

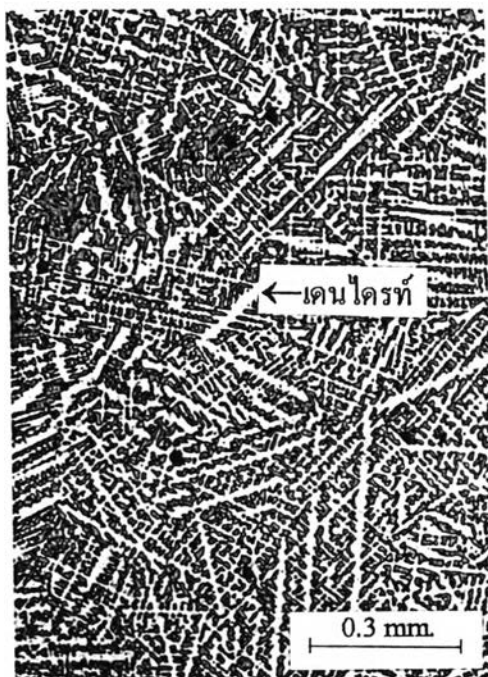
บทที่ 4

รายงานผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 อิทธิพลของการอบเป็นเนื้อเดียวต่อทองคำกะรัต

ชิ้นงานทดสอบที่เตรียมจากแท่งทองคำ 16 กะรัต ที่ได้จากการหล่อหลอมด้วยหัวพันไฟ (Torch) และแท่งทองคำ 14 กะรัต ที่ได้จากการหล่อหลอมด้วยเตาเหนียวนำไฟฟ้า จะมีลักษณะดังที่ กำหนดในบทก่อนหน้านี้ จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคชิ้นงานที่ได้จากการหลอมมีโครงสร้าง เป็นแบบเดนไดรต์ ตำแหน่งที่เป็นเดนไดรต์มีส่วนผสมทางเคมีของทองแดงมาก และช่องระหว่าง แขนเดนไดรต์มีส่วนผสมทางเคมีของเงินมาก ทั้งทองคำ 14 และ 16 กะรัต เมื่อตรวจดูจากแผนภูมิ สมดุลเฟสของทองคำ กะรัตในบทที่ 2 พบว่าสอดคล้องกัน โดยของแข็งที่เกิดขึ้นก่อนเป็นอันดับ แรกจะพัฒนาเป็นเดนไดรต์ซึ่งจะมีส่วนผสมทางเคมีของทองแดงมาก จากภาพที่ 4.1 ก.) และ 4.4 ก.) เป็นโครงสร้างจากงานหล่อของทองคำ 16 และ 14 กะรัตพบความแตกต่างของรูปร่างเดนไดรต์ โดยเดนไดรต์ของทองคำ 14 กะรัต จะมีลักษณะอ้วนป้อมกว่าซึ่งมีผลเนื่องจากทองคำ 14 กะรัต ที่ หล่อด้วยแบบปูนจะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ช้ากว่าแบบที่เป็นเหล็ก ทำให้เดนไดรต์ที่เกิดขึ้นมี ระยะเวลาในการเติบโตมากกว่า

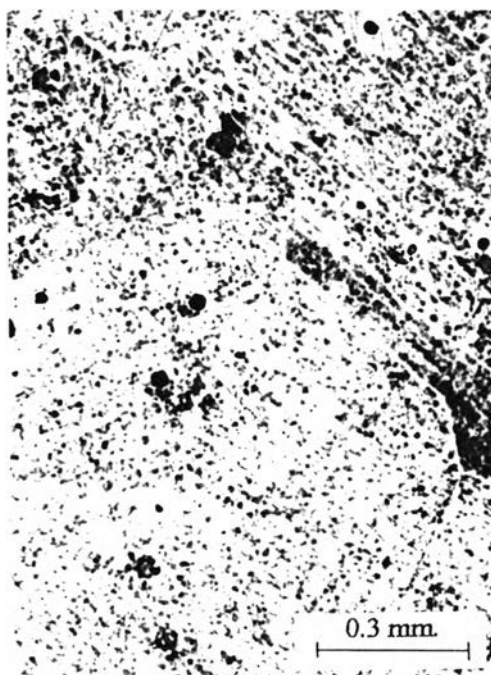
เมื่อนำชิ้นงานดังกล่าวมาผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวที่อุณหภูมิ 800°C ในระยะเวลาต่างๆ กัน พบว่าชิ้นงานทดสอบจากแท่งทองคำ 16 กะรัต เมื่ออบเป็นเนื้อเดียวเป็นระยะเวลา 10 20 30 40 60 และ 120 นาที ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง กับชิ้นงานทดสอบที่ผ่าน การกัดด้วยกรดเจือจาง 30 % จากกรด HCl + HNO₃ เข้มข้นในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 โครงสร้างเดน ไดรต์ที่เกิดขึ้นในชิ้นงานทดสอบเริ่มต้น ค่อยๆ ถูกจัดไปจนไม่ปรากฏให้เห็นเมื่อเวลาในการอบ เป็นเนื้อเดียวที่ประมาณ 30-40 นาที เป็นต้นไป ดังภาพที่ 4.1 และขนาดเกรนเฉลี่ยมีขนาดใหญ่ขึ้น จาก 0.63 มม. ที่เวลาอบ 10 นาที เป็น 1.35 มม. ที่เวลาอบ 240 นาที และจากการตรวจสอบด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) ด้วยเทคนิคการทำแผนภาพ (Mapping) แสดง การกระจายตัวของธาตุ เงิน และทองแดง ในทองคำ 16 กะรัต จะมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอใน ชิ้นงานทดสอบเวลาในการอบเป็นเนื้อเดียว 40 นาที เป็นต้นไป ซึ่งสอดคล้องกับภาพที่ได้จากกล้อง จุลทรรศน์แบบแสง ดังภาพที่ 4.2



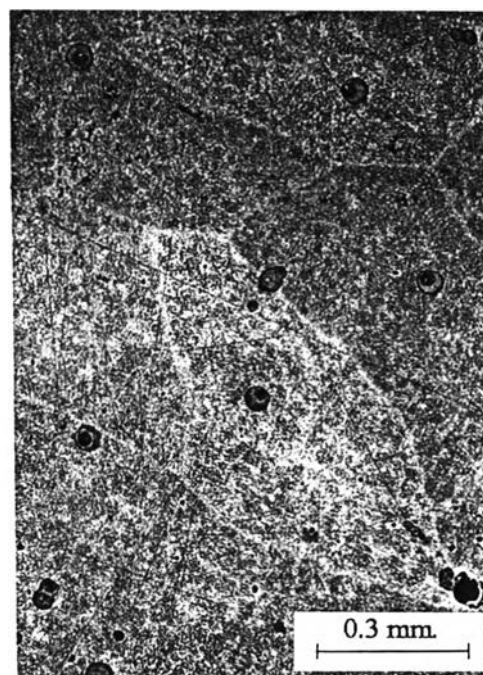
ก.)



ข.)



ค.)



ง.)

ภาพที่ 4.1 แสดงโครงสร้างจุลภาคที่เปลี่ยนไปของชิ้นงานในระยะต่างๆ ของ

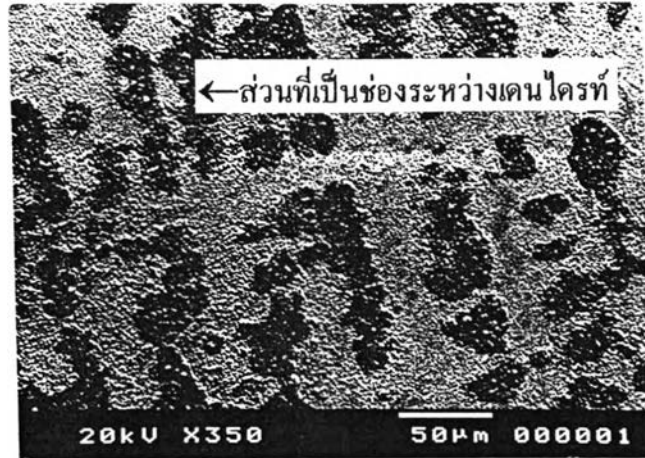
ทองคำ 16 กระรัต กัดด้วยกรด HCL+HNO₃ (3:1) เจือจาง 30 %

ก.) งานหล่อ

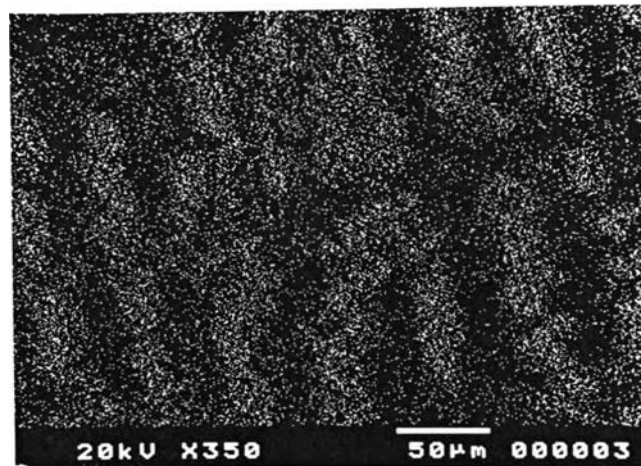
ข.) อบเป็นเนื้อเดือวที่เวลา 20 นาที

ค.) อบเป็นเนื้อเดือวที่เวลา 30 นาที

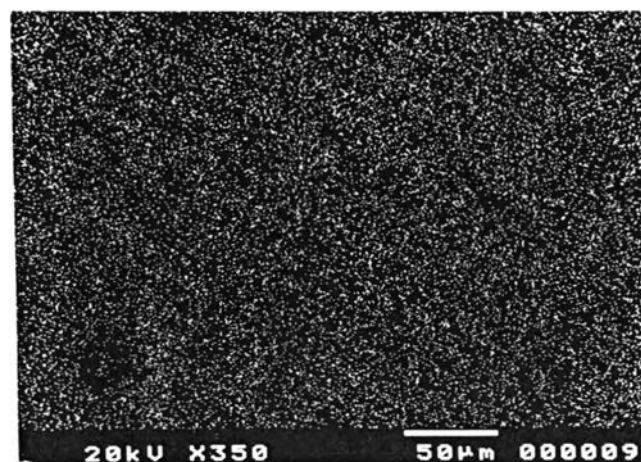
ง.) อบเป็นเนื้อเดือวที่เวลา 40 นาที



ก.) ภาพถ่ายโครงสร้างรูกลาค



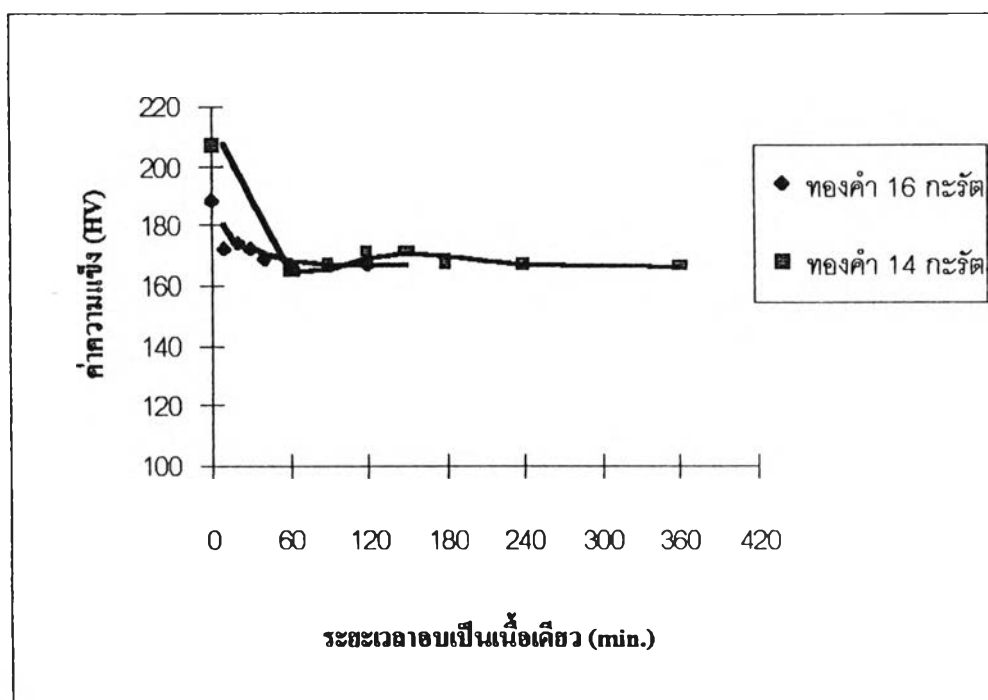
ข.) การกระจายตัวของธาตุเงินในสภาพหล่อ



ค.) การกระจายตัวของธาตุเงินเมื่อ 40 นาที

ภาพที่ 4.2 แสดงการกระจายตัวของธาตุเงินเมื่ออบเป็นเนื้อเดียวของทองคำ 16 กระรัต
ในสภาพหล่อ และที่เวลา 40 นาที ด้วยเทคนิคการทำแผนภาพ (Mapping)

เมื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของทองคำ 16 กระรัต ในสภาพหล่อที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว พบว่าค่าความแข็งลดลงเมื่อระยะเวลาอบเพิ่มขึ้น โดยชิ้นงานเริ่มต้นก่อนการอบเป็นเนื้อเดียวมีค่าความแข็งเฉลี่ย เท่ากับ 187 HV และจะลดลงเหลือประมาณ 169 HV ที่เวลาอบประมาณ 40 นาที จากนั้นค่าความแข็งจะเริ่มคงที่ในช่วง 166-169 HV ดังภาพที่ 4.3

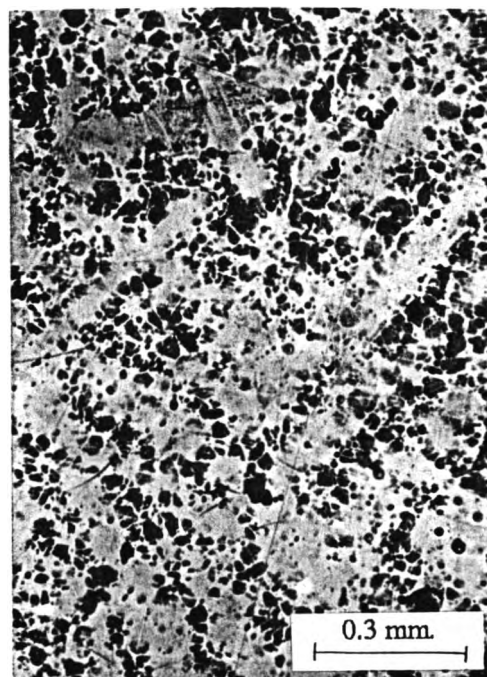


ภาพที่ 4.3 แสดงค่าความแข็งที่เปลี่ยนไปที่ระยะเวลาการอบเป็นเนื้อเดียวต่างๆ กัน

ชิ้นงานทดสอบจากแท่งทองคำ 14 กระรัต เมื่ออบเป็นเนื้อเดียวเป็นระยะเวลา 60 90 120 150 180 240 และ 360 นาที ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง กับชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการกัดด้วยกรดเจือจาง 30 % จากกรด HCl + HNO₃ เข้มข้นในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 แสดงโครงสร้างเดนไดรท์ที่เกิดขึ้นในชิ้นงานทดสอบเริ่มต้น ค่อยๆ ถูกขจัด ไปจนไม่ปรากฏให้เห็น เมื่อเวลาในการอบเป็นเนื้อเดียวที่ประมาณ 240 นาที ดังภาพที่ 4.4 และขนาดเกรนเฉลี่ยมีขนาดใหญ่ขึ้นจาก 0.76 มม. ที่เวลาอบ 60 นาที เป็น 1.16 มม. ที่เวลาอบ 240 นาที และจากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) ด้วยเทคนิคการทำแผนภาพ (Mapping) แสดงการกระจายตัวของธาตุ เงิน และทองแดง ในทองคำ 14 กระรัต จะมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในชิ้นงานทดสอบเวลาในการอบเป็นเนื้อเดียว 240 นาที ซึ่งสอดคล้องกับภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง ดังภาพที่ 4.5



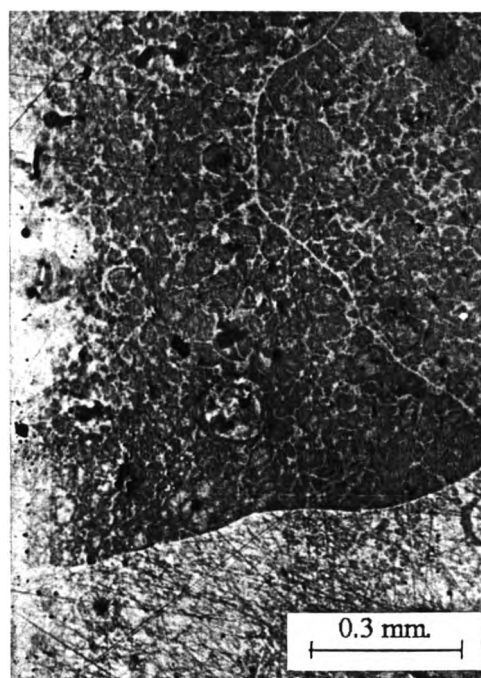
ก.)



ข.)



ค.)



ง.)

ภาพที่ 4.4 แสดงโครงสร้างจุลภาคที่เปลี่ยนไปของชิ้นงานในระยะต่างๆ ของ

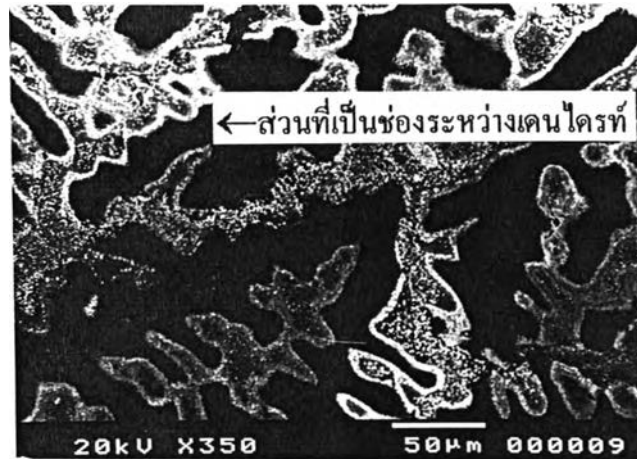
ทองคำ 14 กระรัต กัดด้วยกรด HCL+HNO₃ (3:1) เจือจาง 30 %

ก.) งานหล่อ

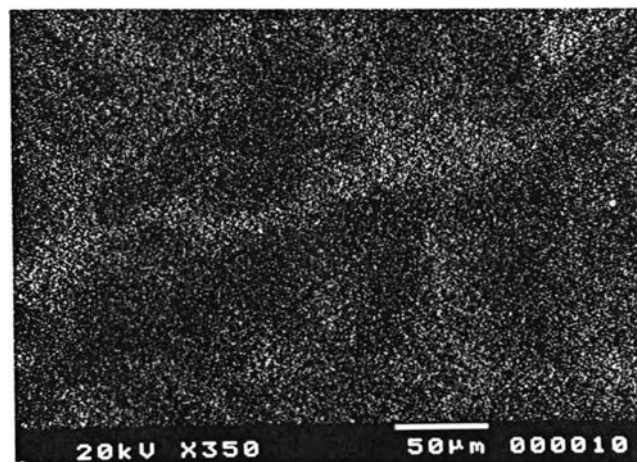
ข.) อบเป็นเนื้อเดือวที่เวลา 90 นาที

ค.) อบเป็นเนื้อเดือวที่เวลา 120 นาที

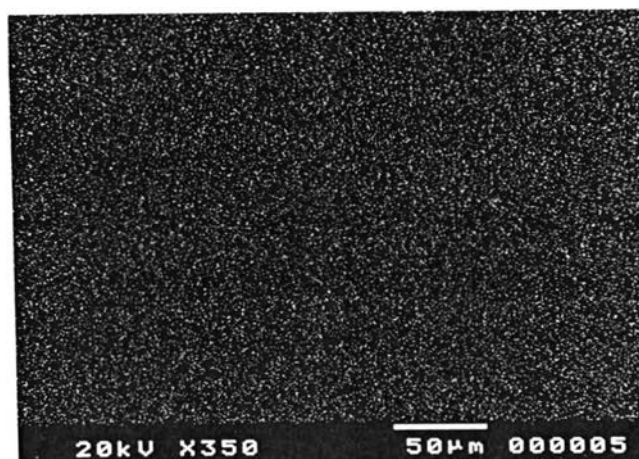
ง.) อบเป็นเนื้อเดือวที่เวลา 240 นาที



ก.) ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค



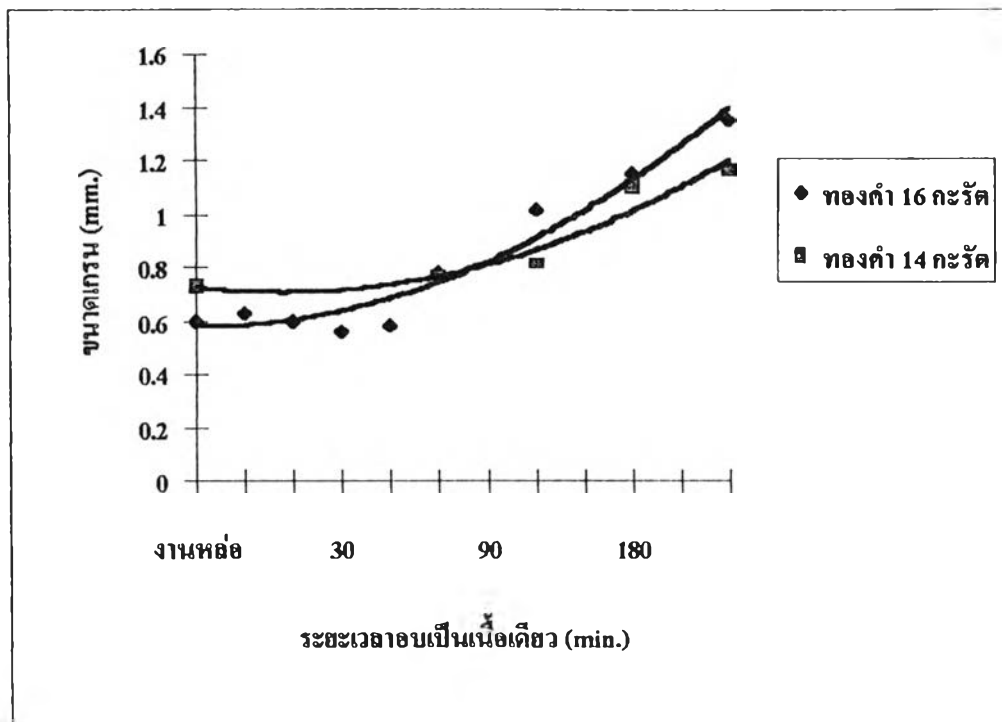
ข.) การกระจายตัวของธาตุเงินในสภาพหล่



ค.) การกระจายตัวของธาตุเงินเมื่อ 240 นาที

ภาพที่ 4.5 แสดงการกระจายตัวของธาตุเงินเมื่ออบเป็นเนื้อเดียวของทองคำ 14 กระจัด
ในสภาพหล่ และที่เวลา 240 นาที ด้วยเทคนิคการทำแผนภาพ (Mapping)

เมื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของทองคำ 14 กะรัต ที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว พบว่าค่าความแข็งลดลงเมื่อระยะเวลาอบเพิ่มขึ้น โดยชิ้นงานเริ่มต้นก่อนการอบเป็นเนื้อเดียว มีค่าความแข็งเฉลี่ย เท่ากับ 210 HV และจะลดลงเหลือประมาณ 168 HV ที่เวลาอบประมาณ 120 นาที จากนั้นค่าความแข็งจะเริ่มคงที่ในช่วง 166-169 HV ดังภาพที่ 4.3

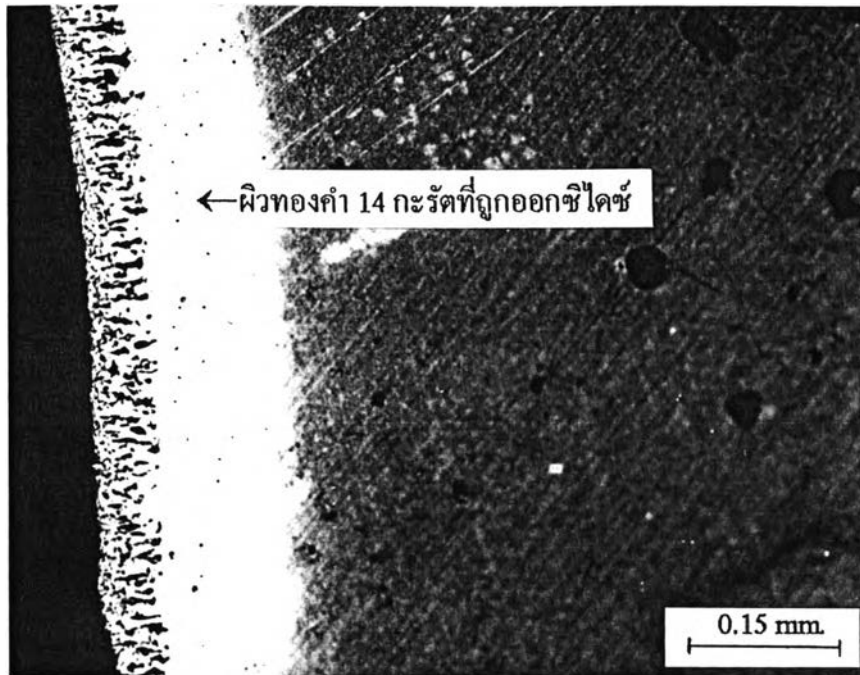


ภาพที่ 4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดเกรนเมื่อระยะเวลาการอบเป็นเนื้อเดียวของทองคำ 14 กะรัต และ 16 กะรัต

ผิวของชิ้นงานที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวทั้ง 14 กะรัต และ 16 กะรัต มีลักษณะเป็นรูพรุนจากการเกิดออกซิเดชันกับออกซิเจนภายในเตาอบที่ถูกปกคลุมด้วยก๊าซผสมระหว่างไนโตรเจนและไฮโดรเจนในอัตราส่วนที่กำหนด ผลดังกล่าวทำให้ทราบว่าไม่สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันในขั้นตอนการอบเป็นเนื้อเดียวได้ด้วยวิธีนี้ และเมื่อทำการตรวจสอบส่วนผสมของผิวที่ถูกออกซิไดซ์ ในทองคำ 14 กะรัต ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนผสมที่ผิวชิ้นงานที่อบ และไม่อบเป็นเนื้อเดียว

ทองคำ 14 กะรัต	Au (wt.%)	Ag (wt.%)	Cu (wt.%)
อบเป็นเนื้อเดียว	29.75	61.79	8.44
ไม่อบเป็นเนื้อเดียว	55.94	26.27	17.79



ภาพที่ 4.7 แสดงผิวทองคำ 14 กระรตที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวในเตาอบ
กัดด้วยกรด HCL+HNO₃ (3:1) เจือจาง 30 %

จากข้อมูลทั้งหมดข้างต้น จะเห็นได้ว่าระยะห่างของแขนเคนไดรท์มีผลมากต่อการกำหนดระยะเวลาในการอบเป็นเนื้อเดียว จากความแตกต่างของระยะห่างของแขนเคนไดรท์ในทองคำ 16 กระรตกับทองคำ 14 กระรตที่ใช้ในการทดลอง โดยทองคำ 16 กระรตที่หลอมด้วยเปลวไฟ และเป็นตัวในแบบเหล็กมีระยะห่างของแขนเคนไดรท์สั้นกว่าทองคำ 14 กระรตที่หลอมด้วยเตาเหนียวน้ำ และเป็นตัวในแบบปูน ประมาณ 2 เท่าตัว แต่ระยะเวลาในการอบเป็นเนื้อเดียวแตกต่างกันถึงประมาณ 5-6 เท่าตัว ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ 2.3 ที่ใช้ประมาณเวลาอบเป็นเนื้อเดียว ($\tau = L^2/\pi^2 D_p$) โดยค่าระยะห่างของแขนเคนไดรท์กับช่องระหว่างแขนเคนไดรท์ (L) เป็นค่าตัวแปรตามที่มีค่ายกกำลังสองเพียงตัวเดียวในสมการ

จากกราฟแสดงค่าความแข็งที่เปลี่ยนไปกับเวลาที่ใช้ในการอบเป็นเนื้อเดียวของทองคำ 16 กระรตที่ใช้ในการทดลอง ในภาพที่ 4.3 แสดงถึงความร้อนที่ใช้ในการอบเป็นเนื้อเดียวลดค่าความแข็งของชิ้นงานอย่างรวดเร็วซึ่งก็คือการลดความเค้นภายในวัสดุที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการหล่อ และค่าความแข็งเริ่มคงที่เมื่อชิ้นงานมีความเป็นเนื้อเดียวมากขึ้น

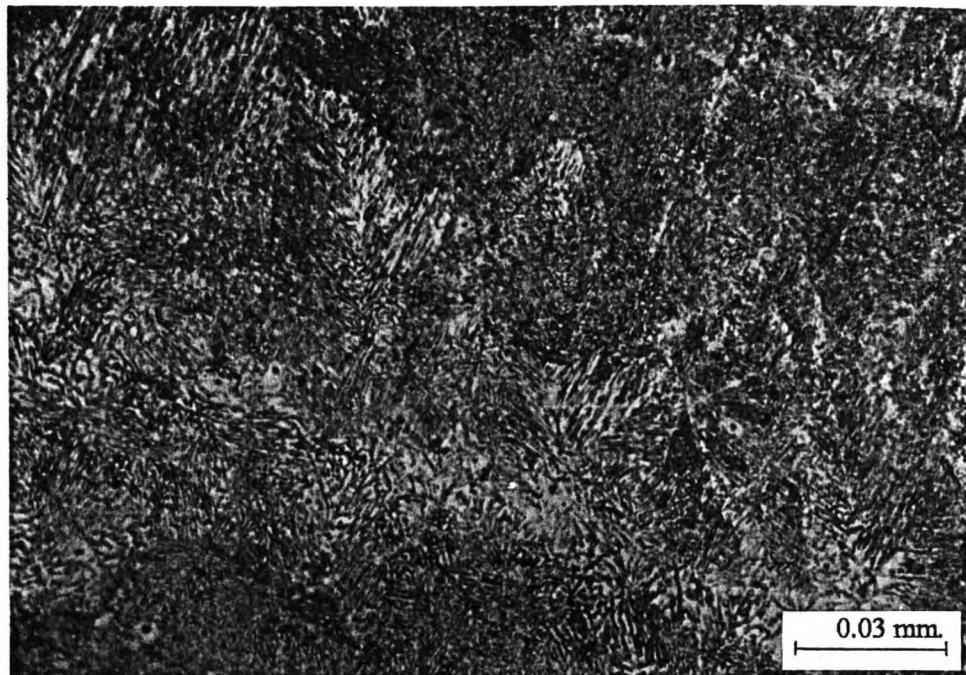
ทองคำ 14 กระรัต และ 16 กระรัต ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีค่าความแข็งหลังการอบเป็นเนื้อเดียวที่ใกล้เคียงกัน อาจเป็นผลเนื่องมาจากค่าส่วนผสมทางเคมีที่แตกต่างกันไม่มากนัก

ได้มีการทดลองเพิ่มเติมจากเดิม โดยการอบเป็นเนื้อเดียวทองคำ 16 กระรัต และ 14 กระรัต ที่อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลา 40 นาที และ 240 นาที ตามลำดับ แล้วปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวอย่างช้าๆ ภายในเตา ได้ค่าความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงานดังตารางที่ 4.2 จากค่าความแข็งดังกล่าว เห็นได้ว่าการปล่อยให้ทองคำกระรัตเย็นตัวอย่างช้าๆ จะทำให้ทองคำมีความแข็งสูงมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการแยกตัวเป็นเฟสใหม่ และการเรียงตัวอย่างมีระเบียบ

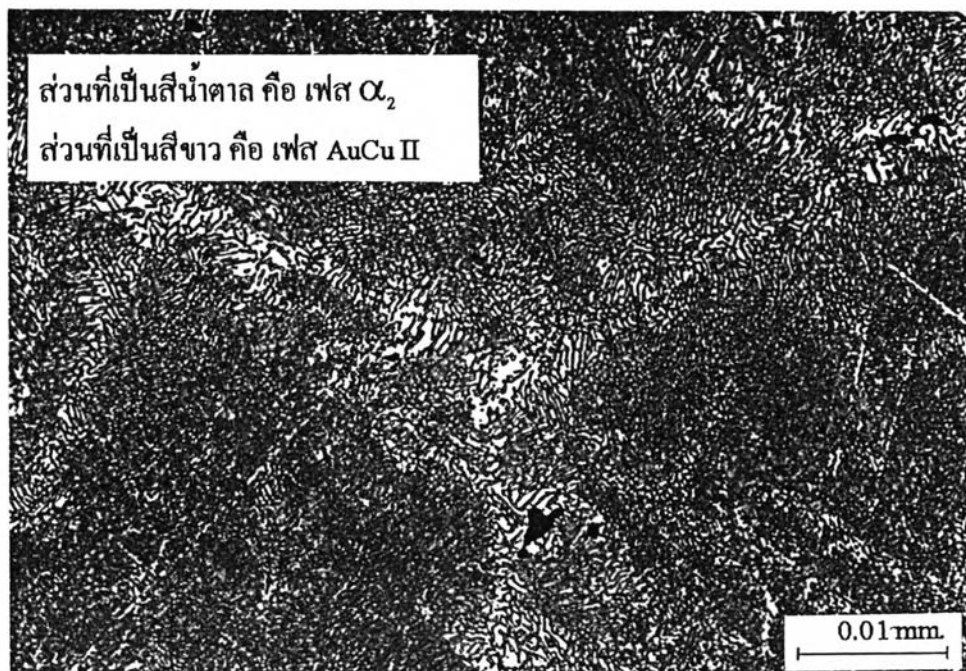
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความแข็งเฉลี่ยของทองคำ 14 กระรัต และ 16 กระรัตที่ อบเป็นเนื้อเดียว แล้วปล่อยให้เย็นตัวอย่างในเตา

	ค่าความแข็งเฉลี่ย HV (300 g.)
ทองคำ 16 กระรัต	211
ทองคำ 14 กระรัต	255

โครงสร้างจุลภาคของทองคำ 16 กระรัต และทองคำ 14 กระรัต มีลักษณะเป็น 2 เฟส ดังภาพที่ 4.8 จากแผนภูมิสมมูลเฟสของ Katuhiro Yasuda ในบทที่ 3 แสดงให้เห็นว่าเฟสที่เป็นพื้นฐานคือ เฟสที่มีทองแดงผสมอยู่มาก (Cu-Rich Phase, AuCu II) และเฟสที่แทรกตัวอยู่คือ เฟสที่มีเงินผสมอยู่มาก (Ag-Rich Phase, α_2) ดังภาพที่ 4.9 และจากภาพที่ 4.8 และ 4.9 ยังแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคจากการใช้สารละลายในการกัดผิวที่แตกต่างกัน โดยภาพที่ 4.8 ใช้สารละลายกรด Conc. HCl+Conc. HNO₃ ในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 และภาพที่ 4.9 ใช้สารละลาย 10% KCN+10% (NH₄)₂S₂O₃ เจือจางด้วยน้ำ ผลดังกล่าวแสดงว่าสารละลาย 10% KCN+10% (NH₄)₂S₂O₃ เหมาะสำหรับการกัดผิวทองคำ 14 กระรัต เพื่อให้แสดงถึงขอบเกรน และเฟสที่เกิดขึ้นจากการอบเพิ่มความแข็ง



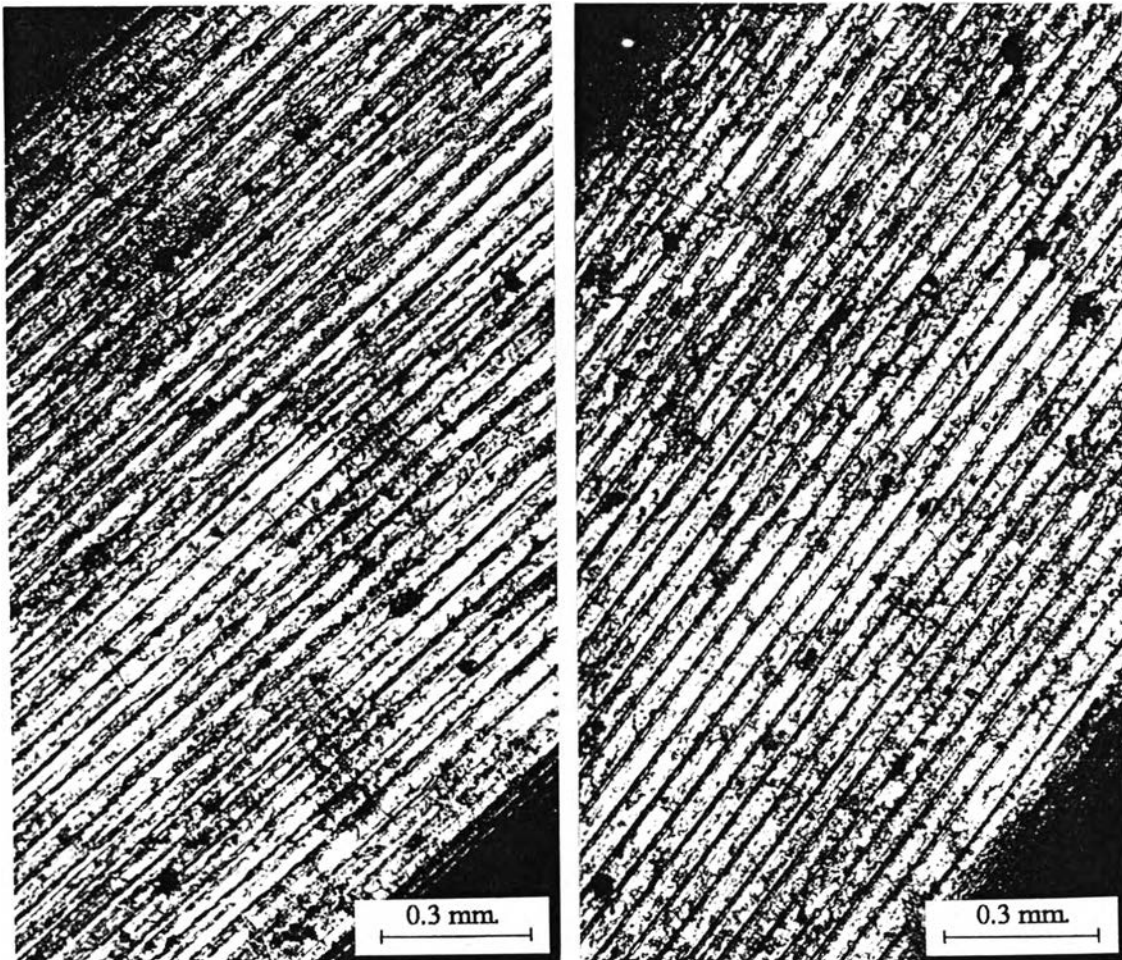
ภาพที่ 4.8 แสดงโครงสร้างจุลภาคทองคำ 14 กระรัต ที่อบเป็นเนื้อเดียวที่ อุณหภูมิ 800°C แล้วปล่อยให้เย็นตัวภายในเตา กัดด้วยกรด HCL+HNO₃ (3:1) เจือจาง 30 %



ภาพที่ 4.9 แสดงเฟสต่างๆ ที่เกิดขึ้นในชั้นงานทองคำที่อบเป็นเนื้อเดียวที่ อุณหภูมิ 800°C แล้วปล่อยให้เย็นตัวภายในเตา กัดด้วยสารละลาย KCN+(NH₄)₂S₂O₃

4.2 อิทธิพลของการรีดต่อชิ้นงานที่ผ่าน และไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว

จากการทดลองรีดเป็นเส้นลวดทองคำ 14 กะรัต ด้วยเครื่องรีดเป็นเส้นลวดจนมีปริมาณการลดพื้นที่หน้าตัดประมาณ 88% ไม่พบความเสียหายบนผิวของชิ้นงานทั้ง 2 ดังภาพที่ 4.10 และในชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว เมื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยกัดด้วยกรดเจือจาง 30 % จากกรด HCl + HNO₃ เข้มข้นในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 โครงสร้างที่เป็นแบบเดนไดรท์ยังคงอยู่ ดังภาพที่ 4.11 และค่าความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวมักมีความสม่ำเสมอกว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบ ดังภาพที่ 4.12 และ 4.13



ก.)

ข.)

ภาพที่ 4.10 แสดงผิวของทองคำ 14 กะรัตที่ผ่านการรีดที่ปริมาณลดพื้นที่หน้าตัด 88 %

ก.) ชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว ข.) ชิ้นงานที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว



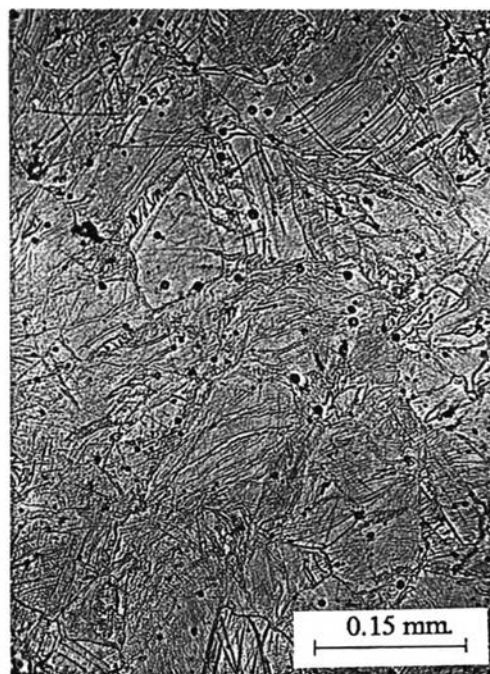
ก.) ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว
(ภาพตามแนวยาว)



ข.) ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว
(ภาพตามแนวยาว)

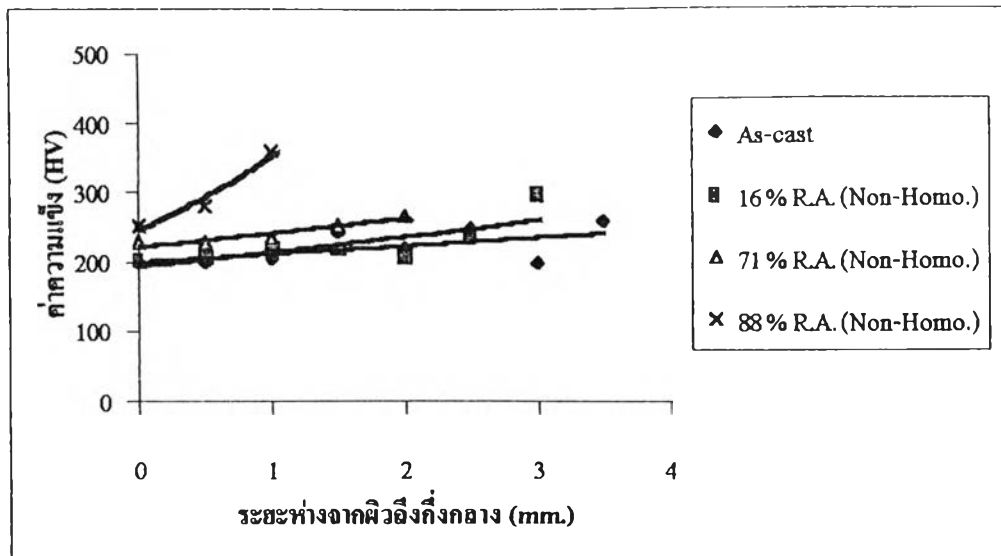


ค.) ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว
(ภาพตามแนวขวาง)

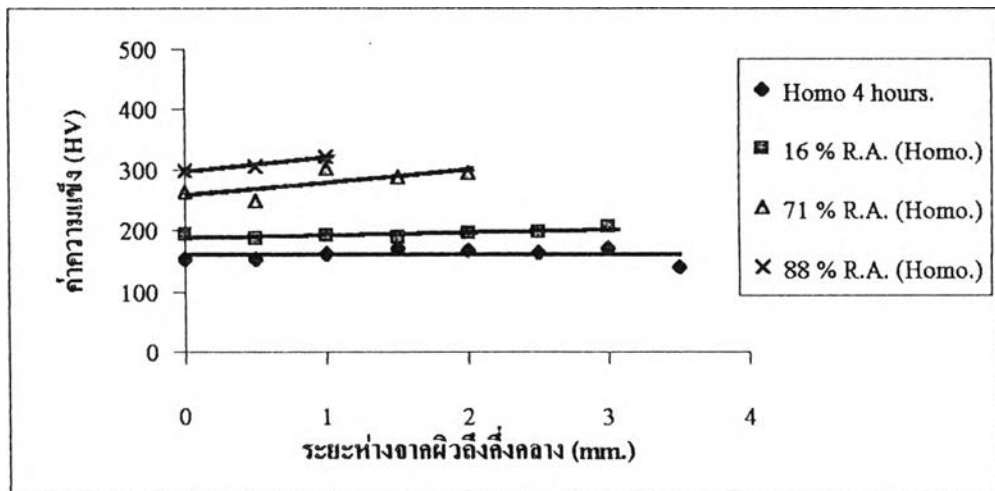


ง.) ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว
(ภาพตามแนวขวาง)

ภาพที่ 4.11 แสดงโครงสร้างจุลภาคของค้ำ 14 กระรัต ที่ผ่านการรีด
ที่ปริมาณลดพื้นที่หน้าตัด 88 %



ภาพที่ 4.12 แสดงค่าความแข็งของค่า 14 กระรัตที่ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว จากขอบถึงกึ่งกลางชิ้นงาน

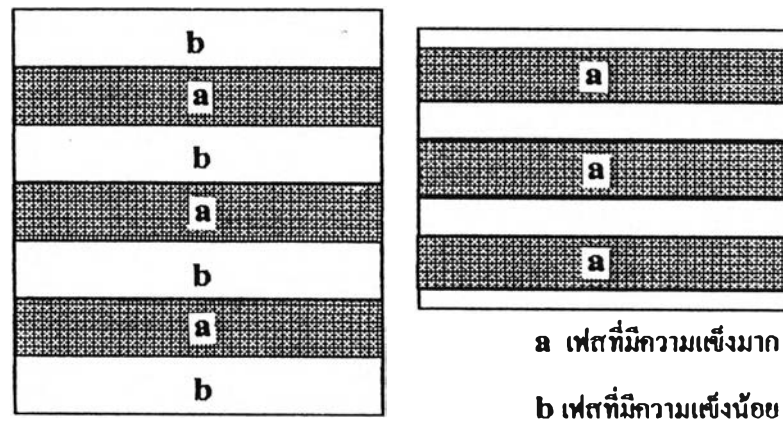


ภาพที่ 4.13 แสดงค่าความแข็งของค่า 14 กระรัต ที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว จากขอบถึงกึ่งกลางชิ้นงาน

จากข้อมูลข้างต้น ค่าความแข็งชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว แสดงถึงความแตกต่างของค่าความแข็งที่ผิว และกึ่งกลางชิ้นงานที่มีสูงมาก ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากลักษณะของโครงสร้างเดนไดรต์จากการหล่อไม่สามารถกระจายความเค้น (Stress Distribution) สู่วัสดุที่อยู่ลึกลงไปจากผิวได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากลักษณะของโครงสร้างของชิ้นงานที่มี 2 เฟส คือเดนไดรต์ และช่องระหว่างเดนไดรต์ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีแตกต่างกัน และจากการตรวจวัดค่าความ

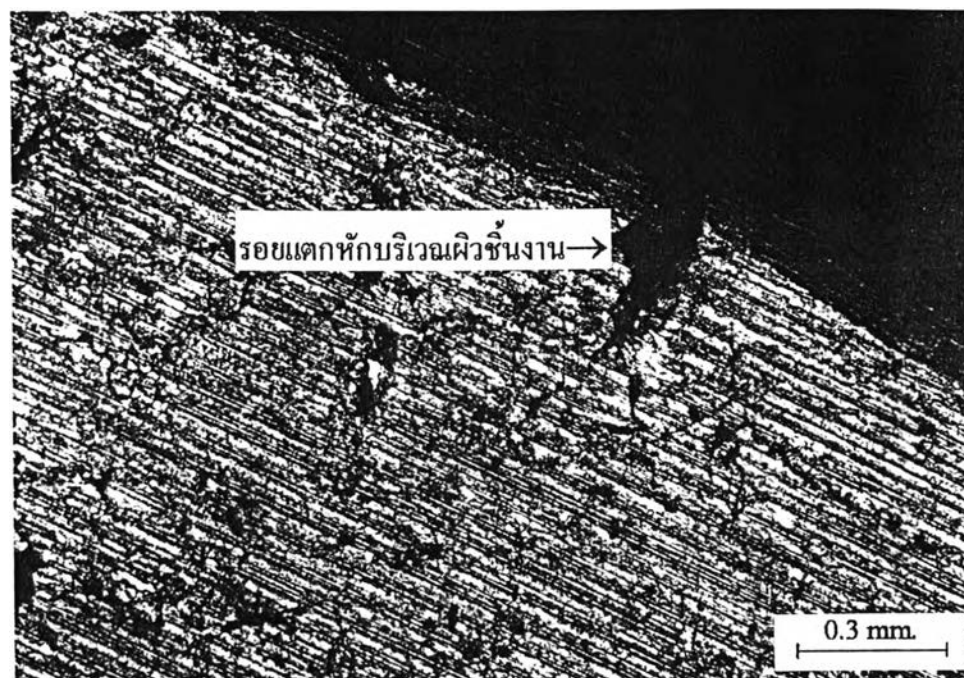
แข็งพบว่าส่วนที่เป็นเดนไดรต์ มีค่าความแข็งสูงกว่าส่วนที่เป็นช่องระหว่างเดนไดรต์ คือ 143 HV และ 110 HV ตามลำดับ

โครงสร้างดังกล่าวคล้ายโครงสร้างในวัสดุผสม (Composite Material) ที่มีการเรียงตัวของเนื้อวัสดุ 2 ชนิด ที่มีสมบัติวัสดุแตกต่างกัน สลับกันเป็นชั้นๆ ดังภาพจำลองโครงสร้างที่ 4.14 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างที่ไม่มีความเป็นเนื้อเดียวเมื่อมีแรงกดจากภายนอกกระทำ เฟสที่มีความแข็งต่ำกว่าเฟสอื่นและอยู่ใกล้ตำแหน่งที่แรงกระทำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรงมากกว่าเฟสที่แข็งกว่า และอยู่ห่างจากตำแหน่งที่แรงกระทำมากกว่า



ภาพที่ 4.14 แสดงแบบจำลองโครงสร้างในวัสดุผสมเมื่อได้รับแรงภายนอก

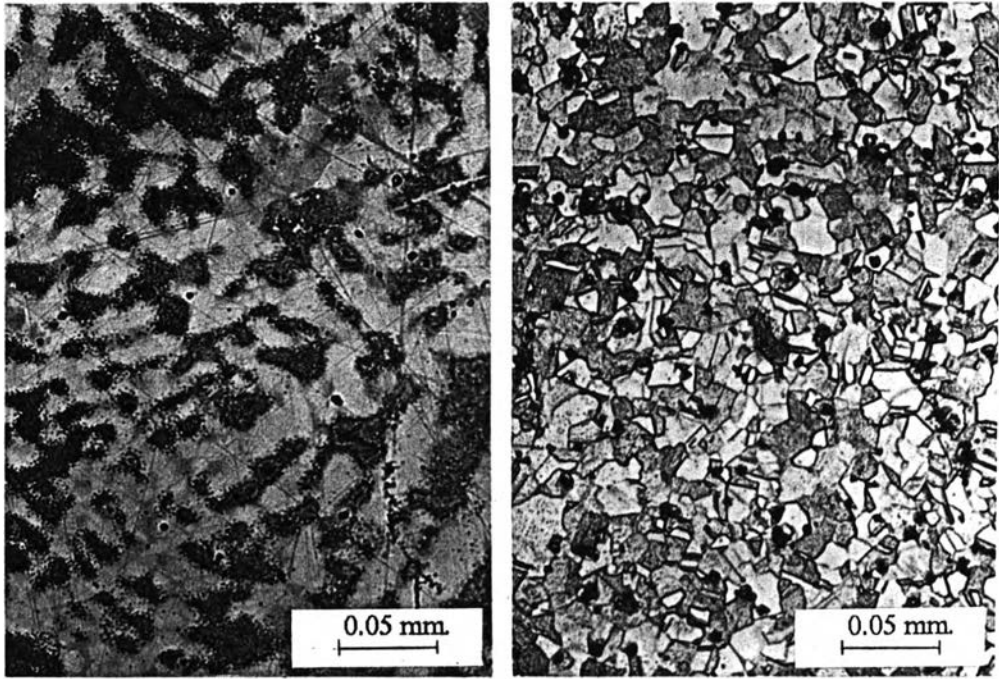
จากการรีดชิ้นงานทองคำ 16 กระรัต ที่หลอมด้วยหัวพ่นไฟ (Torch) เกิดการร้าวที่ผิวของชิ้นงานอย่างชัดเจนที่ปริมาณลดพื้นที่หน้าตัดประมาณ 25 % จากการตรวจดูด้วยกล้องขยาย 20 เท่า พบว่าชิ้นงานมีความไม่สม่ำเสมอของส่วนผสมอย่างเห็นได้ชัด คือ สามารถเห็นความแตกต่างได้จากสีชิ้นงาน สันนิษฐานว่าเกิดจากขั้นตอนการหล่อแท่งชิ้นงานที่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 แสดงผิวที่เกิดความเสียหายจากการรีด ชิ้นงานทองคำ 16 กระรัต ที่ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว

4.3 อิทธิพลของการอบอ่อนต่อชิ้นงานรีดที่ผ่าน และไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว

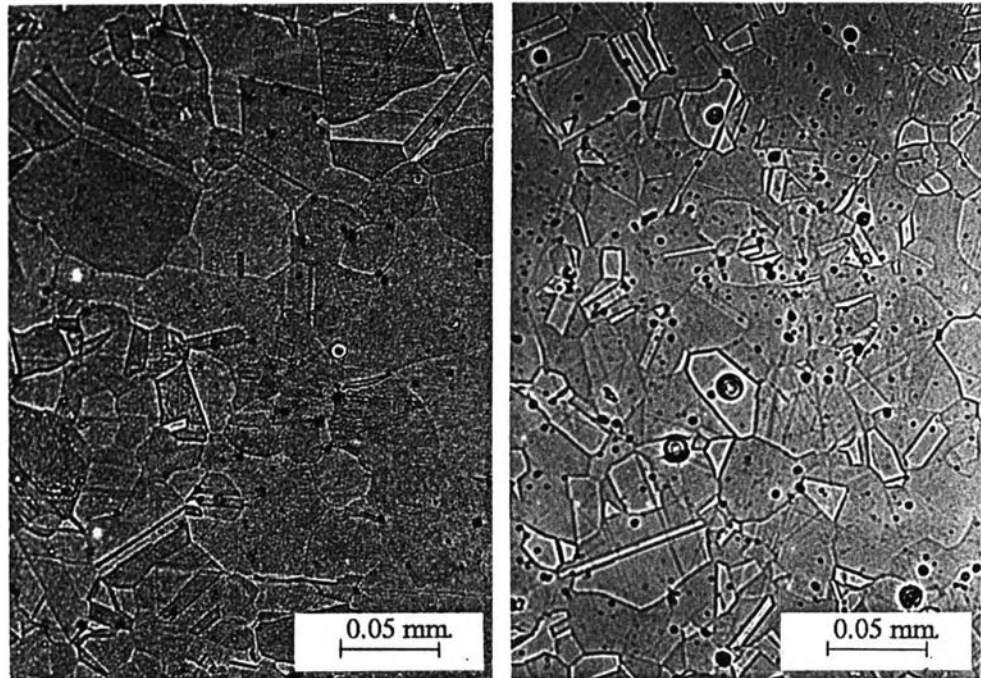
จากการนำชิ้นงานที่ผ่านการรีดเป็นเส้นลวดที่มีขนาด 2.2*2.3 มม. หรือมีปริมาณการลดพื้นที่ 88 % มาอบอ่อนที่อุณหภูมิ 650°C เป็นเวลา 30 นาที พบว่าขนาดเกรนหลังการอบอ่อนชิ้นงานที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวมีค่าประมาณ 0.022 มม. และ มีความแข็งประมาณ 169 HV ส่วนชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวขนาดเกรนมีค่าประมาณ 0.012 มม. และ มีค่าความแข็งประมาณ 161 HV จากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านการรีดแล้วอบอ่อนโดยไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวเมื่อกัดด้วยกรด HCl + HNO₃ ปรากฏให้เห็นโครงสร้างที่เป็นเดนไดรต์ และเมื่อกัดด้วยสารละลาย KCN + (NH₄)₂S₂O₃ ปรากฏโครงสร้างที่เป็นเกรนในชิ้นงานเดียวกัน แสดงว่าเกรนที่เกิดขึ้นนี้แต่ละเกรนมีส่วนผสมทางเคมีที่ต่างกันขึ้นอยู่กับว่าเกรนเกิดขึ้นบริเวณที่เป็นเดนไดรต์ หรือช่องระหว่างเดนไดรต์ ดังภาพที่ 4.16



ก.) กัดด้วยกรด $\text{HCl} + \text{HNO}_3$

ข.) กัดด้วยสารละลาย $\text{KCN} + (\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$

ภาพที่ 4.16 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว ผ่านการรีดและอบอ่อน

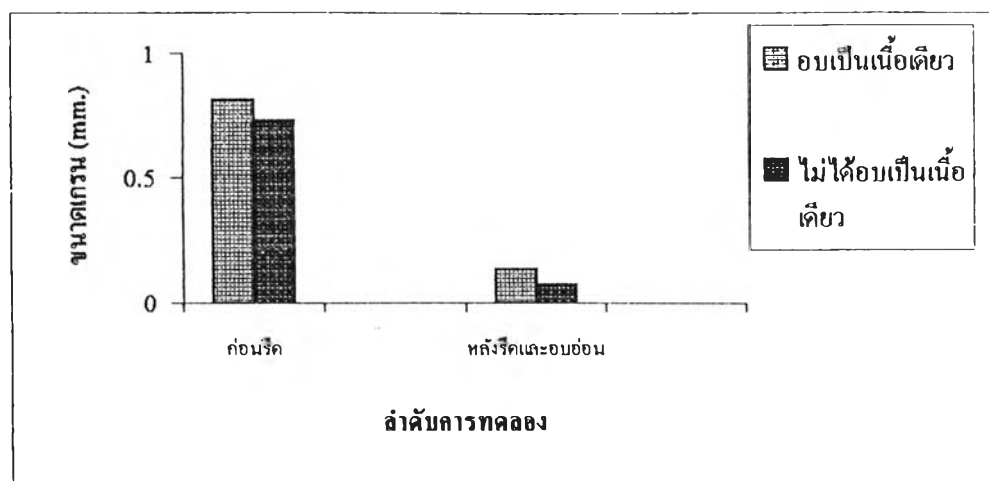


ก.) กัดด้วยกรด $\text{HCl} + \text{HNO}_3$

ข.) กัดด้วยสารละลาย $\text{KCN} + (\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$

ภาพที่ 4.17 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวที่ผ่านการรีดและอบอ่อน

ขนาดเกรนที่เล็กลงประมาณ 98% จากขนาดเกรนเริ่มต้น ทั้งชิ้นงานที่ผ่าน และไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว จากการอบอ่อนซึ่งทำให้เกิดเกรนใหม่ (Recrystallization) แสดงว่าการอบเป็นเนื้อเดียวก่อนการรีดไม่มีผลต่อการอัตราการเกิดเกรนใหม่ แต่ขนาดเกรนสุดท้ายที่ไม่เท่ากันมีผลมาจากขนาดเกรนเริ่มต้นที่ต่างกัน เห็นได้จากความชันของกราฟในภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดเกรนของทองคำ 14 กระรัต ในขั้นตอนการรีด

ค่าความแข็งของชิ้นงานทั้งสองที่ผ่านการอบอ่อนมีความแตกต่างกันไม่มาก แสดงถึงการลดความเค้นภายในชิ้นงานจากการอบอ่อนถึงจุดที่มีความเค้นสะสมต่ำที่สุดแล้ว เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว ซึ่งมีค่าความแข็งประมาณ 167 HV แสดงว่าเวลา 30 นาที ที่ใช้ในการอบอ่อนเพียงพอแล้วต่อการลดความแข็งชิ้นงาน เพื่อที่จะสามารถขึ้นรูปชิ้นงานต่อไปได้

4.4 อิทธิพลของการอบเพิ่มความแข็งต่อชิ้นงานที่ผ่าน และไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว

จากการนำชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนมาอบเพิ่มความแข็งที่อุณหภูมิ 350°C เป็นเวลา 60 นาที พบว่าขนาดเกรนมีการเปลี่ยนแปลง โดยชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวนั้นมีขนาดเกรนประมาณ 0.013 มม. และมีค่าความแข็งประมาณ 253 HV ส่วนชิ้นงานที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวนั้นมีขนาดเกรนประมาณ 0.024 มม. และมีค่าความแข็งประมาณ 260 HV ขนาดเกรนหลังการอบเพิ่มความแข็ง โตกว่าขนาดเดิมประมาณ 8 % สำหรับชิ้นงานที่ไม่อบเป็นเนื้อเดียว และ 9 % สำหรับชิ้นงานที่อบเป็นเนื้อเดียว และจากภาพโครงสร้างจุลภาคที่กัดด้วยกรด $\text{HCl} + \text{HNO}_3$ เห็นการตกผลึก (Precipitate) ที่บริเวณขอบเกรนทั้งสองตัวอย่างทดลอง เมื่อตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีพบว่าส่วนที่ตกผลึกออกมามีส่วนผสมทางเคมีของเงินมาก และส่วนที่เป็นเนื้อภายในเกรนมีส่วนผสมทางเคมีของ

ทองแดงมาก ซึ่งเป็นไปตามแผนภูมิสมมูลของเฟส ที่อุณหภูมิต่ำกว่าประมาณ 350°C ความสามารถในการละลายของเงินในสารละลายของแข็งจะลดลง โดยเฟสที่เกิดขึ้นใหม่คือ α_2 (Ag-Rich Phase)

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานที่ผ่านการอบเพิ่มความแข็ง

	Au (wt.%)	Ag(wt.%)	Cu(wt.%)
ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว (ภายในเกรน)	39.17	25.74	35.10
เฟสที่เกิดขึ้นใหม่ (บริเวณขอบเกรน)	17.00	62.77	20.20
ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว (ภายในเกรน)	43.50	22.63	33.90
เฟสที่เกิดขึ้นใหม่ (บริเวณขอบเกรน)	20.10	59.26	20.62



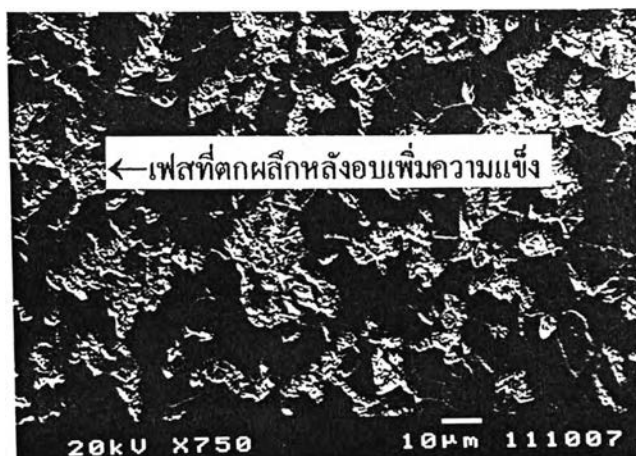
ก.) ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว



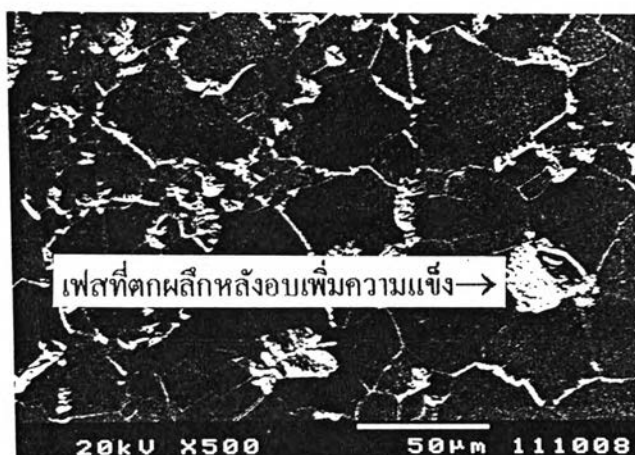
ข.ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว

ภาพที่ 4.19 แสดง โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเมื่ออบเพิ่มความแข็ง หลังผ่านการรีดเย็น และการอบอ่อน กัดด้วยกรด HCL+HNO₃ (3:1) เจือจาง 30 %

จากข้อมูลการทดลองแสดงถึงค่าความแข็งที่ต่างกันของชิ้นงาน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากเฟส α_2 ที่ตกผลึก (Precipitated Phase) บริเวณขอบเกรนที่มีจำนวนไม่เท่ากัน มีผลมาจากปริมาณขอบเกรน และความไม่สม่ำเสมอของส่วนผสมที่มากกว่าในชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว และจากการทดลองในครั้งนี้ พบว่าการอบเพิ่มความแข็งของค่าที่ผ่านการรีดเย็น และการอบอ่อนมาแล้ว ทองคำ 14 กระรัตที่ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวจะมีความแข็งต่ำกว่าทองคำกระรัตที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียวเพียงประมาณ 2 %



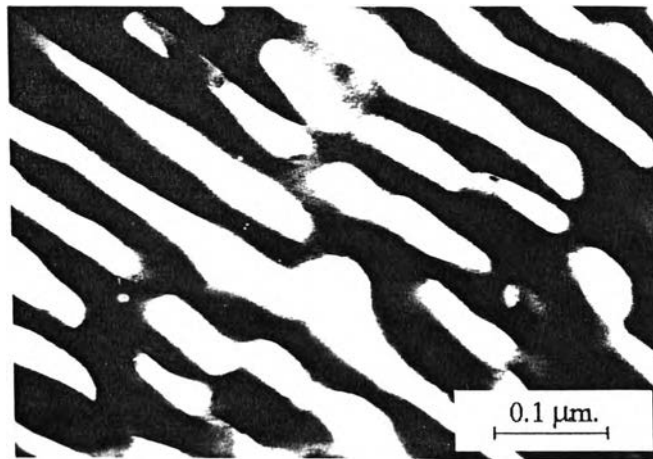
ก.) ไม่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว



ข.) ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว

ภาพที่ 4.20 แสดง โครงสร้างจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดของทองคำ 14 กระรัต เมื่ออบเพิ่มความแข็ง หลังผ่านการรีดเย็น และการอบอ่อน กัดด้วยสารละลาย $\text{KCN} + (\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ เจือจาง 10%

จากการนำชิ้นงานที่ผ่านการอบเพิ่มความแข็งแรงไปตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่าบริเวณขอบเกรนมีโครงสร้างแบบเป็นชั้นๆ (Lamellar Structure) แต่ด้วยเครื่องมือที่ไม่สมบูรณ์ จึงไม่สามารถระบุได้ว่าโครงสร้างดังกล่าวเป็นของเฟสใด ระหว่าง AuCu II กับ α_2 ดังภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.21 แสดงโครงสร้างจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของทองคำ 14 carat ที่ผ่านการอบเป็นเนื้อเดียว อบเพิ่มความแข็งแรง การรีดเย็น และการอบอ่อน