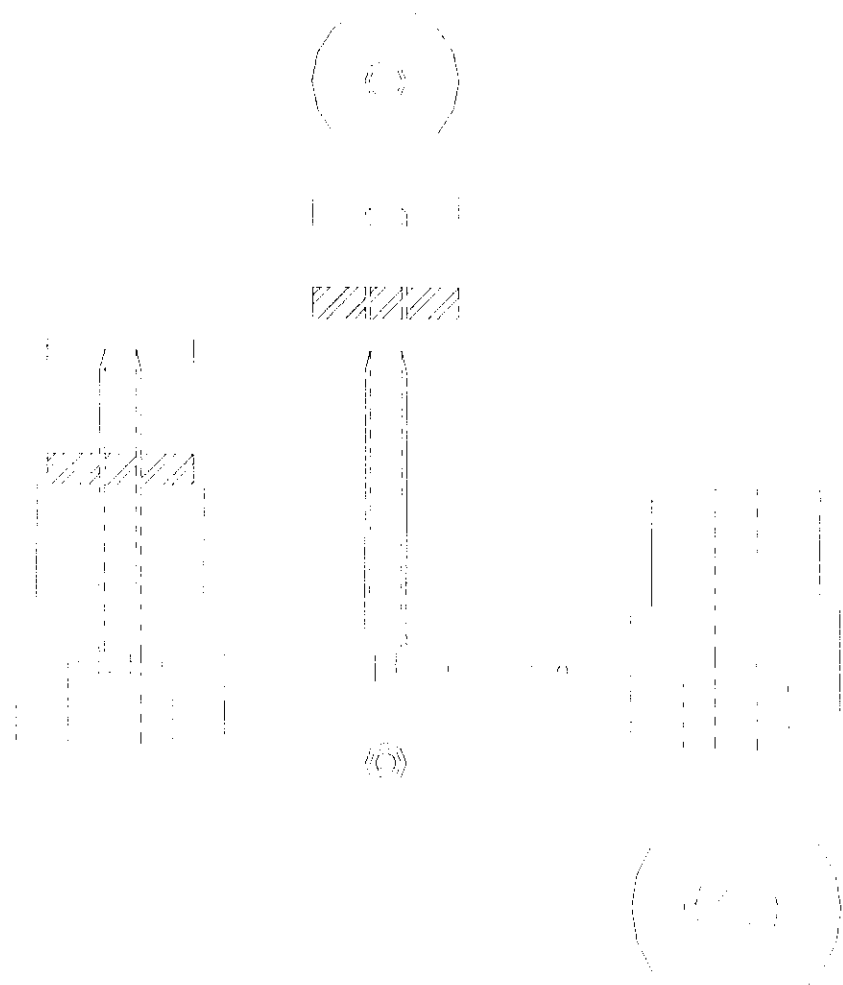


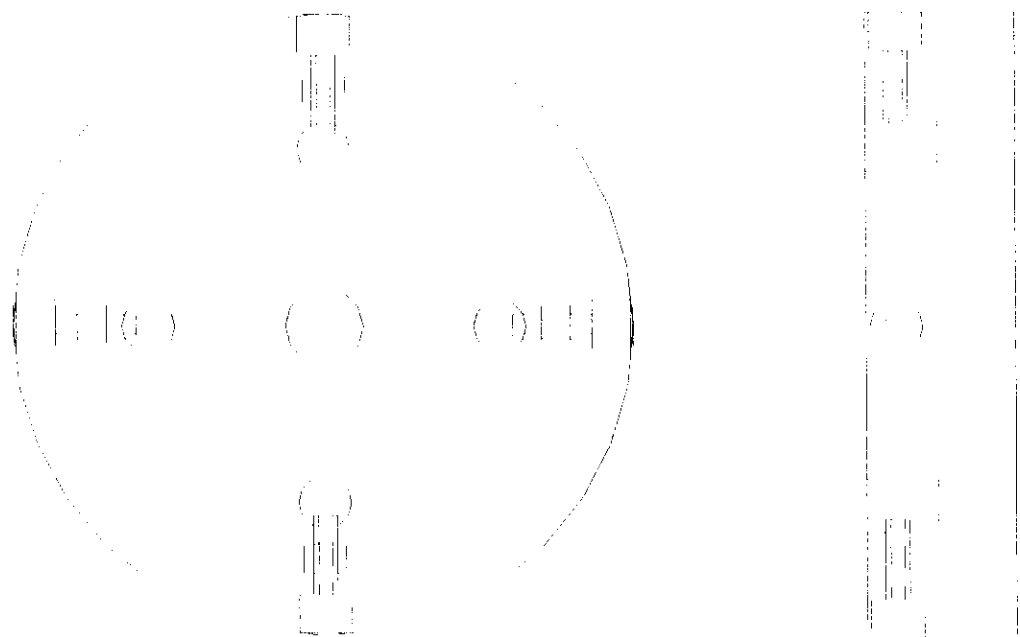
บทที่ 4 ผลการศึกษา

จากการศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในการนำเครื่อง High Temperature Metallurgy มาใช้กับกล้องจุลทรรศน์ จะพบว่าขนาดของเครื่องมีขนาดใหญ่เกินไปไม่สามารถใช้กับกล้องจุลทรรศน์ที่มีอยู่ได้ จึงต้องออกแบบ แทนปรับความสูงของเครื่องให้สามารถเลื่อนขึ้นเลื่อนลงให้อยู่ในระดับโฟกัสของกล้องจุลทรรศน์ได้ ซึ่งผลของการออกแบบและทดลองปฏิบัติได้แบบดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์แท่นวาง heating stage เพื่อใช้รับ โฟกัสของกล้องจุลทรรศน์

อีกปัญหาหนึ่งที่พาคือชิ้นงานที่จะมาทำการทดลองต้องมีขนาดเล็กมาก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
กลางประมาณ 5 มิลลิเมตร สูง 7 มิลลิเมตร และมีรูตรงกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร
ลึกประมาณ 4 มิลลิเมตร จึงต้องออกแบบ Rotary Clamp เพื่อให้จับในการช่วยขัดด้วยเครื่องขัด
อัตโนมัติ ซึ่งผลการออกแบบ ได้แบบดังนี้



ROTARY CLAMPING

รูปที่ 4.2 แสดงงานขัดโลหะอัตโนมัติ

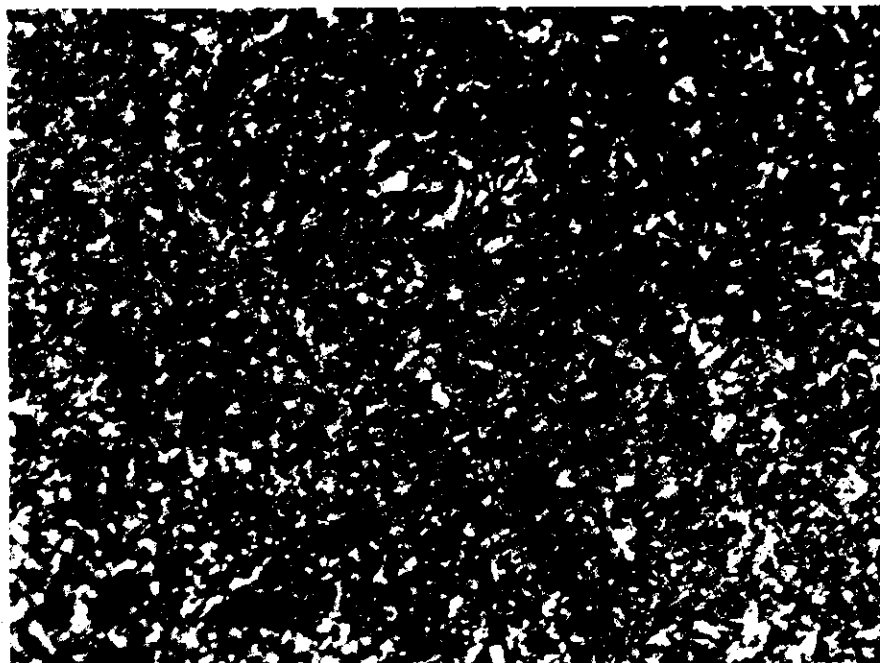
สำหรับการทดลองนี้ได้เลือกเหล็ก 3 ชนิด คือ

-เหล็กเพลลาขาว

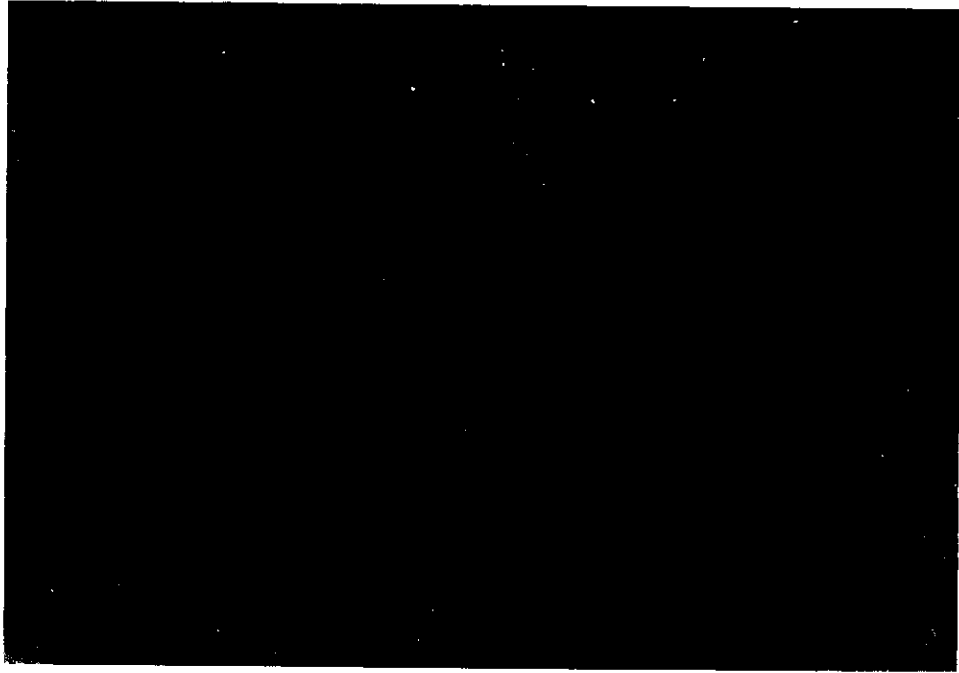
-เหล็กเพลลาดำ

-เหล็กข้ออ้อย

จากการทดลองด้วยเครื่อง High Temperature Metallurgy อุณหภูมิที่ใช้คือ 27-920 °C ลักษณะเกรนที่เปลี่ยนแปลงก่อนและหลังการทดลองจะเห็นได้ถึงความแตกต่างของขนาดเกรน กล่าวคือเกรนก่อนการทดลองจะมีขนาดเล็กซึ่งเป็นผลจากกระบวนการผลิต ความเค้นทำให้เกรนมีขนาดเล็กลง ภายหลังจากการทดลองขนาดเกรนมีขนาดใหญ่อย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากความร้อนทำให้เกรนเกิดการรวมตัวใหม่ ดังแสดงต่อไปนี้



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะเกรนของเหล็กเพลลาขาวก่อนการทดลอง กำลังขยาย 10X ถัดด้วยกรดไนตริก 5% เป็นเวลา 30 วินาที



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะเกรนของเหล็กเพลลาขาวก่อนการทดลอง กำลังขยาย 50X ถัดด้วยกรดไนตริก 5% เป็นเวลา 30 วินาที



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะเกรนของเหล็กเพลลาขาวหลังการทดลอง กำลังขยาย 10X



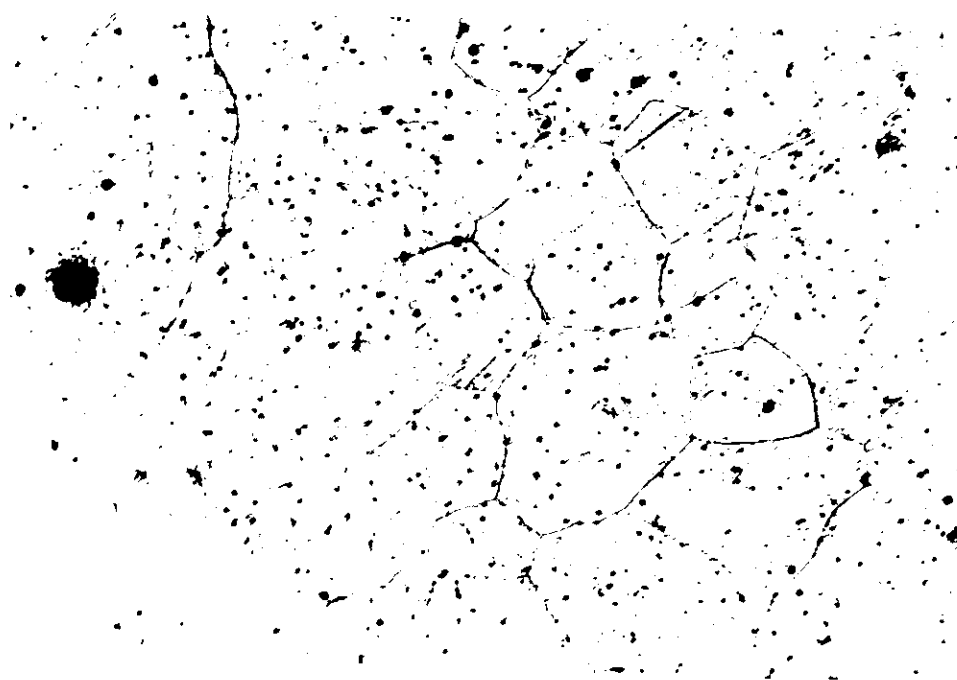
รูปที่4.6 แสดงลักษณะเกรนของเหล็กเพลลาขาวหลังการทดลอง กำลังขยาย 50X



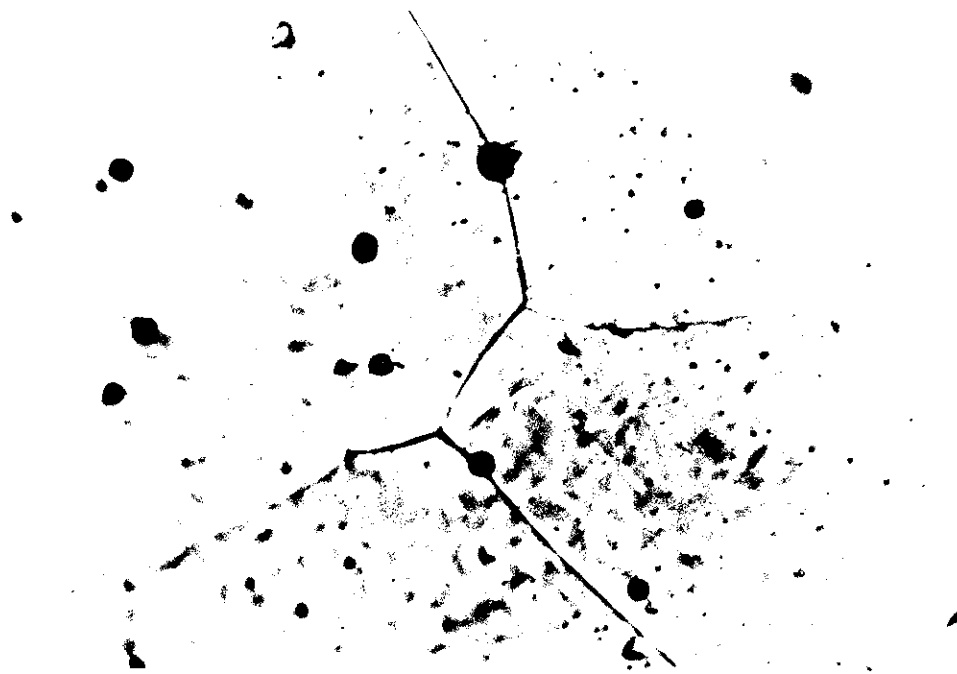
รูปที่4.7 แสดงลักษณะเกรนของเหล็กเพลลาดำก่อนการทดลอง กำลังขยาย 10X กัดด้วยกรดไนตริก 5% เป็นเวลา 30 วินาที



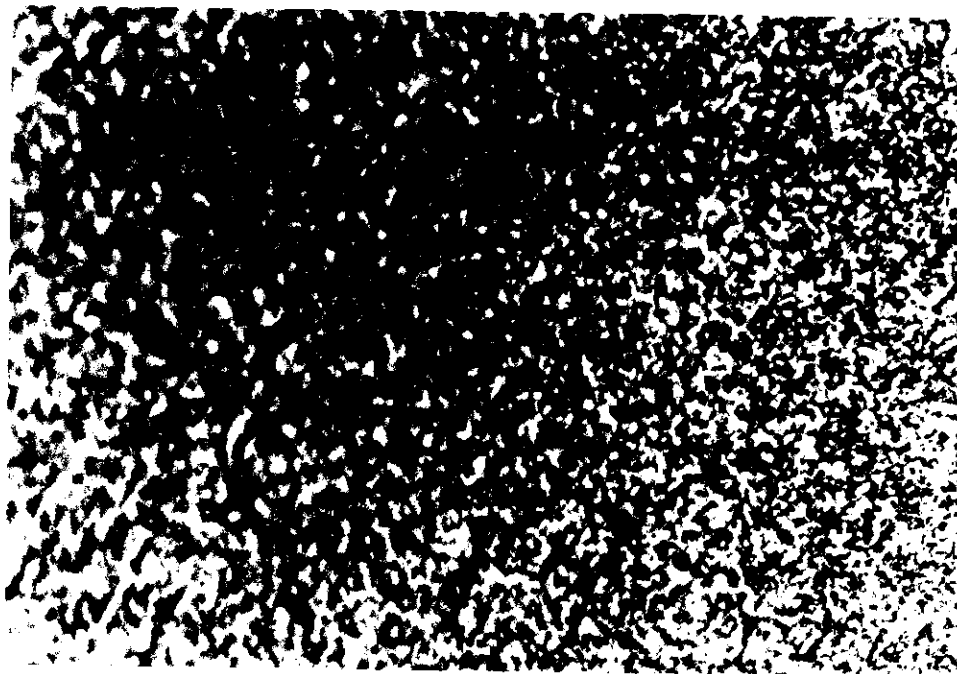
รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะเกรนของเหล็กเพลาดำก่อนการทดลอง กำลังขยาย 50X ถัดด้วยกรดไนตริก 5% เป็นเวลา 30 วินาที



รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะเกรนของเหล็กเพลาดำหลังการทดลอง กำลังขยาย 10X



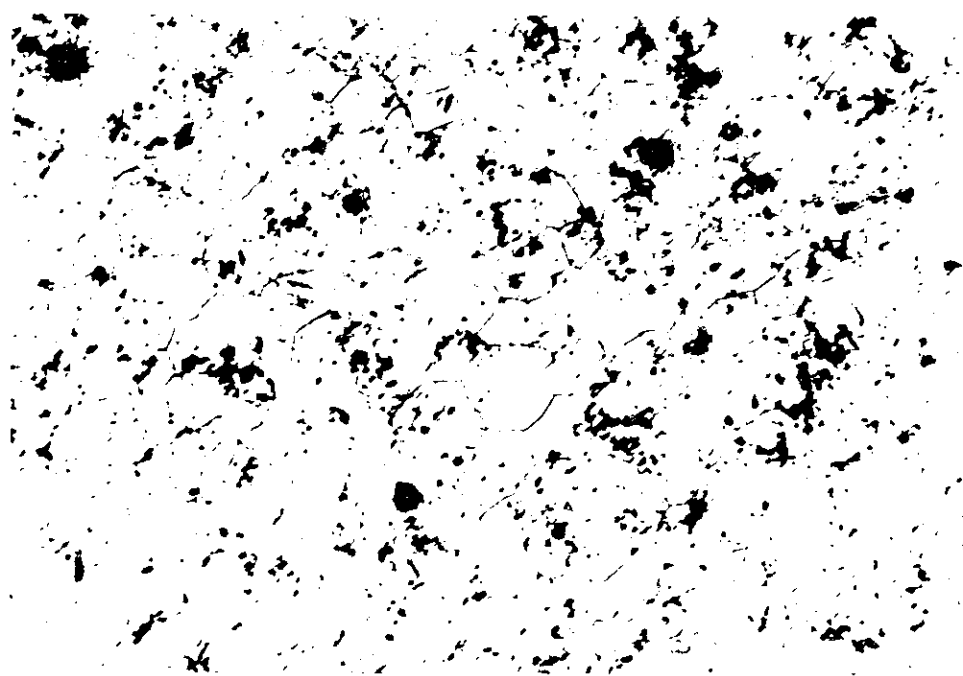
รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะเกรนของเหล็กเพลาดำหลังการทดลอง กำลังขยาย 50X



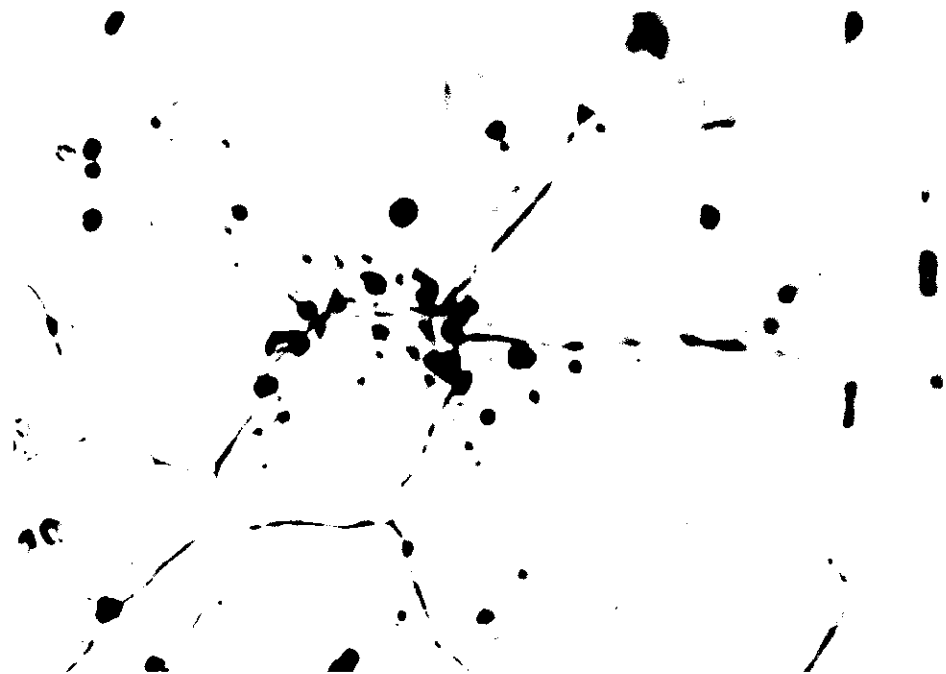
รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะเกรนของเหล็กข้ออ้อยก่อนการทดลอง กำลังขยาย 10X ถัดด้วยกรดไนตริก 5% เป็นเวลา 30 วินาที



รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะเกรนของเปลือกขี้้อยก่อนการทดลอง กำลังขยาย 50X ถัดด้วยกรดไนตริก 5% เป็นเวลา 30 วินาที



รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะเกรนของเปลือกขี้้อยหลังการทดลอง กำลังขยาย 10X



รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะเกรนของเปลือกข้ออ้อยหลังการทดลอง กำลังขยาย 10X

ภาพที่แสดงด้านบนเป็นการถ่ายก่อนและหลังการเปลี่ยนเฟสจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเกรนมีขนาดแตกต่างกันมากระหว่างก่อนและหลังทำการทดลอง สำหรับการเปลี่ยนเฟสที่เป็นภาพเคลื่อนไหวที่บันทึกด้วยระบบ VDO ไม่สามารถนำมาใส่ในรายงานได้ ดังนั้นผลการทดลองส่วนหนึ่งจึงอ้างอิงภาพจาก VDO การเปลี่ยนแปลงทั้งหมดที่เกิดขึ้นพอสรุปออกมาเป็นลายลักษณ์อักษร ได้ดังนี้

Material	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Structure	Characteristic
- เหล็กเพลาดำ	28-100	$\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$	มีเกรนสีขาวและสีดำกระจายอยู่
	101-200	$\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$	เกรนสีดำเริ่มลดลง
	201-300	$\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$	เกรนสีดำเริ่มลดลงและเกรนสีขาวเพิ่มขึ้น
	301-400	$\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$	เกรนสีดำเริ่มลดลงและเกรนสีขาวเพิ่มขึ้น
	401-500	$\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$	ขนาดของเกรนสีขาวเห็นได้ชัดเจนในขณะที่ซีเมนไตต์เริ่มกลายจุดกลม ๆ เล็ก ๆ
	501-600	$\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$	โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นเฟอร์ไรต์ และมีซีเมนไตต์เพียงเล็กน้อย
	601-700	$\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$	โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นเฟอร์ไรต์ และมีซีเมนไตต์เพียงเล็กน้อย
	701-800	$\alpha + \text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \gamma$	โครงสร้างเปลี่ยนเป็นออสเทนไนต์
	801-900	γ	โครงสร้างออสเทนไนต์เริ่มขยายตัวใหญ่ขึ้น
901-920	γ	โครงสร้างออสเทนไนต์มีขนาดใหญ่ขึ้น	

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนเฟสที่อุณหภูมิต่างๆของเหล็กเพลาดำ

Material	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Structure	Characteristic
- เหล็กเพลาขาว	28-100	α	มีเกรนสีขาวและจุดสีดำกระจายอยู่
	101-200	α	จุดสีดำเริ่มลดลง
	201-300	α	จุดสีดำเริ่มลดลงและเกรนสีขาวเพิ่มขึ้น
	301-400	α	จุดสีดำเริ่มลดลงและเกรนสีขาวเพิ่มขึ้น
	401-500	α	ขนาดของเกรนสีขาวเห็นได้ชัดเจนใน ขณะที่กราฟไฟต์เริ่มกลายเป็นจะกลม ๆ เล็ก ๆ
	501-600	α	โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นเฟอไรต์ และมี กราฟไฟต์เพียงเล็กน้อย
	601-700	α	โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นเฟอไรต์ และมี กราฟไฟต์เพียงเล็กน้อย
	701-800	$\alpha \rightarrow \gamma$	โครงสร้างเปลี่ยนเป็นออสเทนไนต์
	801-900	γ	โครงสร้างออสเทนไนต์เริ่มขยายตัวใหญ่ ขึ้น
901-920	γ	โครงสร้างออสเทนไนต์มีขนาดใหญ่ขึ้น	

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนเฟสที่อุณหภูมิต่างๆของเหล็กเพลาขาว

Material	Temperature (°C)	Structure	Characteristic
- เหล็กข้ออ้อย	28-100	$\alpha + (\alpha + \text{Fe}_3\text{C})$	มีเกรนสีขาวและสีดำกระจายอยู่
	101-200	$\alpha + (\alpha + \text{Fe}_3\text{C})$	เกรนสีดำเริ่มลดลง
	201-300	$\alpha + (\alpha + \text{Fe}_3\text{C})$	เกรนสีดำเริ่มลดลงและเกรนสีขาวเพิ่มขึ้น
	301-400	$\alpha + (\alpha + \text{Fe}_3\text{C})$	เกรนสีดำเริ่มลดลงและเกรนสีขาวเพิ่มขึ้น
	401-500	$\alpha + (\alpha + \text{Fe}_3\text{C})$	ขนาดของเกรนสีขาวเห็นได้ชัดเจน
	501-600	$\alpha + (\alpha + \text{Fe}_3\text{C})$	โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นเพิร์ไลต์และมีเฟอร์ไรต์ปนอยู่
	601-700	$\alpha + (\alpha + \text{Fe}_3\text{C})$	โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นเพิร์ไลต์และมีเฟอร์ไรต์ปนอยู่
	701-800	$\alpha + (\alpha + \text{Fe}_3\text{C}) \rightarrow \gamma$	โครงสร้างเปลี่ยนเป็นออสเทนไนต์
	801-900	γ	โครงสร้างออสเทนไนต์เริ่มขยายตัวใหญ่ขึ้น
	901-920	γ	โครงสร้างออสเทนไนต์มีขนาดใหญ่ขึ้น

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนเฟสที่อุณหภูมิต่างๆของเหล็กข้ออ้อย

จากการเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนเฟสของเหล็กทั้ง 3 ชนิด จะพบว่าเฟสในช่วงอุณหภูมิที่กำหนดจะมีลักษณะเป็นแบบเดียวกัน ถ้ากำหนดช่วงอุณหภูมิให้แคบเข้าไปอีกจะพบว่าลักษณะความเร็วของการเปลี่ยนเฟสจะแตกต่างกัน ซึ่งลักษณะเริ่มต้นที่อุณหภูมิห้อง 27 °C เหล็กข้ออ้อยจะมีขนาดเกรนที่เล็กกว่าเหล็กเพลาค้ำและเหล็กเพลาชาว เหล็กเพลาชาวมีขนาดเกรนที่ใหญ่ที่สุดเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายเท่ากัน โดยเหล็กข้ออ้อยจะมีปริมาณของเพิร์ไลต์สูง ส่วนเหล็กเพลาชาวมีปริมาณของเฟอร์ไรต์สูง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของลักษณะเกรนด้วยสายตา จากตารางจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงระดับช่วง 701-800 °C ลักษณะการเปลี่ยนเฟสจะมีการเปลี่ยนเฟสดังนี้

สำหรับเหล็กเพลาค้ำ $\alpha + \text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \gamma$ การเปลี่ยนเฟสจะผ่านอุณหภูมิ 727 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิยูเทคตอย ที่ %C 0.8 การเปลี่ยนเฟสจะเปลี่ยนจาก $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ไปเป็น γ และเป็น γ ทั้งหมดที่อุณหภูมิสูงกว่า 910 °C เมื่อ %C น้อยกว่า 2.0

สำหรับเหล็กเพลาขาว $\alpha \rightarrow \gamma$ การเปลี่ยนเฟสจะผ่านอุณหภูมิ 727 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิยูเทคตอย ที่ %C 0.8 การเปลี่ยนเฟสจะเปลี่ยนจาก α ไปเป็น γ และเป็น γ ทั้งหมดที่อุณหภูมิสูงกว่า 910 °C เมื่อ %C น้อยกว่า 2.0

สำหรับเหล็กข้ออ้อย $\alpha + (\alpha + \text{Fe}_3\text{C}) \rightarrow \gamma$ การเปลี่ยนเฟสจะผ่านอุณหภูมิ 727 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิยูเทคตอย ที่ %C 0.8 การเปลี่ยนเฟสจะเปลี่ยนจาก $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ไปเป็น γ และเป็น γ ทั้งหมดที่อุณหภูมิสูงกว่า 910 °C เมื่อ %C น้อยกว่า 2.0

จากตารางจะเห็นได้ว่าเหล็กทั้งสามจะมีโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์สมบูรณ์ที่ระดับสูงกว่า 801 °C ซึ่งผลการทดลองสามารถดูได้จาก VDO. ซึ่งได้บันทึกไว้แล้ว นอกจากสามารถดูการเปลี่ยนเฟสได้แล้ว ยังสามารถเปรียบเทียบเกรนก่อนและหลังการเพิ่มอุณหภูมิอีกด้วย สำหรับชิ้นงานตัวอย่างที่ได้ทดลองแล้วยังสามารถนำมาส่องดูเกรนหลังการเปรียบเทียบแปลงอีกครั้ง ซึ่งชิ้นงานทั้งสามชิ้นได้บรรจุไว้ในแผ่นฟิล์มข้างแทนทดลอง