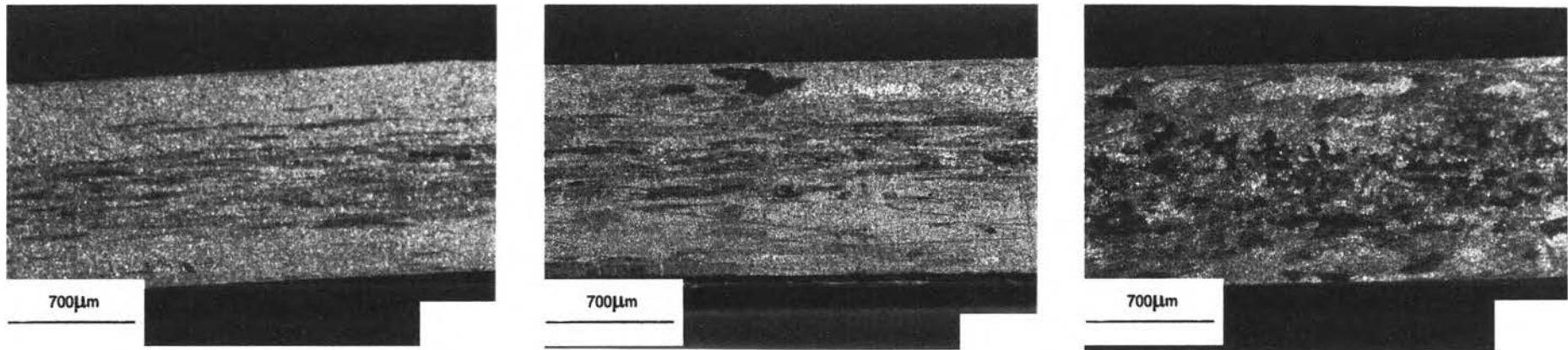
รูปที่ 4-11 ก) ความสัมพันธ์ของลักษณะเกรนและสมบัติเชิงของประเภทผ่านการอบ ไฮ โมจิโนเซชันที่ 550 องศาเซลเซียส ที่อัตราการรีดเย็น 61%เมื่อเปรียบเทียบกับผลการเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อน



รูปที่ 4-11 ข) ความสัมพันธ์ของลักษณะเกรนและสมบัติเชิงของประเภทผ่านการอบ ไฮโมจิโนเซชันที่ 550 องศาเซลเซียส ที่อัตราการรีดเย็น 97%เมื่อเปรียบเทียบผลการเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อน

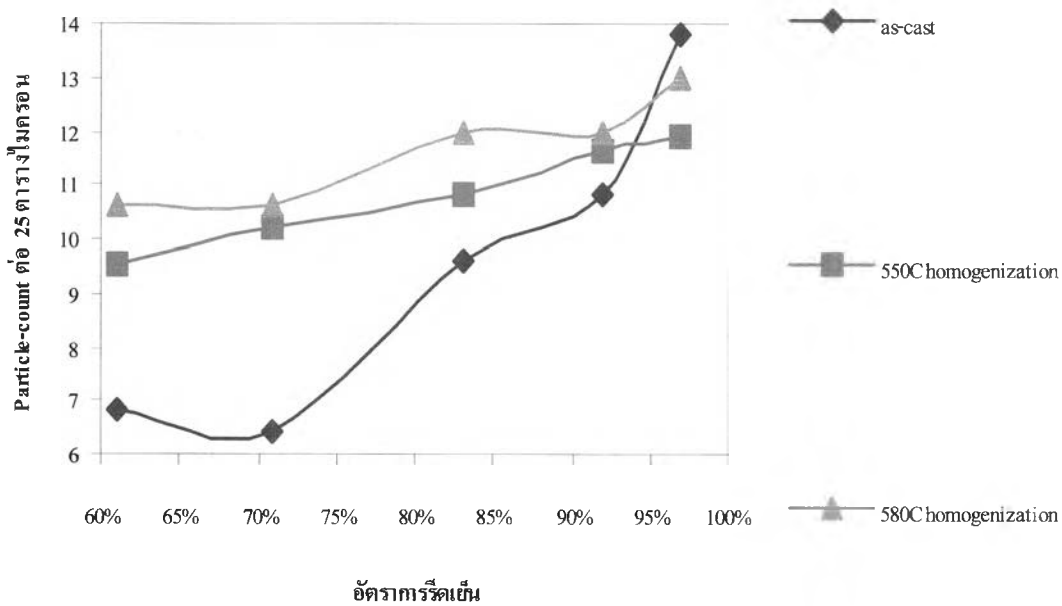


รูปที่ 4-12 ก) ความสัมพันธ์ของลักษณะเกรนและสมบัติเชิงของประเภทผ่านการอบ ไฮโมจิโนเซชันที่ 580 องศาเซลเซียส ที่อัตราการรีดเย็น 61% เมื่อเปรียบเทียบผลการเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อน

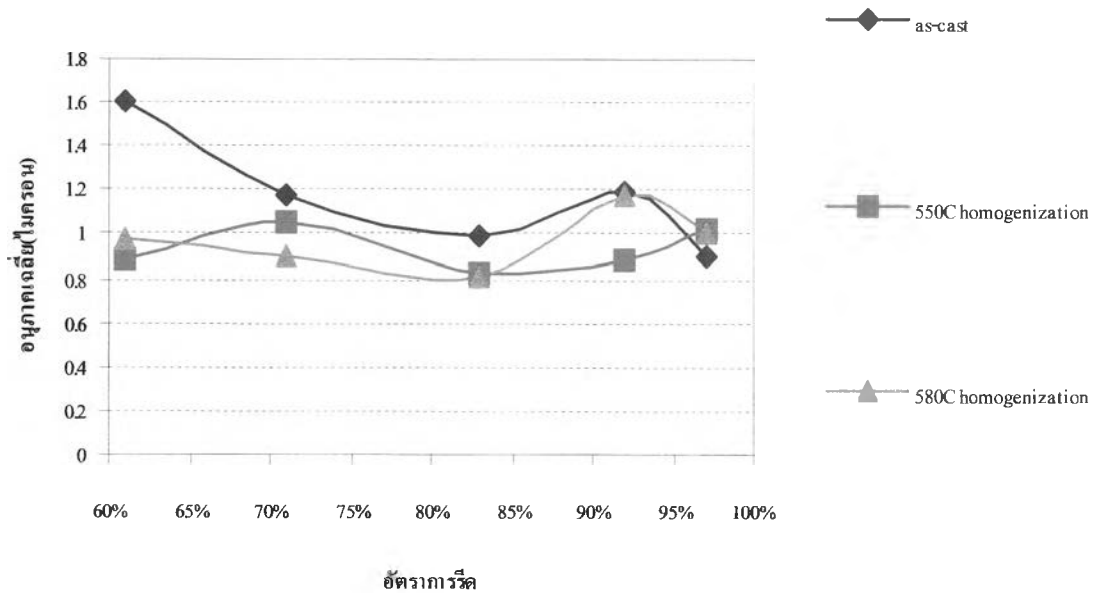


รูปที่ 4-12 ข) ความสัมพันธ์ของลักษณะเกรนและสมบัติเชิงของประเภทผ่านการอบไฮโมจิโนเซชันที่ 580 องศาเซลเซียส ที่อัตราการรีดเย็น 83% เมื่อเปรียบเทียบผลการเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อน

รูปที่ 4-13 อิทธิพลของอัตรากรรไกรตบ ต่อกำ particle-count ต่อ 25 ตารางไมครอน ของชิ้นงานภายหลังการกรรไกรตบ



รูปที่ 4-14 อิทธิพลของอัตรากรรไกรตบ ต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ไมครอน) ของชิ้นงานภายหลังการกรรไกรตบ



การศึกษาผลกระทบของการอบอ่อน ต่อ particle count ต่อ 25 มม.² และ ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค (average particle size) สามารถแบ่งการอธิบายออกเป็น 2 ส่วนคือ

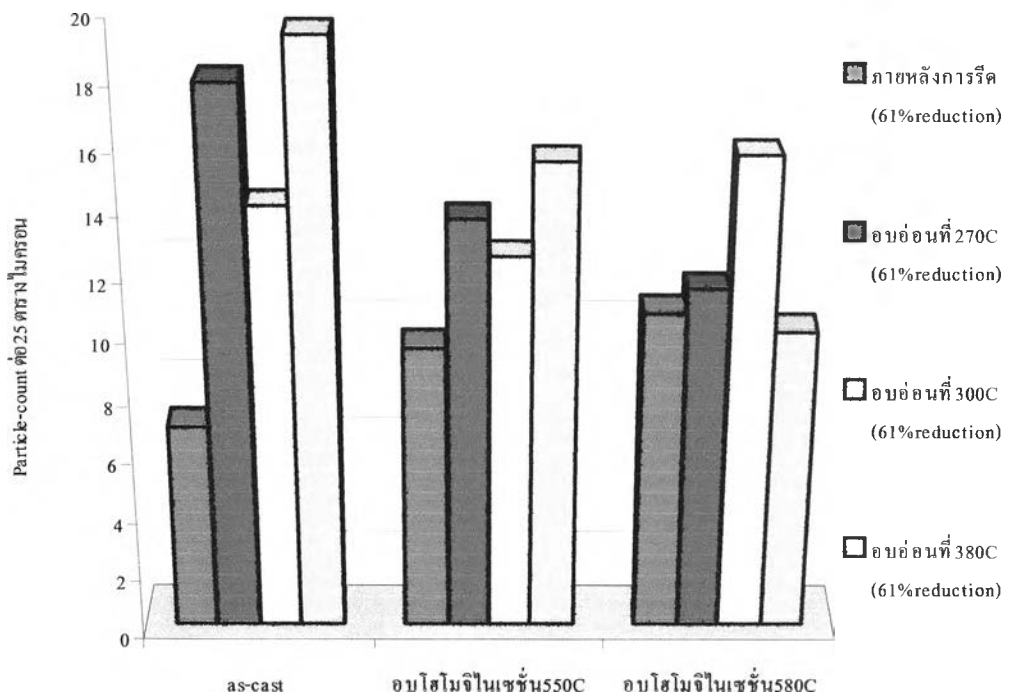
1) ช่วงอัตราการรีดเย็นต่ำ (61%) การอบอ่อนจะเพิ่มค่า particle count ของชิ้นงานทุกประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชิ้นงานประเภทไม่ผ่านการอบไฮโมจิในเซชันซึ่งจะเห็นการเปลี่ยนแปลงนี้ชัดเจนมากดังรูป 4-15 โดยขนาดอนุภาคเฉลี่ยของชิ้นงานประเภทผ่านการอบไฮโมจิในเซชันยังคงมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ภายหลังจากการอบอ่อน ในขณะที่ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของชิ้นงาน ประเภทไม่ผ่านการอบไฮโมจิในเซชัน มีค่าลดลงอย่างชัดเจนดังรูปที่ 4-16 จากผลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า กลไกการเกิดอนุภาคขนาดเล็ก ขัดขวางการตกผลึกใหม่และ grain growth จะถูกส่งเสริมจากการอบอ่อนอย่างชัดเจนเฉพาะใน ชิ้นงานประเภทไม่ผ่านการอบไฮโมจิในเซชัน

2) ช่วงอัตราการรีดเย็นสูง (97%) การอบอ่อนจะลด particle count ของชิ้นงานประเภท ผ่านการอบไฮโมจิในเซชัน (รูปที่ 4-17) แต่ค่า particle count ของชิ้นงานประเภทไม่ผ่านการอบไฮโมจิในเซชันไม่มีการ เปลี่ยนแปลงภายหลังจากการอบอ่อน ส่วนขนาดอนุภาค เฉลี่ยไม่พบ การเปลี่ยนแปลงในชิ้นงาน ทุกประเภทดังรูปที่ 4-18

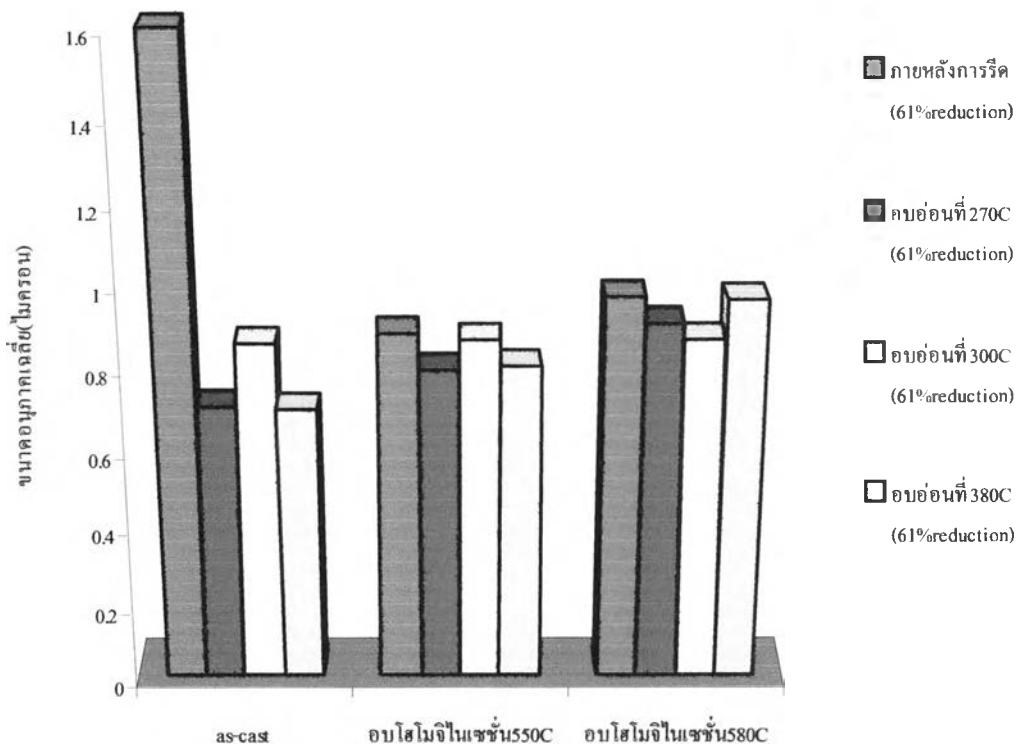
แม้ว่าการศึกษาการเปลี่ยนแปลง particle count และ ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคจะไม่สามารถบอก ความแตกต่างของอุณหภูมิการอบอ่อน แต่ค่าดังกล่าวสามารถบอกผลโดยรวมของ การอบอ่อนของชิ้นงาน ประเภทไม่ผ่านการอบไฮโมจิในเซชันที่อัตราการรีด เย็นสูง ได้อย่างชัดเจน

การศึกษาผลของการอบไฮโมจิในเซชันสำหรับ ชิ้นงานภายหลังจากการอบอ่อนพบว่า แนวโน้มการตกผลึกใหม่ได้รับการ สนับสนุนเนื่องจากผลรวมของการอบไฮโมจิในเซชันและ การอบอ่อนที่อุณหภูมิสูงถึง 380 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4-19 โดยการตกผลึกใหม่ไม่ปรากฏ ในชิ้นงาน ประเภทไม่ผ่านการอบไฮโมจิในเซชันจากผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า การอบไฮโมจิในเซชันทำให้เกิดเฟสที่สองที่มีอนุภาคแยกอิสระและมีขนาดอนุภาคมากกว่า 1 ไมครอน (รูปที่ 4-1) ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเกิดกลไก PSN และ ทำให้แนวโน้มการตกผลึกใหม่ในโครงสร้าง จุลภาคเกิดง่ายขึ้น แม้ผลจากการวัด particle count และ ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน รวมทั้งการพบโครงสร้างที่มีการตกผลึกใหม่ในชิ้นประเภทนี้ ทำให้สรุปได้ว่ากลไกการเกิดPSN จะมีอิทธิพลต่อชิ้นงานมากกว่ากลไกเกิดอนุภาคขนาดเล็กขัดขวางการตกผลึกใหม่และ grain growth สำหรับชิ้นงาน ประเภทผ่านการอบไฮโมจิในเซชัน แต่การตกผลึกใหม่จำเป็นต้องได้รับพลังงานความร้อน ช่วงอบอ่อนที่มากพอ ซึ่งสำหรับในการทดลองนี้ต้องอบอ่อนที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียสดังรูปที่ 4-8 ส่วนชิ้นงานประเภทไม่ผ่านการอบไฮโมจิในเซชันจะมีโครงสร้างจุลภาคไม่เปลี่ยนแปลงภายหลังจาก การอบอ่อนแม้ว่าจะอบอ่อนที่ 380 องศาเซลเซียส(รูปที่ 4-21) การไม่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคนี้ เกิดขึ้นเนื่องจาก อิทธิพลของกลไกเกิดอนุภาคขนาดเล็กขัดขวางการตกผลึกใหม่และ grain growth ที่ถูก ส่งเสริมเนื่องจาก การแตกสลายของรูปร่างเฟสที่สองจากการรีดเย็น (รูปที่4-20) และการอบอ่อนซึ่งจะ

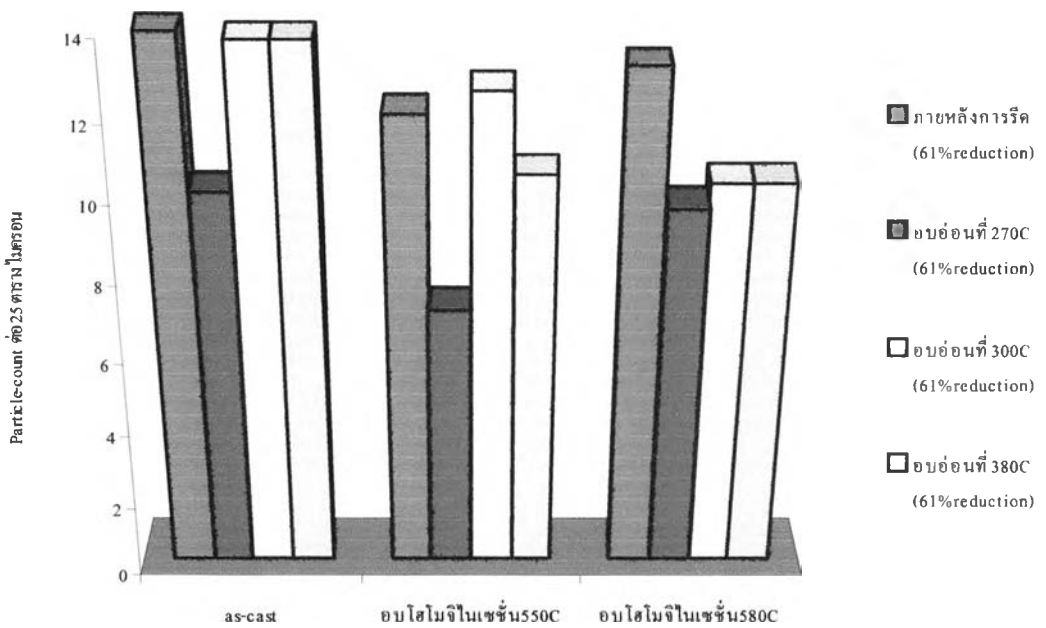
ส่งผลให้เกิด อนุภาคเล็กละเอียดกระจายในเนื้อโลหะ(รูปที่ 4-8) การไม่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค และ สมบัติเชิงกลดัง รูปที่4-10 ทำให้สามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างจุลภาคภายหลังการอบอ่อน ยังคงอยู่ในสถานะคืนตัว ซึ่งโครงสร้างในสถานะนี้ยังพบในชิ้นงานที่ผ่านการอบไฮโมจิโนเซชัน และผ่านการอบอ่อนในช่วงอุณหภูมิ 270 ถึง 300 องศาเซลเซียส แต่ปัจจัยที่ทำให้เกิดโครงสร้าง ในสถานะคืนตัวระหว่างชิ้นงานที่ผ่านและไม่ผ่านการอบ ไฮโมจิโนเซชันมีลักษณะแตกต่างกันกล่าวคือ ในชิ้นงานที่ผ่านการอบไฮโมจิโนเซชันซึ่งจะมีการกระตุ้นการตกใหม่จากกลไก PSN ภายหลัง การอบไฮโมจิโนเซชัน แต่มีพลังงานความร้อนไม่เพียงพอสำหรับการตกผลึกใหม่แบบ full recrystalliza- tion (ในชิ้นงานที่อัตราเร็วเย็น 61-83 %) ส่วนปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดโครงสร้างจุลภาคใน สถานะคืนตัวของชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบไฮโมจิโนเซชันกลับเป็น กลไกการเกิดอนุภาคขนาด เล็กจัดขวางการตกผลึกใหม่และ grain growth โดยไม่มีผลในเรื่องการเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อน เข้ามาเกี่ยวข้องเหมือนในกรณีของชิ้นงานที่ผ่านการอบไฮโมจิโนเซชัน ดังนั้นในชิ้นงานประเภท ไม่ผ่านการอบไฮโมจิโนเซชันจะไม่พบการตกผลึกใหม่แม้จะอบที่อุณหภูมิสูงถึง 380 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4-21



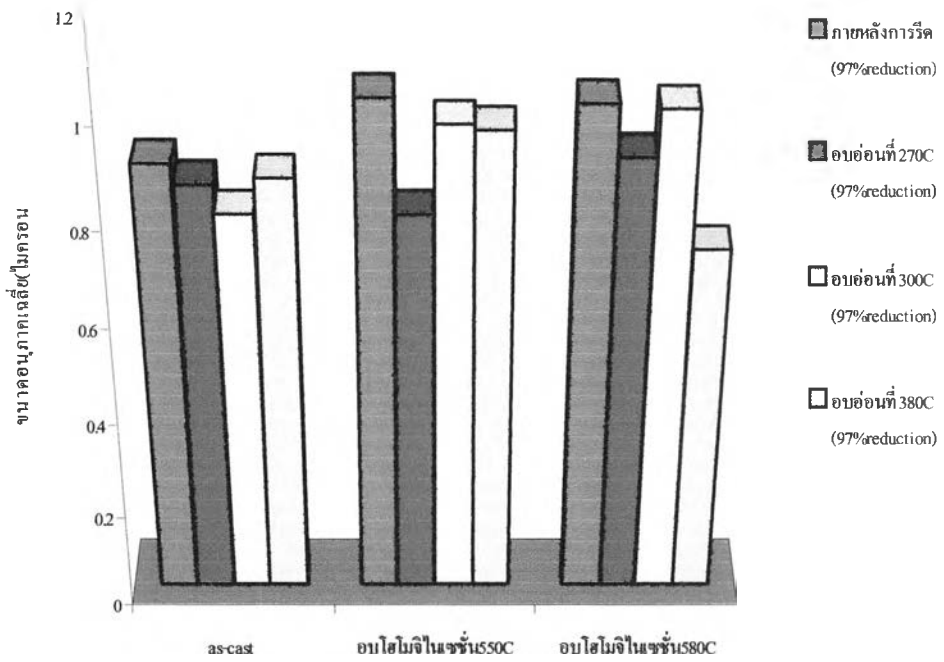
รูปที่ 4-15 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่า Particle-count ต่อ 25 ตารางไมครอน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของชิ้นงานที่อัตราการรีด 61 %



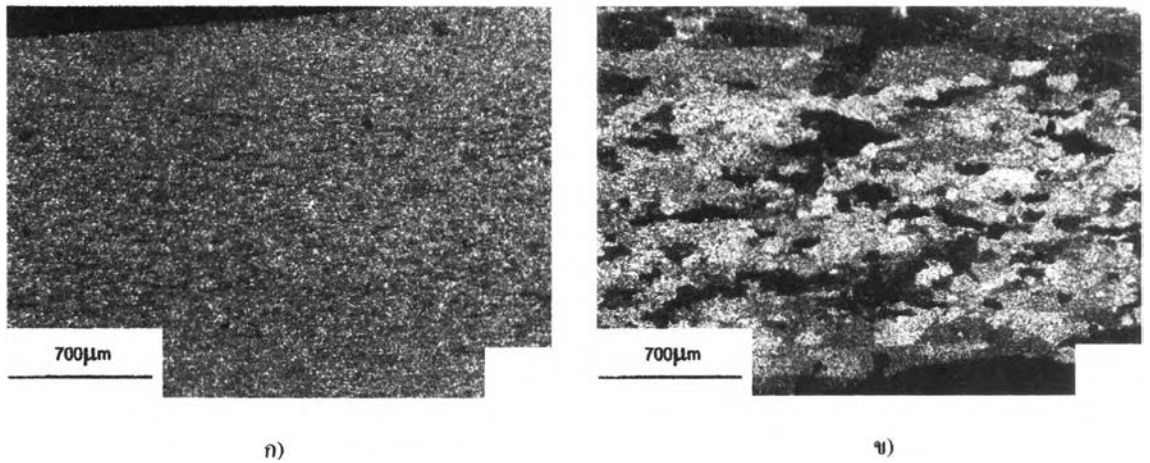
รูปที่ 4-16 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคเฉลี่ย(ไมครอน)เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของชิ้นงาน ที่อัตราการรีด 61 %



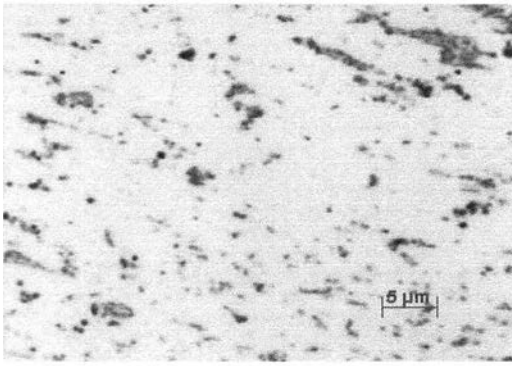
รูปที่ 4-17 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่า Particle-count ต่อ 25 ตารางไมครอน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของชิ้นงานที่อัตราการรีด 97 %



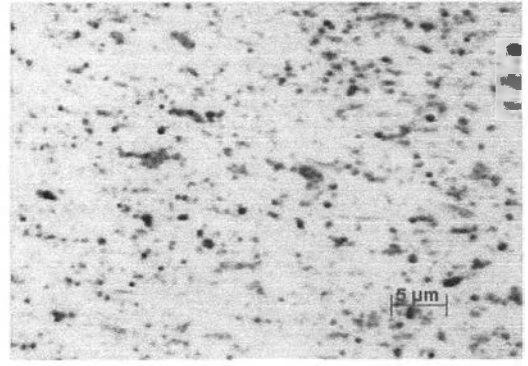
รูปที่ 4-18 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ไมครอน) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของชิ้นงาน ที่อัตราการรีด 97 %



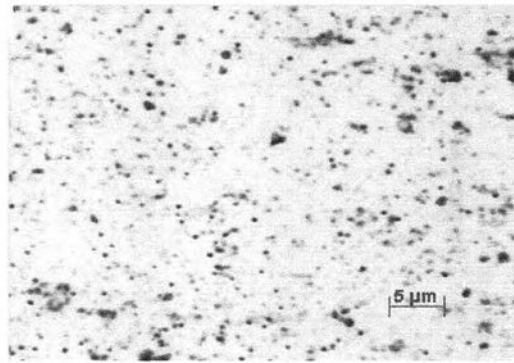
รูปที่ 4-19 ลักษณะเกรนภายหลังจากการอบอ่อน 380 องศาเซลเซียส ที่อัตราการรีด 71% ของชิ้นงานประเภท ก) ไม่ผ่านการอบไฮโมจิไนเซชัน ข) ผ่านการอบไฮโมจิไนเซชันที่ 550 องศาเซลเซียส



ก)



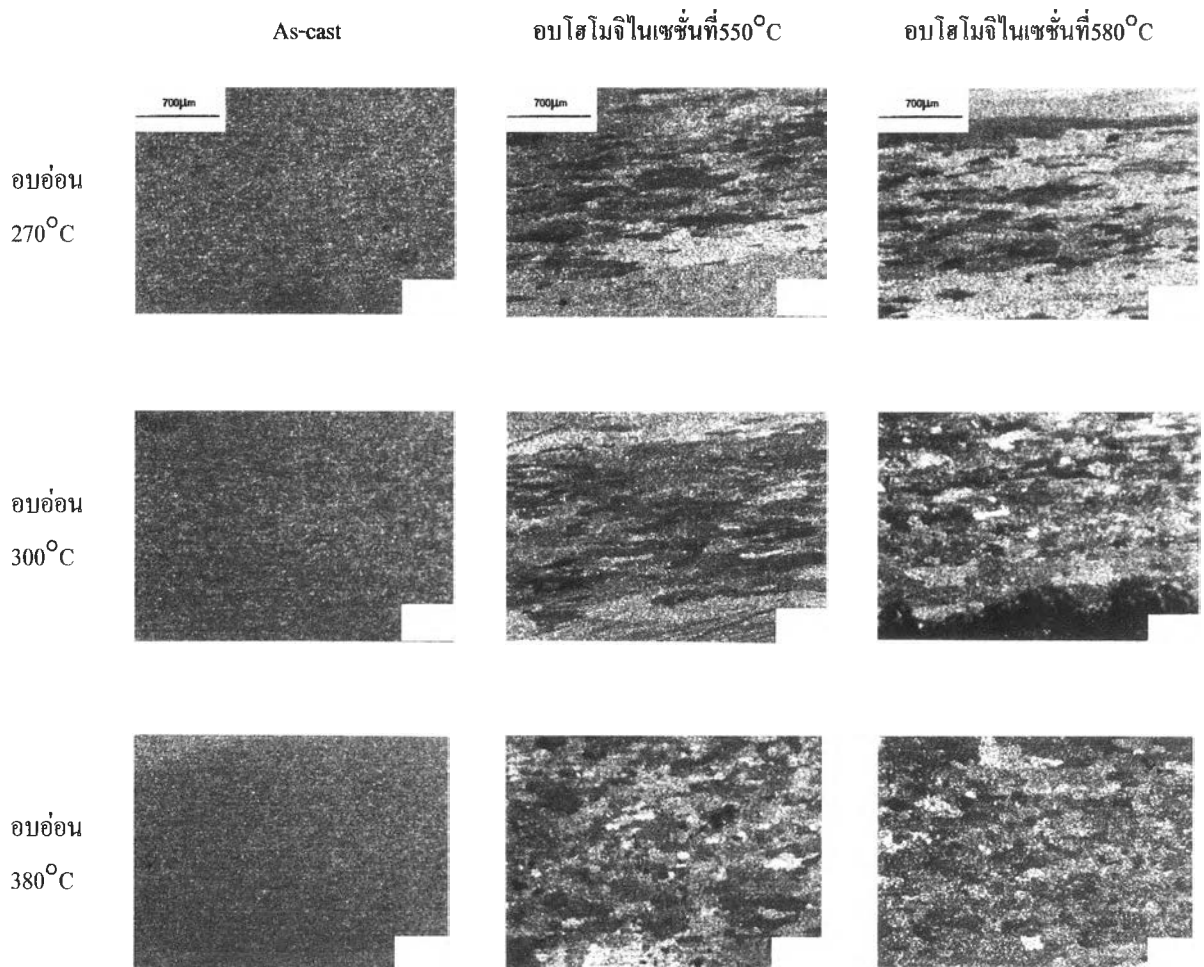
ข)



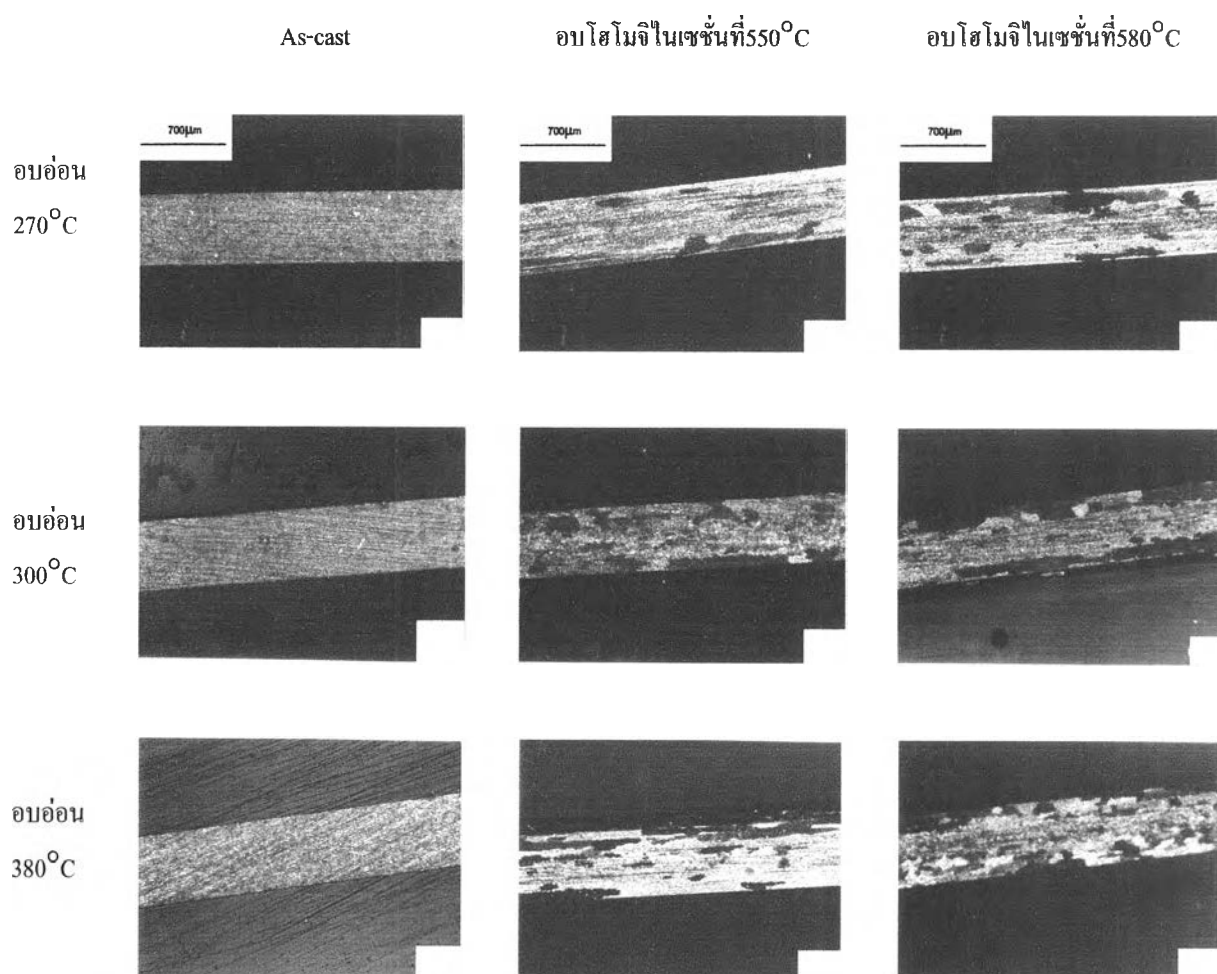
ค)

รูปที่ 4-20 การเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของอนุภาคในชิ้นงานที่ผ่านการรีด ณ อัตราการรีด ก) 61% ข) 83% ค) 97% (กำลังขยาย 1000x)

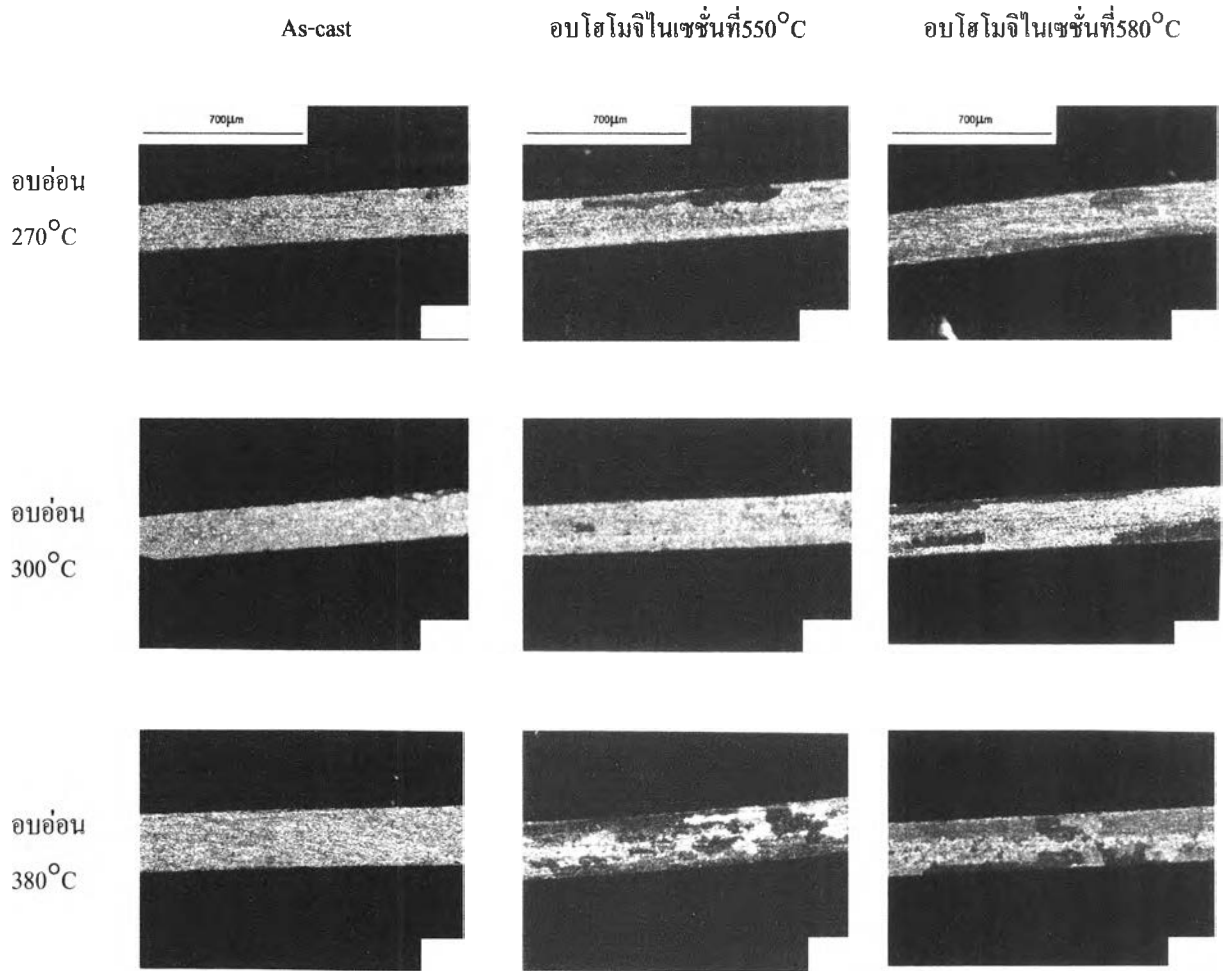
รูปที่ 4-22 ถึง 4-24 แสดงลักษณะเกรนที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากกระบวนการแข็งกลและเชิงความร้อน ที่เปลี่ยนไป จากรูปพบว่าโครงสร้างในสถานะคืนตัว(rocovey) จะเกิดขึ้นในชิ้นงานประเภท ไม่ผ่านการอบไฮโมจิในเซชันทั้งหมด และ ชิ้นงานประเภทผ่านการอบไฮโมจิในเซชันแล้ว อบอุ่นที่อุณหภูมิ 270-300 องศาเซลเซียส โครงสร้างที่มีการ ตกผลึกใหม่แบบ full recrystallization จะพบใน ชิ้นงานประเภทอบไฮโมจิในเซชันที่อัตราการรีดเย็น 61 ถึง 83 %และอบอุ่นที่ 380 องศาเซลเซียส ส่วนโครงสร้างที่มี abnormal grain growth จะพบในชิ้นงานประเภทอบไฮโมจิในเซชันที่อัตราการรีดเย็น 92 และ 97% และอบอุ่นที่ 380 องศาเซลเซียส ภายหลังจากอบอุ่นในทุกอุณหภูมิ



รูปที่ 4-22 ลักษณะเกรนของชิ้นงานผ่านการอบอุ่นที่อัตราการรีดเย็น 61% ณ กระบวนการเชิงความร้อนและเชิงกลที่แตกต่างกัน (กำลังขยาย 50x)



รูปที่ 4-23 ลักษณะเกรนของชิ้นงานผ่านการอบอ่อนที่อัตราการรีดเย็น 92% ณ ระยะเวลาการเชิงความร้อนและเชิงกลที่แตกต่างกัน(กำลังขยาย 50x)

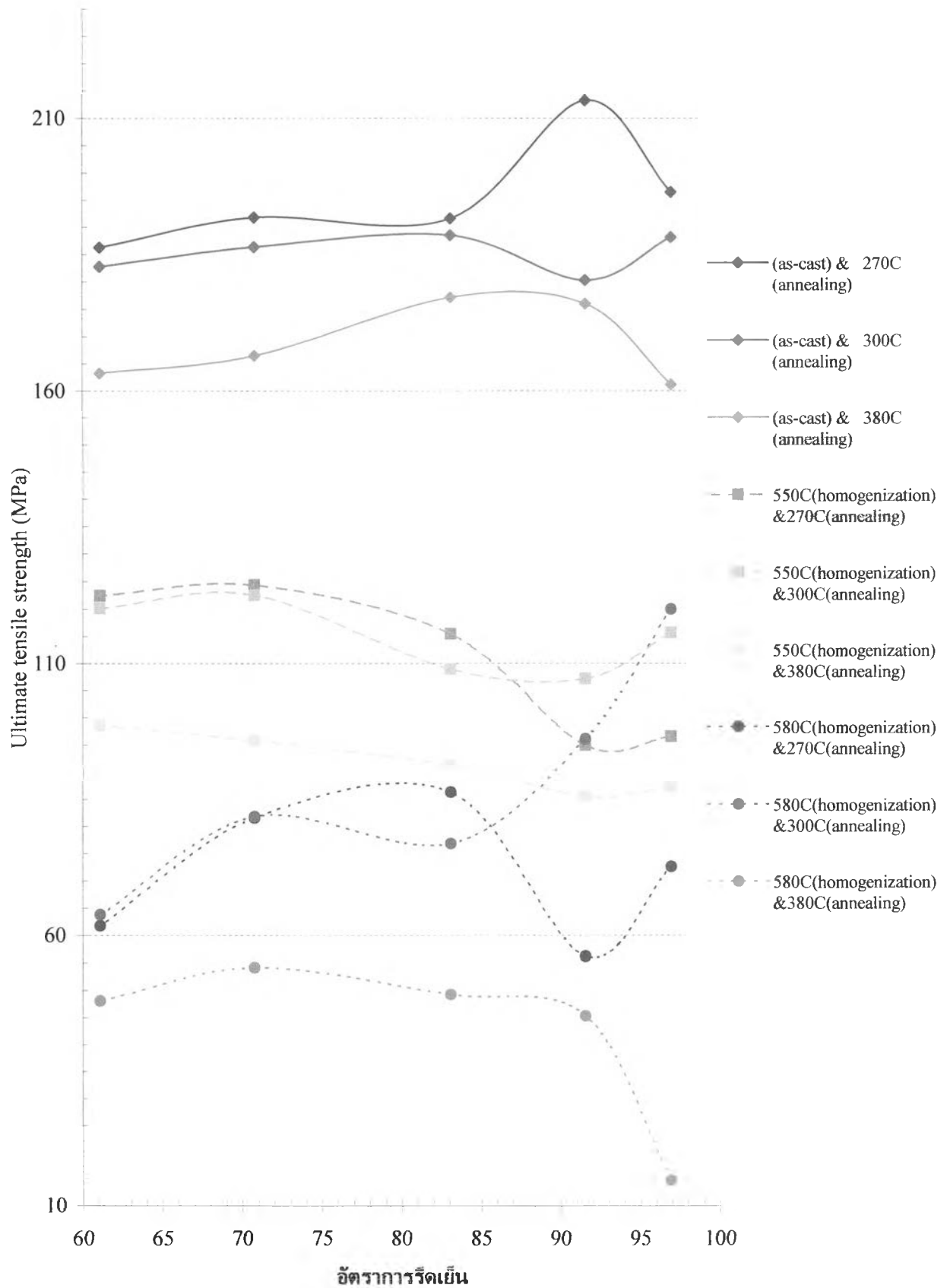


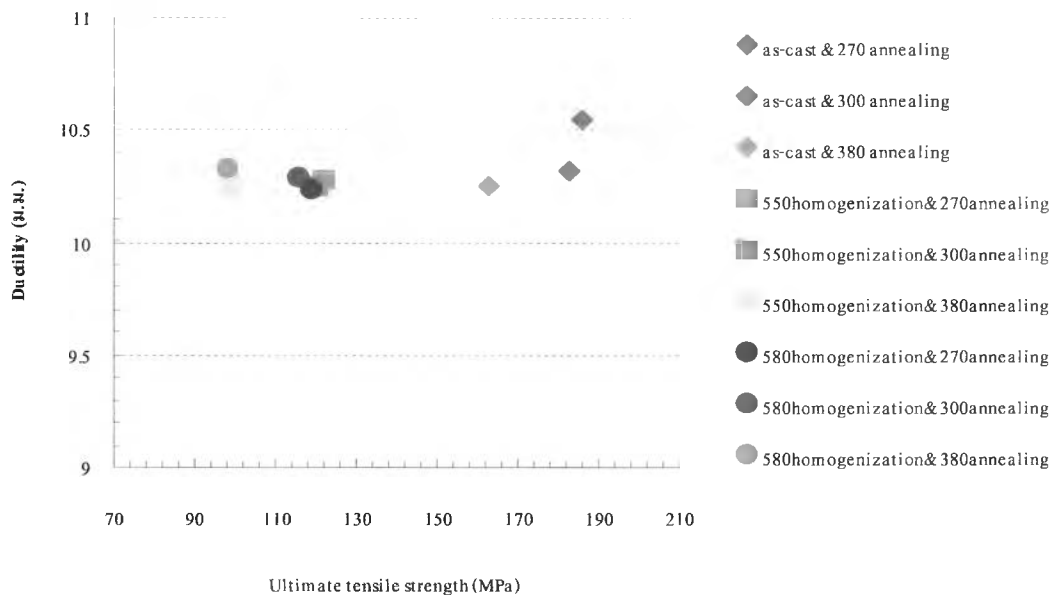
รูปที่ 4-24 ลักษณะเกรนของชิ้นงานผ่านการอบอ่อนที่อัตราการรีดเย็น 97% ณ ระยะเวลาการเชิงความร้อนและเชิงกลที่แตกต่างกัน(กำลังขยาย 100x)

รูปที่ 4-25 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงกระบวนการเชิงความร้อนและเชิงกลต่อค่าความแข็งแรงสูงสุด (ultimate tensile strength) พบว่า ค่าความแข็งแรงสูงสุดสำหรับชิ้นงานทุกประเภทจะมีค่าลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อน และการอบไฮโดรเจนในเซชัน ในขณะที่อัตราการรีดเย็นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงสูงสุดแตกต่างกันไปแล้วแต่กรณี กล่าวคือในกรณีชิ้นงานประเภทไม่ผ่านการอบไฮโดรเจนในเซชัน จะพบค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอัตราการรีดเย็นจนกระทั่งถึงอัตราการรีดเย็นระดับ 92 % ค่าความแข็งแรงสูงสุดมีแนวโน้มทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการรีดเย็นเนื่องจากผลความสม่ำเสมอของความหนาและความเรียบของขอบรอยตัดชิ้นงานสำหรับการทดสอบแรงดึง ซึ่งเมื่อมองผลโดยรวมพบว่าชิ้นงานประเภทไม่ผ่านการอบไฮโดรเจนในเซชันมีความแข็งแรงสูงสุด และ ค่าความแข็งแรงสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราการรีดเย็น ส่วนชิ้นงานประเภทผ่านการอบไฮโดรเจนในเซชันมีค่าความแข็งแรงสูงสุดลดลง เมื่อเพิ่มอัตราการรีดเย็นยกเว้นในช่วงอัตราการรีดเย็นที่ 97 % ซึ่งจะมีแนวโน้มค่าความแข็งแรงสูงสุดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่าชิ้นงานที่อัตราการรีดเย็นสูงสุด (97 % reduction) กลับให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดใกล้เคียง หรือสูงกว่า ชิ้นงานผ่านการอบไฮโดรเจนในเซชันที่อัตราการรีดเย็นต่ำสุด (61 % reduction) ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของอะลูมิเนียมชนิดนี้ อีกทั้งเมื่อพิจารณาผลการเพิ่มอุณหภูมิอบอ่อนพบว่ามีค่าความแข็งแรงลดลงน้อย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อนหรือเรียกว่า สมบัติการต้านทานการอบอ่อน (annealing resistance) ซึ่งการมีสมบัติต้านทานการอบอ่อนร่วมกับการมีความแข็งแรงและความเหนียวสูง ในชิ้นงานที่ผ่านการแปรรูปเป็นแผ่นบางทำให้อะลูมิเนียมเกรดคุณภาพ AA8006 ได้รับความสนใจและศึกษาพัฒนาเพื่อใช้ในเชิงอุตสาหกรรมในปัจจุบัน

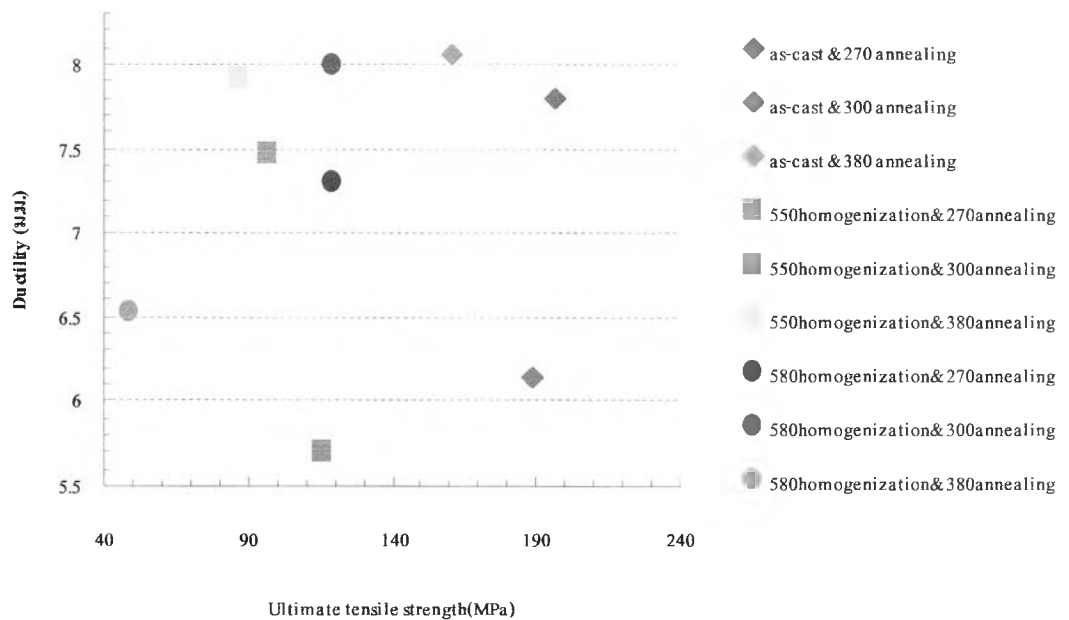
เมื่อเปรียบเทียบผลความสัมพันธ์ของค่าความแข็งแรงสูงสุดและ ความเหนียว (ductility) จากการทดสอบ Olsen สำหรับชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อน และ ผ่านกระบวนการที่แตกต่างกัน โดยมีอัตราการรีดเย็นเท่ากัน พบว่าชิ้นงานประเภทไม่ผ่านการอบไฮโดรเจนในเซชันมีค่าความแข็งแรงและความเหนียวในระดับดีที่สุดเป็นชิ้นงานประเภทไม่ผ่านการอบไฮโดรเจนในเซชันดังรูปที่ 4-26 และ 4-27 โดยค่ามาตรฐานในการแปรรูปที่ดีสำหรับการทำ deep drawing และ ironing อยู่ที่ 10 ม.ม. ซึ่งจากผลการทดลองจะพบเฉพาะในชิ้นงานที่อัตราการรีดเย็น 61 % ที่เหมาะสมในการทำ deep drawing และ ironing แต่ในชิ้นงานที่อัตราการรีดเย็น 97 % ยังคงหาสภาวะดังกล่าวได้ไม่เหมาะสม เนื่องจากสภาวะการอบชุบในงานวิจัยยังไม่เหมาะสม

รูปที่ 4-25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ภาวะบวนการเชิงความร้อนและเชิงกลที่แตกต่าง





รูปที่ 4-26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า Ductility และค่า ความแข็งแรงสูงสุดของอะลูมิเนียมแผ่นที่อัตราการรีด 61% ณ กระบวนการเชิงความร้อนและเชิงกลที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4-27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า Ductility และค่า ความแข็งแรงสูงสุดของอะลูมิเนียมแผ่นที่อัตราการรีด 97% ณ กระบวนการเชิงความร้อนและเชิงกล ที่แตกต่างกัน