บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานในระหว่าง และหลังการรีดร้อน

โครงสร้างจุลภาคหลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,150°C เป็นเวลา 30 นาที ก่อนทำการรีดหยาบครั้งด้วยปริมาณ 42% ที่อุณหภูมิ 1,100°C แสดงในรูปที่ 4.1 ที่แสดงขอบเกรนเดิมของโครงสร้างออสเทนไนท์ก่อนการรีดขนาด 248 ไมครอน จากนั้นเมื่อนำชิ้นงานไปรีดหยาบด้วยปริมาณ 42 % ที่อุณหภูมิ 1,100°C ด้วยอัตราความเครียด 6 S^{-1} ได้โครงสร้างออสเทนไนท์ที่เล็กลงจากการเกิดการตกผลึกใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ขนาดเกรนเดิมของโครงสร้างออสเทนไนท์หลังการตกผลึกใหม่มีขนาดลดลงเป็น 80 ไมครอน จากนั้นพักการรีดจนชิ้นงานมีอุณหภูมิ 1,000 °C แล้วทำการรีดสุดท้ายด้วยปริมาณ 53.3% ด้วยอัตราความเครียด 6 S^{-1} ได้โครงสร้างออสเทนไนท์ดังแสดงในรูปที่ 4.3 คำนวณค่าขนาดเกรนได้ 33 ไมครอน จากนั้นจำลองการม้วนเก็บโดยให้ชิ้นงานเย็นตัวด้วยอัตราการเย็นตัวที่ต่างกัน 1,3,5,9 และ 20 °C /sec. ไปที่อุณหภูมิม้วนเก็บ 400 °C , 500 °C และ 600 °C แล้วปล่อยให้เย็นตัวภายในอากาศได้โครงสร้างเป็นเฟอร์ไรท์-เพิร์ลไลท์ที่มีเกรนเฟอร์ไรท์ลักษณะเป็นเกรนรูปทรงหลายเหลี่ยม (equiaxed grain) ,โครงสร้างเบนไนท์ และโครงสร้างมาร์เทนไซท์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 - 4.16 เป็นที่น่าสังเกตว่าอุณหภูมิม้วนเก็บไม่ค่อยมีผลต่อโครงสร้างที่ได้รับหลังจากการม้วนเก็บ กล่าวคือไม่ว่าจะใช้อุณหภูมิม้วนเก็บ 400,500 หรือ 600 °C แต่ถ้าใช้อัตราเย็นตัวที่เท่ากันก็จะได้โครงสร้างที่เหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.17

สำหรับอัตราเย็นตัว 1 °C /sec. การม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 600 °C จะได้โครงสร้างเฟอร์ไรท์-เพิร์ลไลท์ที่มีสัดส่วนเชิงปริมาตรของเฟอร์ไรท์ 40% คำนวณขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ได้ 32 ไมครอน เมื่อลดอุณหภูมิม้วนเก็บลงเป็น 500 °C พบว่าจะได้โครงสร้างเฟอร์ไรท์-เพิร์ลไลท์ที่มีสัดส่วนเชิงปริมาตรของเฟอร์ไรท์ลดลงเหลือ 37% และขนาดเกรนเฟอร์ไรท์เล็กลงเป็น 26 ไมครอน ส่วนชิ้นงานที่

ผ่านการม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 400 °C จะได้สัดส่วนเชิงปริมาตรของเฟอร์ไรท์ 40%และขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ 25 ไมครอน

สำหรับอัตราเย็นตัว 3-9 °C /sec จะได้โครงสร้างผสมของอะซิคิวล่าเฟอร์ไรท์และเบนไนท์ ที่มีความละเอียดใกล้เคียงกันไม่ว่าจะใช้อุณหภูมิม้วนเก็บ 400,500 หรือ 600 °C และจะได้โครงสร้างมาร์เทนไซท์ เมื่อใช้อัตราเย็นตัว 20 °C /sec.

ตารางที่ 4.1 ขนาดโครงสร้างจุลภาคระหว่าง และหลังการรีดร้อน

ขนาดเกรนออสเทนไนท์หลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,150 °C เป็นเวลา 30 นาที	248 ไมครอน
ขนาดเกรนออสเทนไนท์หลังการรีดหยาบด้วยปริมาณ 42%	80 ไมครอน
ขนาดเกรนออสเทนไนท์ก่อนการรีดละเอียดด้วยปริมาณ 53.3%	96 ไมครอน
ขนาดเกรนออสเทนไนท์หลังการรีดละเอียดด้วยปริมาณ 53.3%	33 ไมครอน

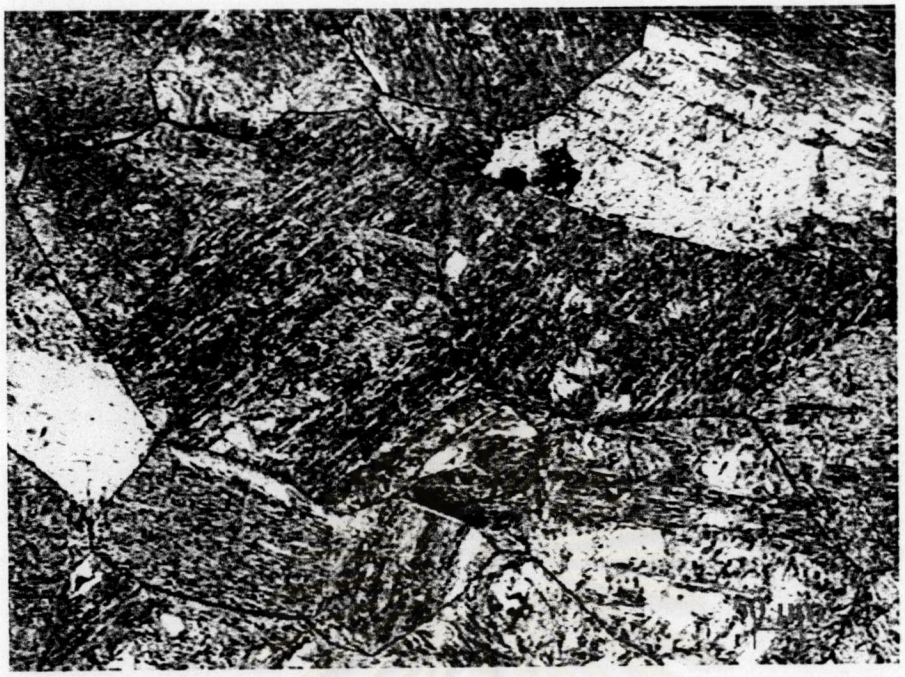
4.2 สมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงธาตุผสมต่ำที่ผสมธาตุปริมาณน้อยมากของธาตุวานาเดียม

จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า จุดคราก ค่าความเค้นแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวทั้งหมด เป็นไปดังแสดงในตารางที่ 4.2

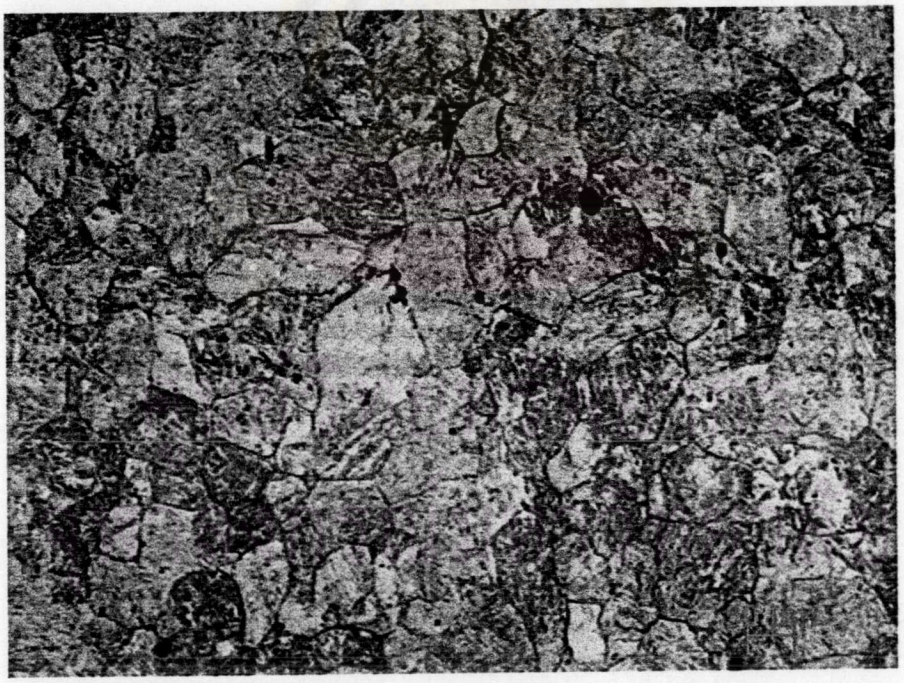
ตารางที่ 4.2 สมบัติเชิงกลที่อัตราเย็นตัวและอุณหภูมิม้วนเก็บต่างๆ

พารามิเตอร์ในการรีด		สมบัติเชิงกล			
อุณหภูมิม้วนเก็บ(°C)	อัตราเย็นตัว (°C /sec.)	ความเค้นแรงดึง(Mpa)	ความเค้นจุดคราก(Mpa)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว(%)	เปอร์เซ็นต์การลดของพื้นที่(%)
400	1	952	689	14.8	38.5
500		938	703	19.8	56.0
600		927	674	17.1	48.1
400	3	822	646	16.0	48.1
500		818	654	15.6	49.6
600		802	640	15.3	47.6
400	5	831	616	14.5	34.4
500		812	627	17.2	50.4
600		816	571	13.9	39.9
400	9	826	625	12.3	39.0
500		832	643	17.9	50.9
600		812	644	14.9	42.8
400	20	1125	1028	10.7	46.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



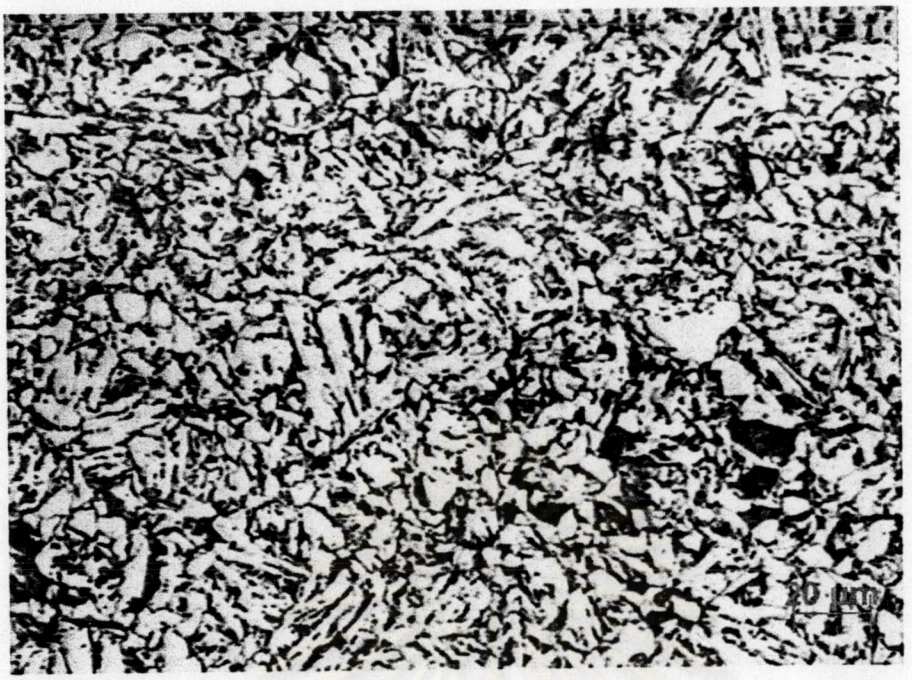
รูปที่4.1 ขอบเกรนเดิมของโครงสร้างออสเทนไนท์หลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,150 °C เป็นเวลา 30 นาที



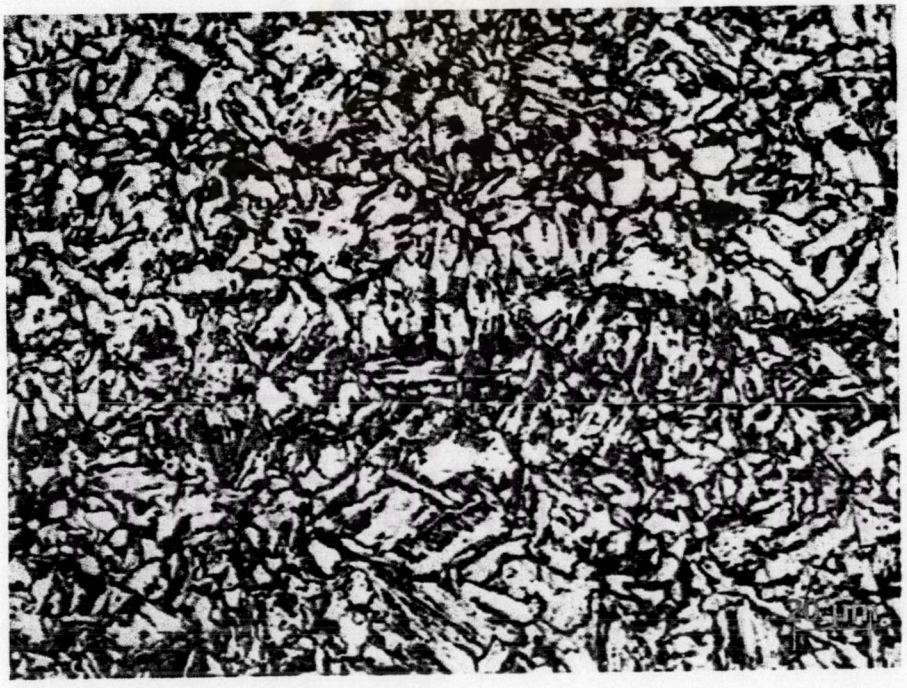
รูปที่4.2 ขอบเกรนเดิมของโครงสร้างออสเทนไนท์หลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,150 °C รีดหยาบ 42%ที่อุณหภูมิ 1,100 °C

รูปที่4.3 ขอบเกรนเดิมของโครงสร้างออสเทนไนท์หลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,150 °C รีดหยาบ 42%ที่อุณหภูมิ 1,100 °C และรีดละเอียดด้วยปริมาณ 53.3% ที่อุณหภูมิ 1,000 °C

รูปที่ 4.4 โครงสร้างเฟอร์ไรท์-เพิร์ลไลท์ หลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,150 °C รีดหยาบ 42%ที่อุณหภูมิ 1,100 °C และรีดละเอียดด้วยปริมาณ 53.3% ที่อุณหภูมิ 1,000 °C แล้วเย็นตัวด้วยอัตราการเย็นตัว 1 °C/sec. ไปม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 400 °C/sec.



รูปที่ 4.5 โครงสร้างเฟอร์ไรท์-เพิร์ลไลท์-เบนไนท์ หลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,150 °C รีดหยาบ 42%ที่อุณหภูมิ 1,100 °C และรีดละเอียดด้วยปริมาณ 53.3% ที่อุณหภูมิ 1,000 °C แล้วเย็นตัวด้วยอัตราการเย็นตัว 3 °C/sec. ไปม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 400 °C/sec.

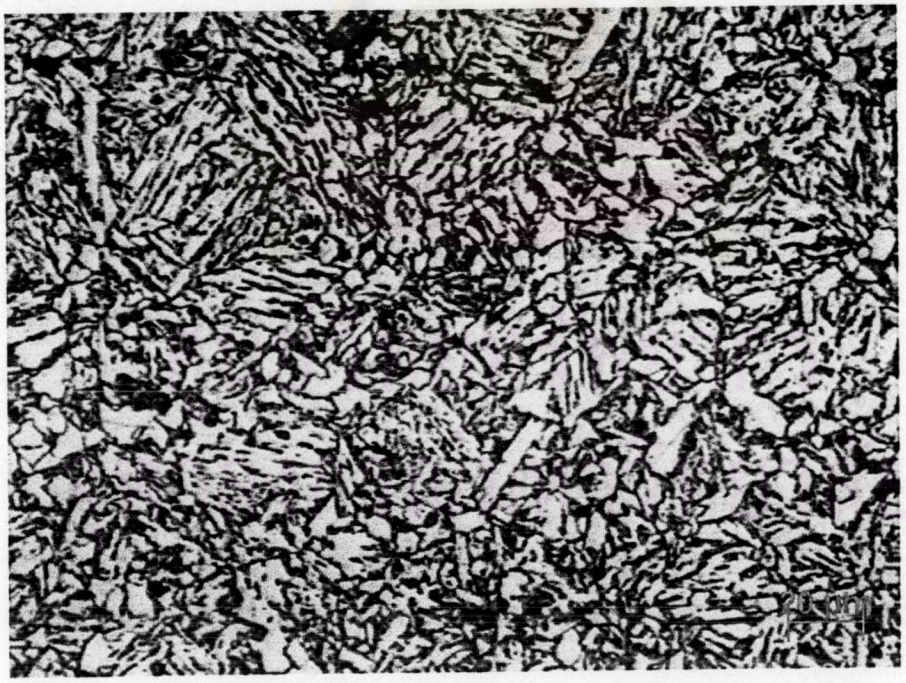


รูปที่ 4.6 โครงสร้างเบนไนท์ หลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,150 °C รีดหยาบ 42%ที่อุณหภูมิ 1,100 °C และรีดละเอียดด้วยปริมาณ 53.3% ที่อุณหภูมิ 1,000 °C แล้วเย็นตัวด้วยอัตราการเย็นตัว 5 °C/sec. ไปม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 400 °C/sec.

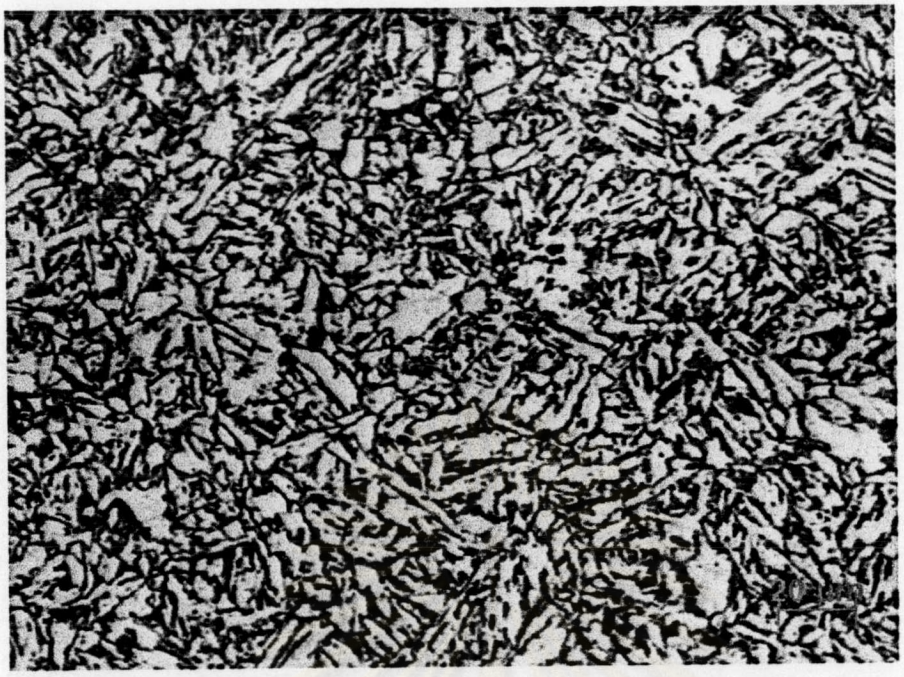
รูปที่ 4.7 โครงสร้างเบนไนท์ หลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,150 °C รีดหยาบ 42%ที่อุณหภูมิ 1,100 °C และรีดละเอียดด้วยปริมาณ 53.3% ที่อุณหภูมิ 1,000 °C แล้วเย็นตัวด้วยอัตราการเย็นตัว 9 °C/sec. ไปม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 400 °C/sec.

รูปที่ 4.8 โครงสร้างมาร์เทนไซท์ หลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,150 °C รีดหยาบ 42%ที่อุณหภูมิ 1,100 °C และรีดละเอียดด้วยปริมาณ 53.3% ที่อุณหภูมิ 1,000 °C แล้วเย็นตัวด้วยอัตราการเย็นตัว 20 °C/sec. ไปม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 400 °C/sec.

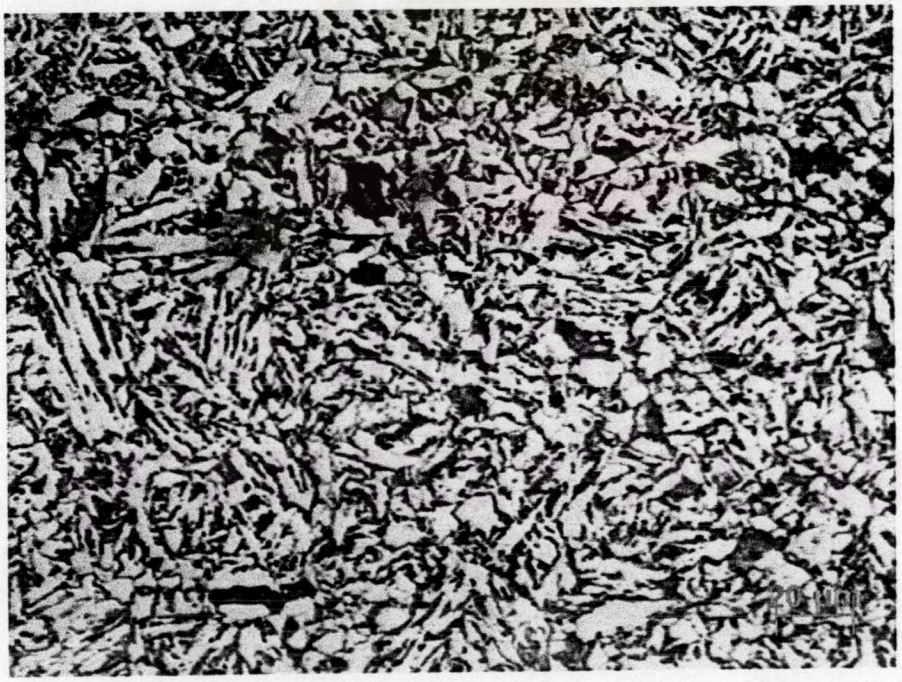
รูปที่ 4.9 โครงสร้างเฟอร์ไรท์-เพิร์ลไลท์ หลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,150 °C รีดหยาบ 42%ที่อุณหภูมิ 1,100 °C และรีดละเอียดด้วยปริมาณ 53.3% ที่อุณหภูมิ 1,000 °C แล้วเย็นตัวด้วยอัตราการเย็นตัว 1 °C/sec. ไปม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 500 °C/sec.



รูปที่ 4.10 โครงสร้างเฟอร์ไรท์-เพิร์ลไลท์-เบนไนท์ หลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,150 °C รีดหยาบ 42%ที่อุณหภูมิ 1,100 °C และรีดละเอียดด้วยปริมาณ 53.3% ที่อุณหภูมิ 1,000 °C แล้วเย็นตัวด้วยอัตราการเย็นตัว 3 °C/sec. ไปม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 500 °C/sec.

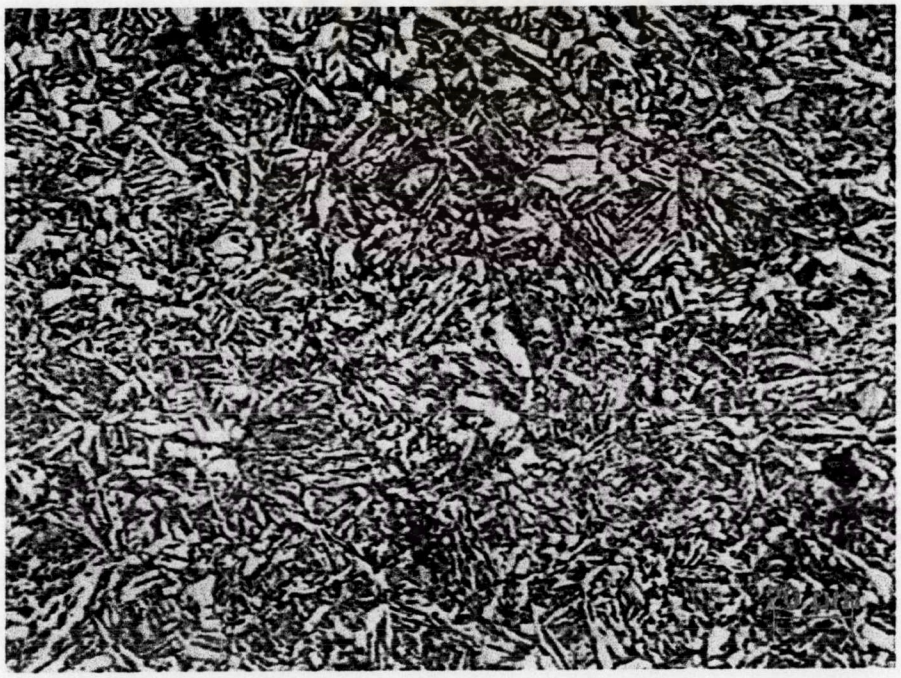


รูปที่ 4.11 โครงสร้างเบนไนท์ หลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,150 °C รีดหยาบ 42%ที่อุณหภูมิ 1,100 °C และรีดละเอียดด้วยปริมาณ 53.3% ที่อุณหภูมิ 1,000 °C แล้วเย็นตัวด้วยอัตราการเย็นตัว 5 °C/sec. ไปม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 500 °C/sec.

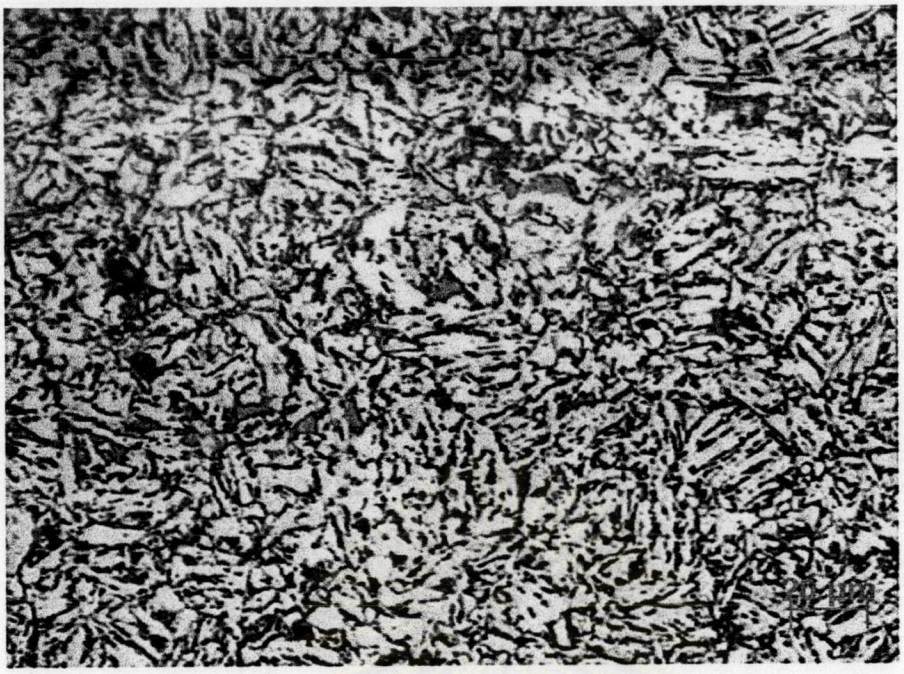


รูปที่ 4.12 โครงสร้างเบนไนท์ หลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,150 °C รีดหยาบ 42%ที่อุณหภูมิ 1,100 °C และรีดละเอียดด้วยปริมาณ 53.3% ที่อุณหภูมิ 1,000 °C แล้วเย็นตัวด้วยอัตราการเย็นตัว 9 °C/sec. ไปม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 500 °C/sec.

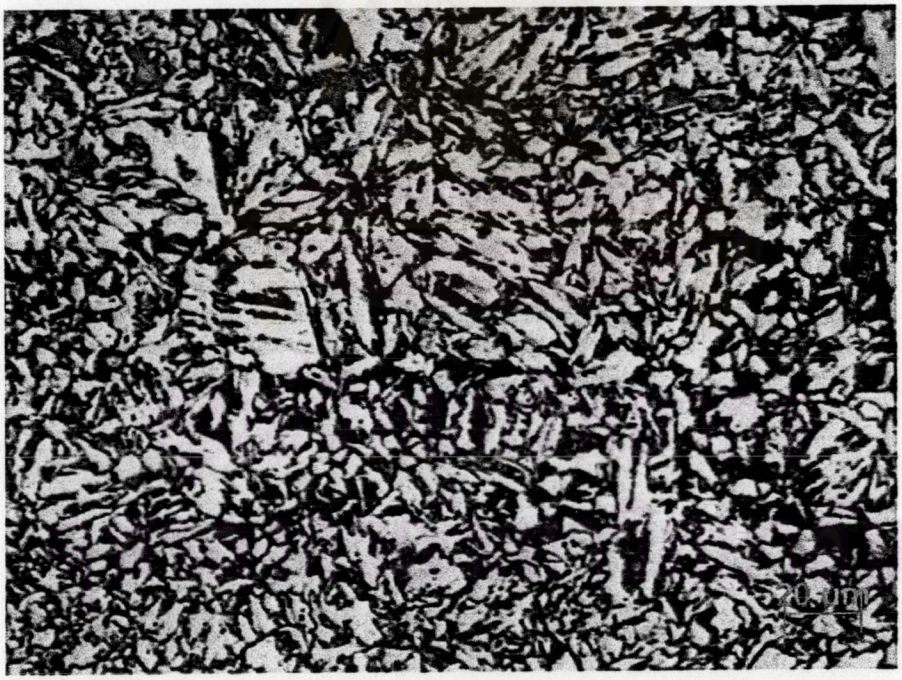
รูปที่ 4.13 โครงสร้างเฟอร์ไรท์-เพิร์ลไลท์ หลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,150 °C รีดหยาบ 42%ที่อุณหภูมิ 1,100 °C และรีดละเอียดด้วยปริมาณ 53.3% ที่อุณหภูมิ 1,000 °C แล้วเย็นตัวด้วยอัตราการเย็นตัว 1 °C/sec. ไปม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 600 °C/sec.



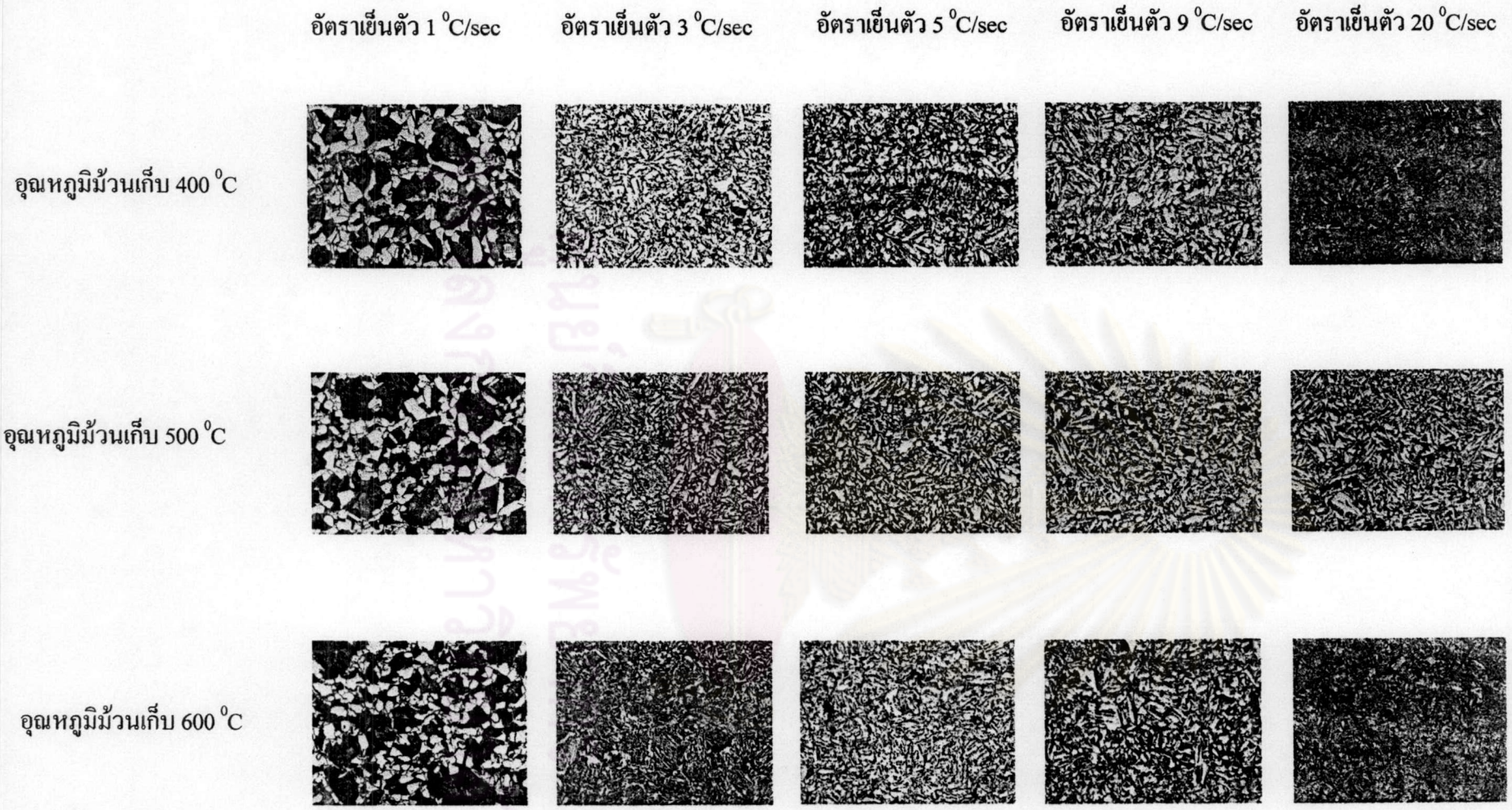
รูปที่ 4.14 โครงสร้างเฟอร์ไรท์-เพิร์ลไลท์-เบนไนท์ หลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,150 °C รีดหยาบ 42%ที่อุณหภูมิ 1,100 °C และรีดละเอียดด้วยปริมาณ 53.3% ที่อุณหภูมิ 1,000 °C แล้วเย็นตัวด้วยอัตราการเย็นตัว 3 °C/sec. ไปม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 600 °C/sec.



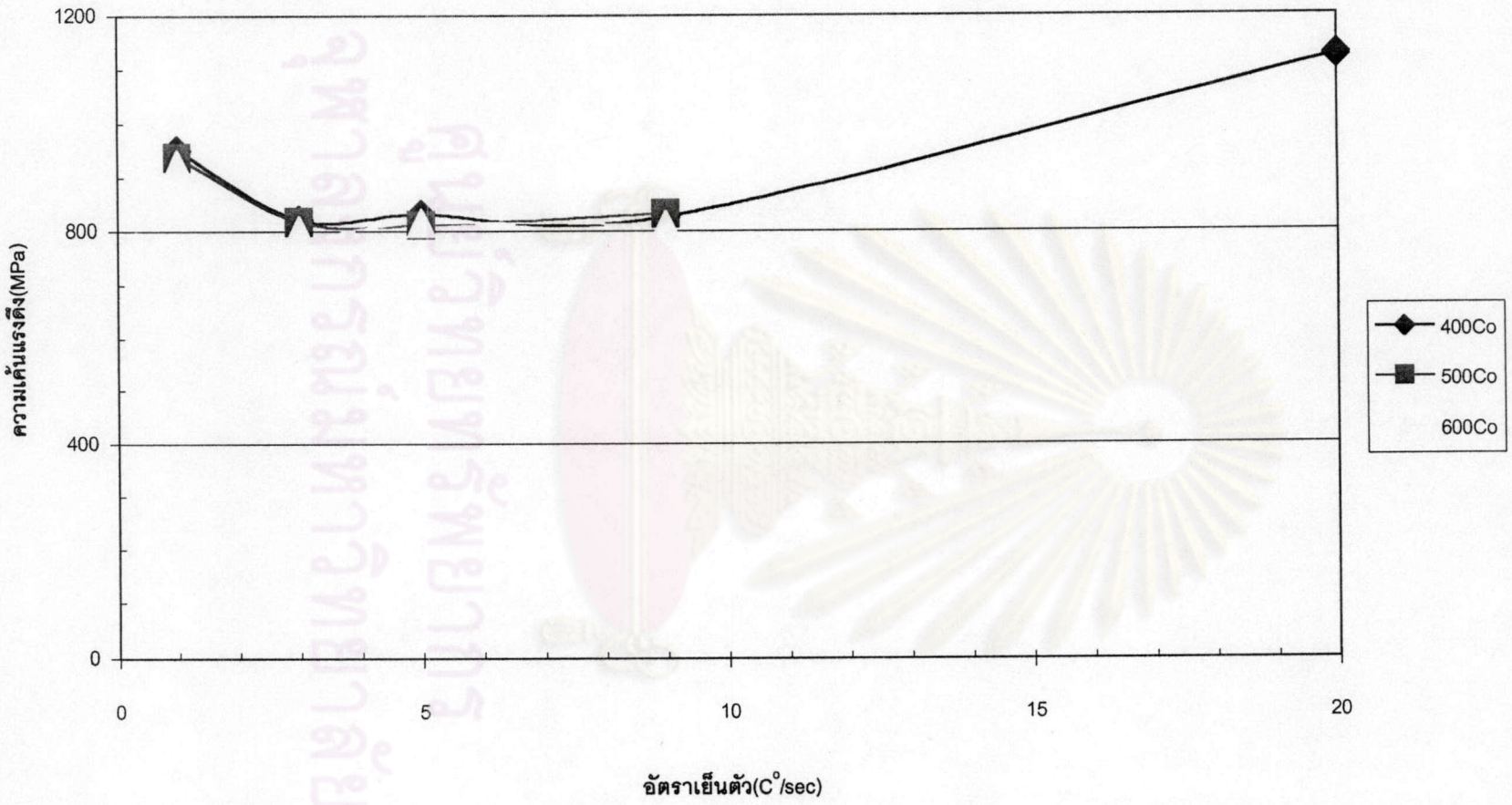
รูปที่ 4.15 โครงสร้างเบนไนท์ หลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,150 °C รีดหยาบ 42%ที่อุณหภูมิ 1,100 °C และรีดละเอียดด้วยปริมาณ 53.3% ที่อุณหภูมิ 1,000 °C แล้วเย็นตัวด้วยอัตราการเย็นตัว 5 °C/sec. ไปม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 600 °C/sec.



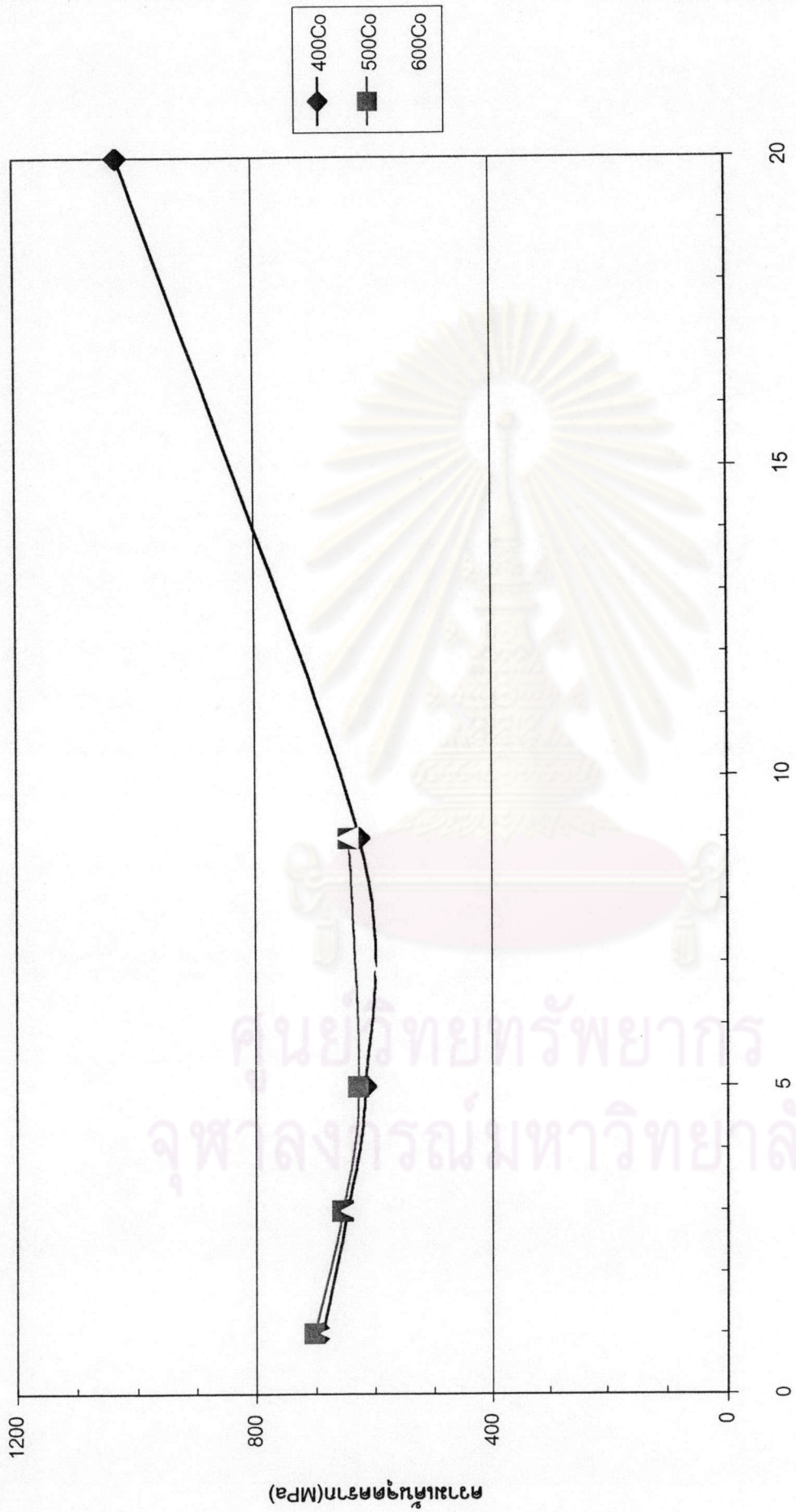
รูปที่ 4.16 โครงสร้างเบนไนท์ หลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,150 °C รีดหยาบ 42%ที่อุณหภูมิ 1,100 °C และรีดละเอียดด้วยปริมาณ 53.3% ที่อุณหภูมิ 1,000 °C แล้วเย็นตัวด้วยอัตราการเย็นตัว 9 °C/sec. ไปม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 600 °C/sec.



รูปที่ 4.17 โครงสร้างจุลภาคที่ได้จากการใช้อัตราเย็นตัว และอุณหภูมิม้วนเก็บต่างๆ



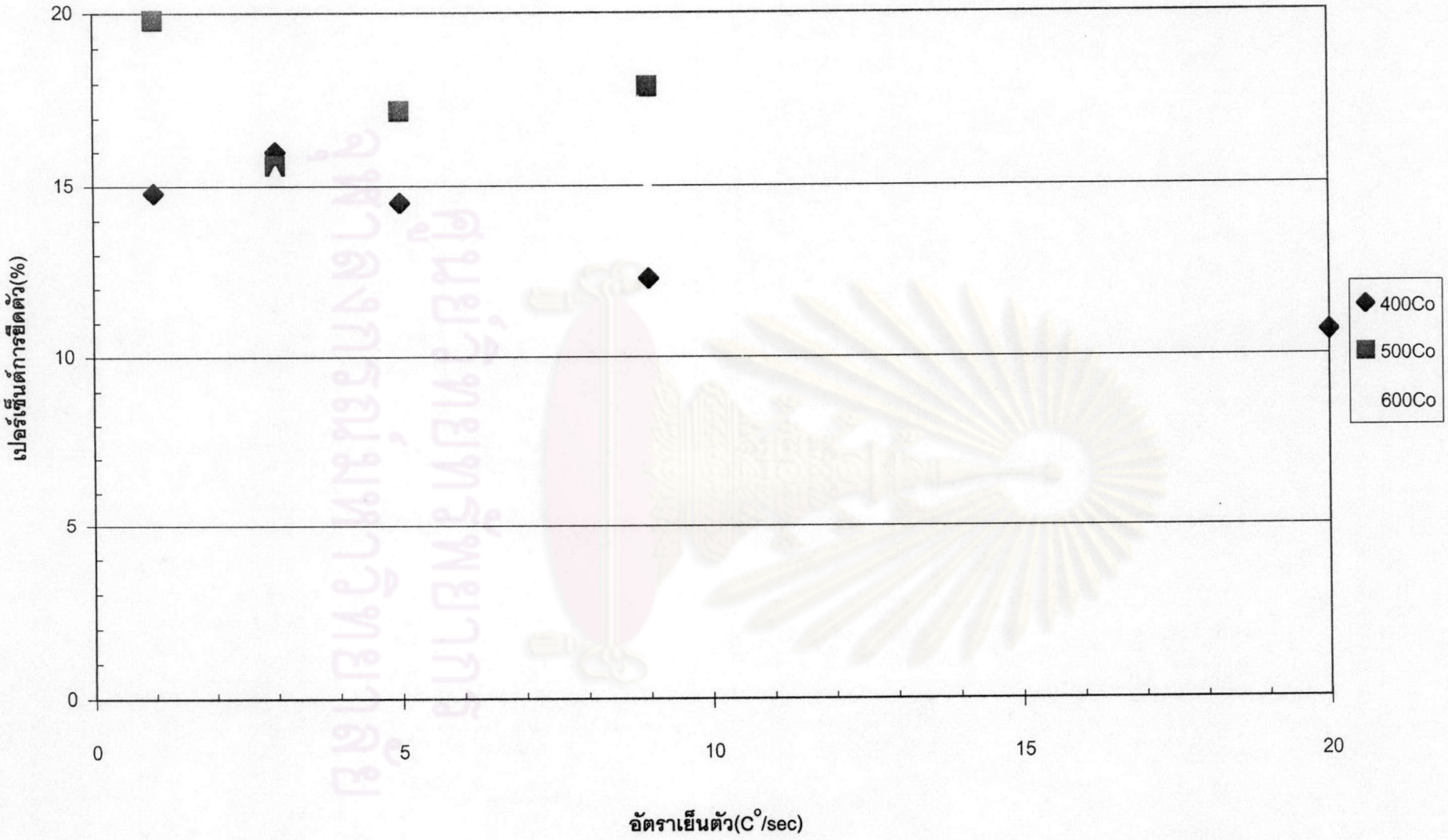
รูปที่4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเย็นตัวกับความเค้นแรงดึงของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงธาตุผสมต่ำที่มีธาตุผสมปริมาณน้อยมากของวาเนเดียม ที่อุณหภูมิม้วนเก็บต่าง ๆ



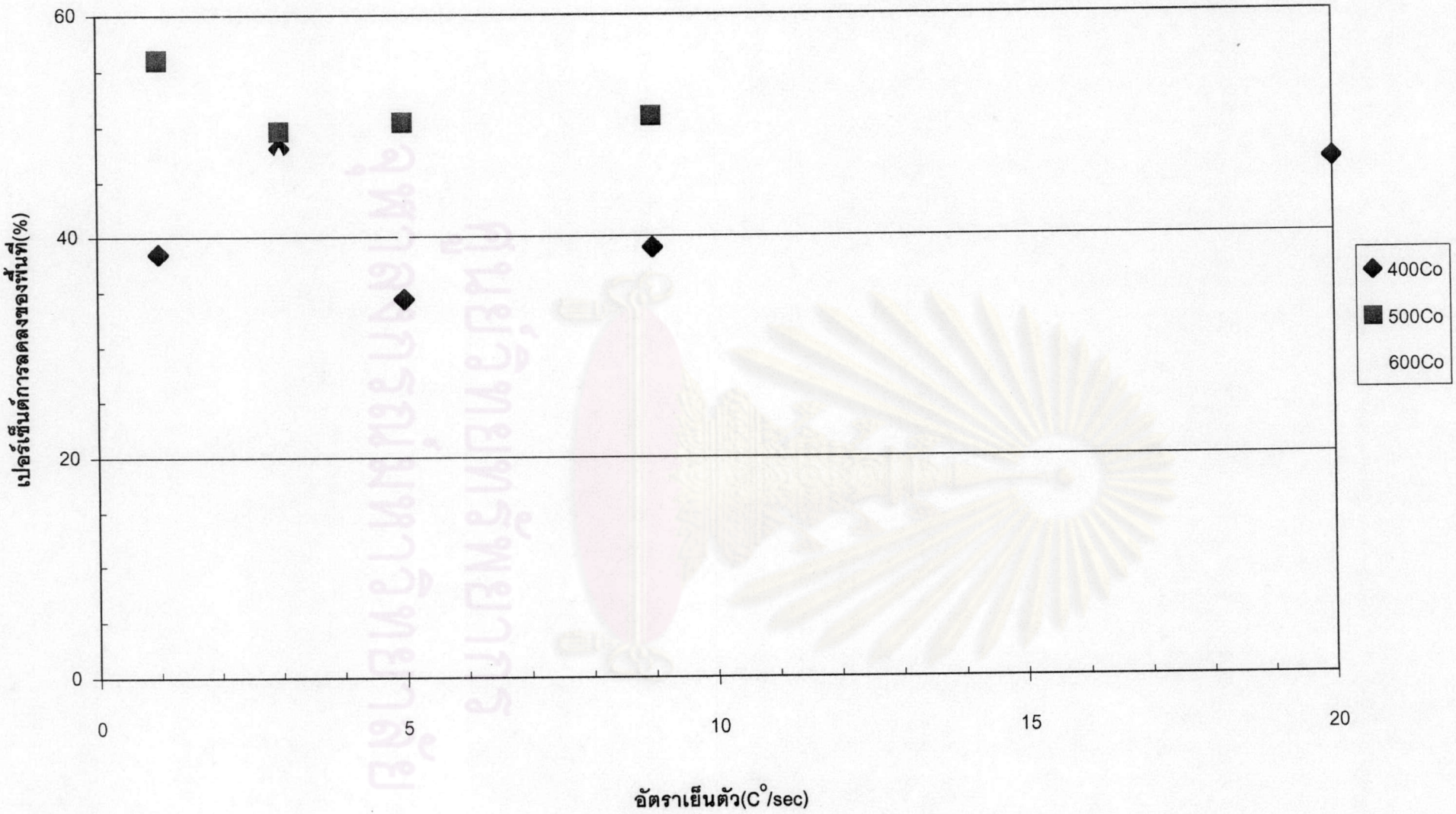
รูปที่4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเย็นตัวกับความแข็งจุดครากที่อุณหภูมิม้วนเก็บต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

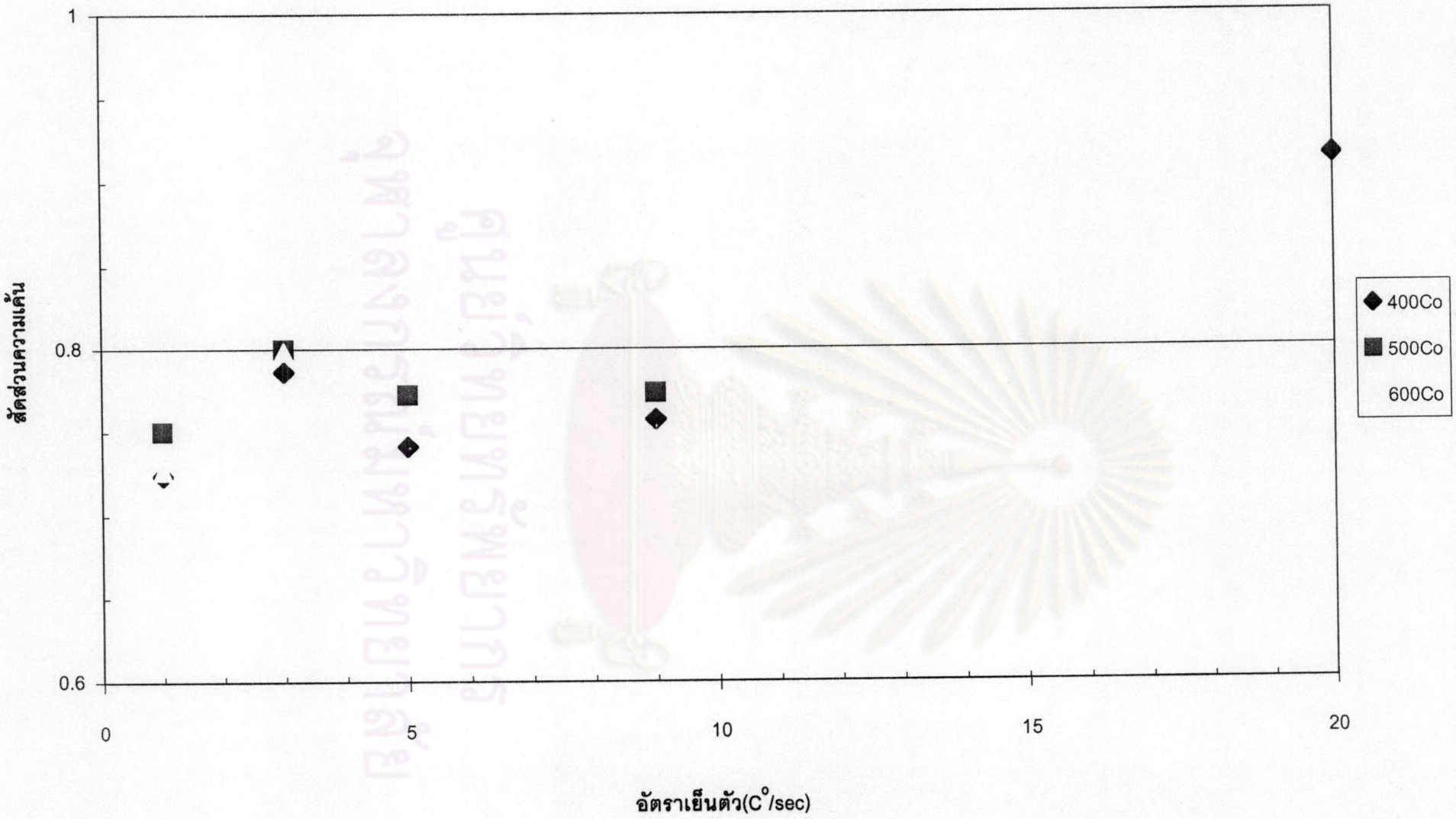
I21236197



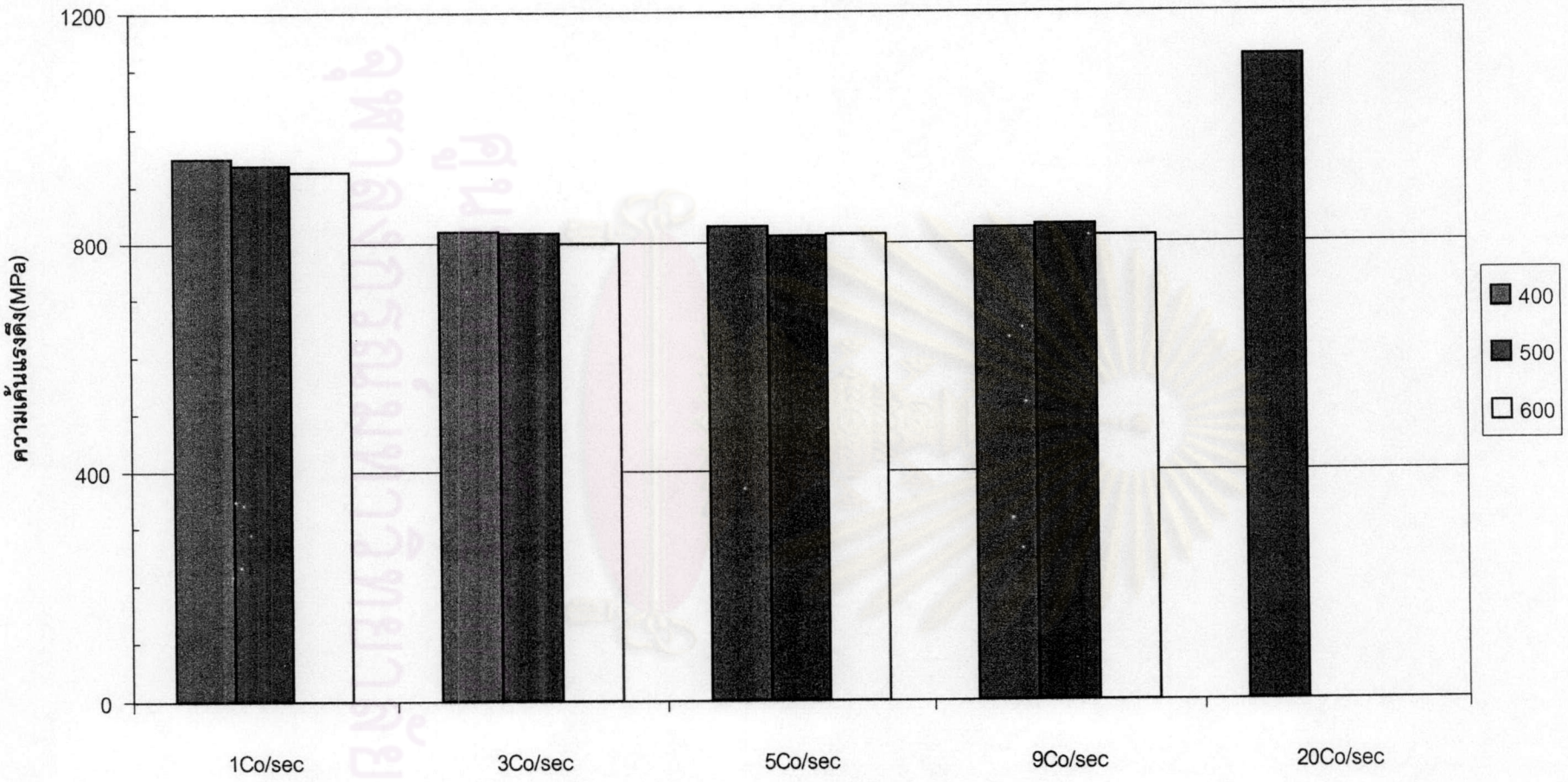
รูปที่4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเย็นตัวกับเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ที่อุณหภูมิม้วนเก็บต่าง ๆ



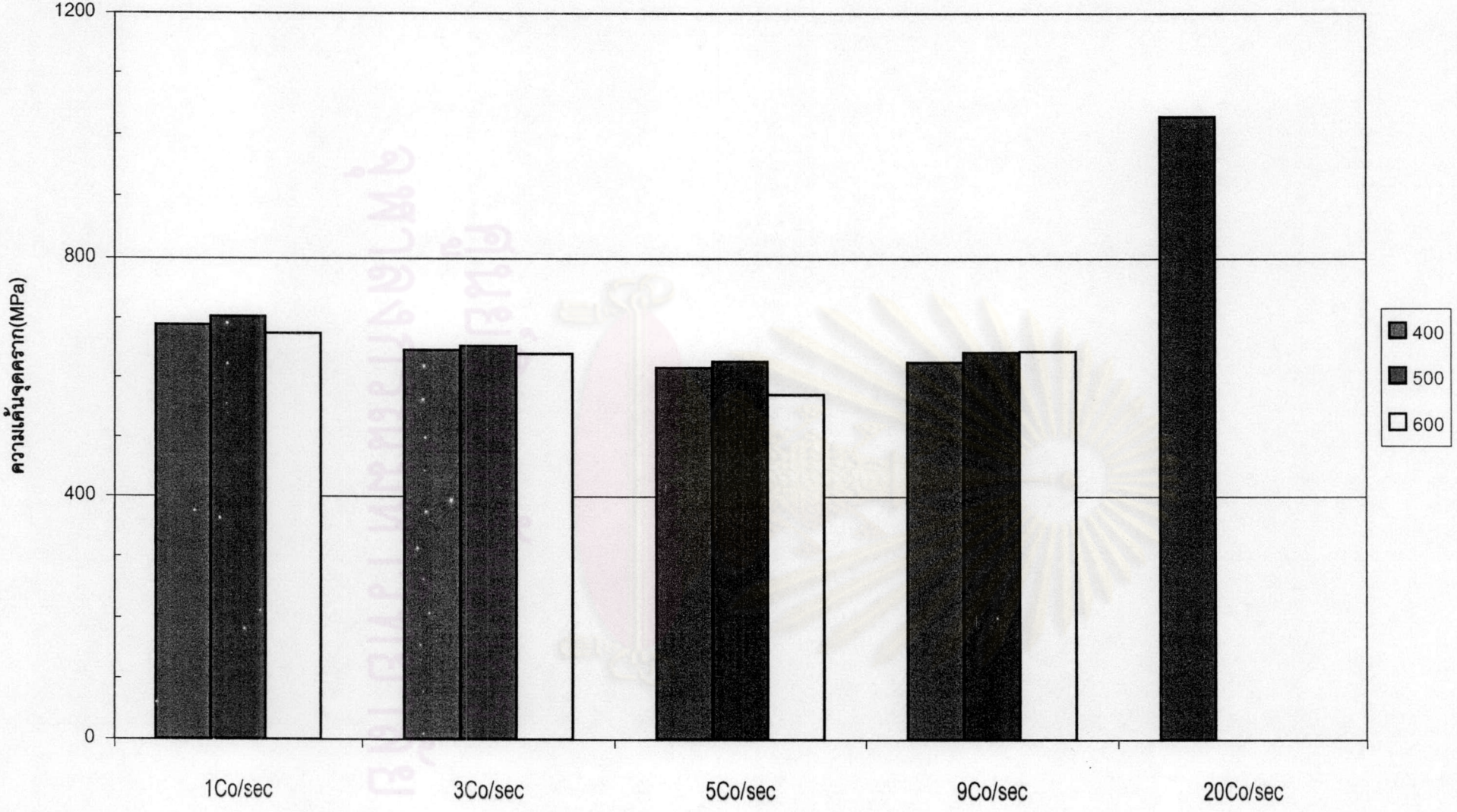
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเย็นตัวกับเปอร์เซ็นต์การลดพื้นที่ ที่อุณหภูมิม้วนเก็บต่างๆ



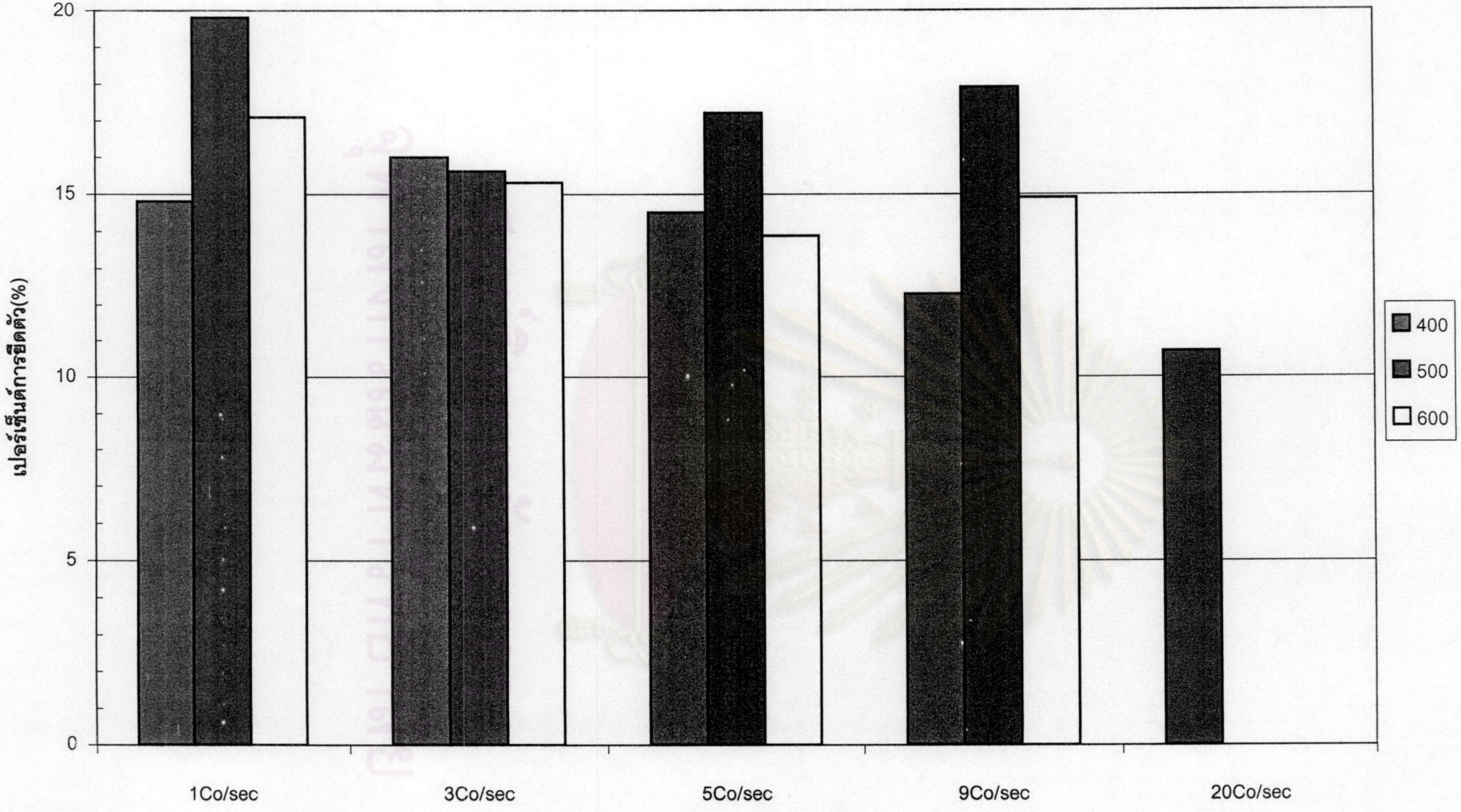
รูปที่4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเย็นตัวกับสัดส่วนความเค้น ที่อุณหภูมิม้วนเก็บต่างๆ



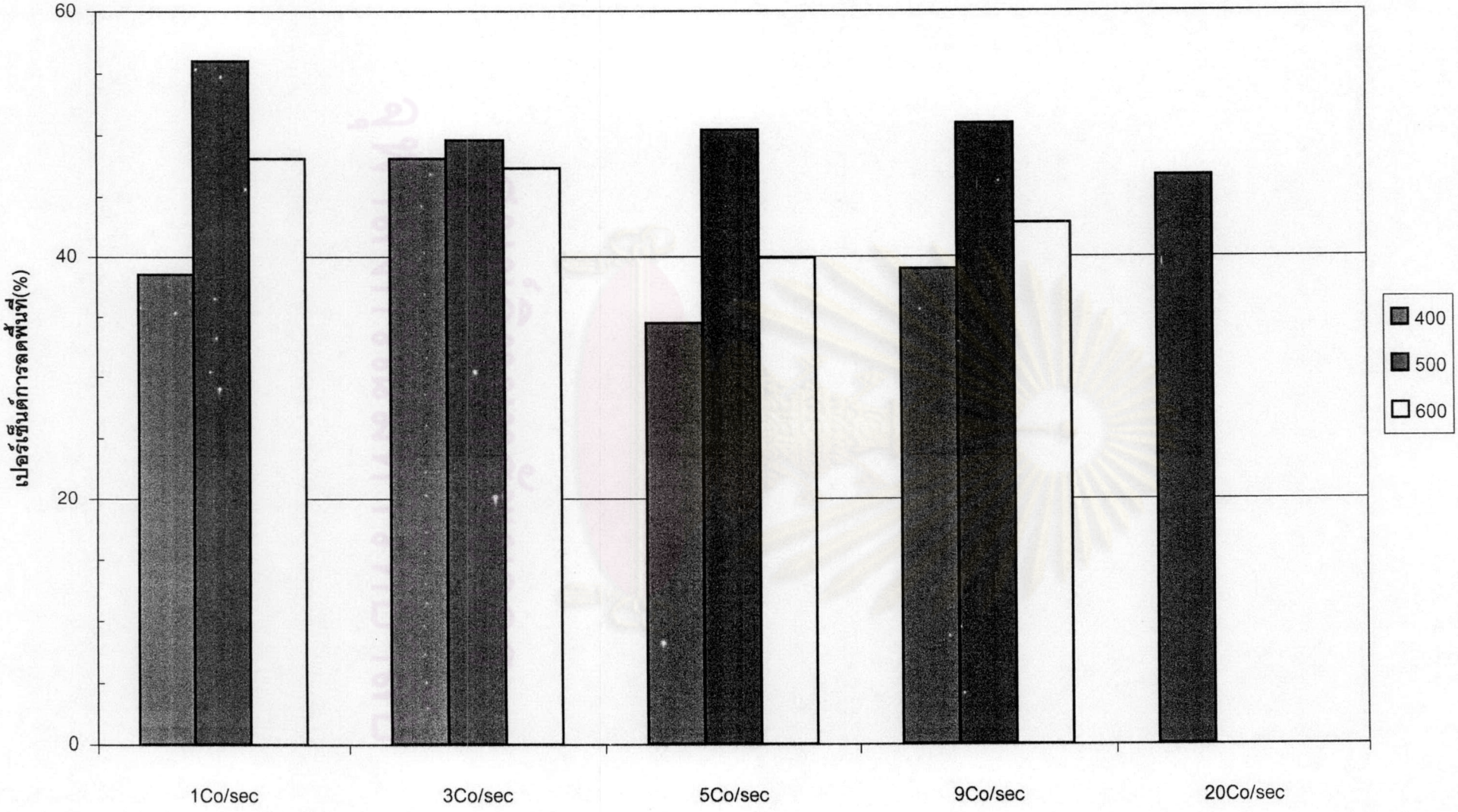
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิม้วนเก็บกับความเค้นแรงดึง ที่อัตราเย็นตัวต่างๆ



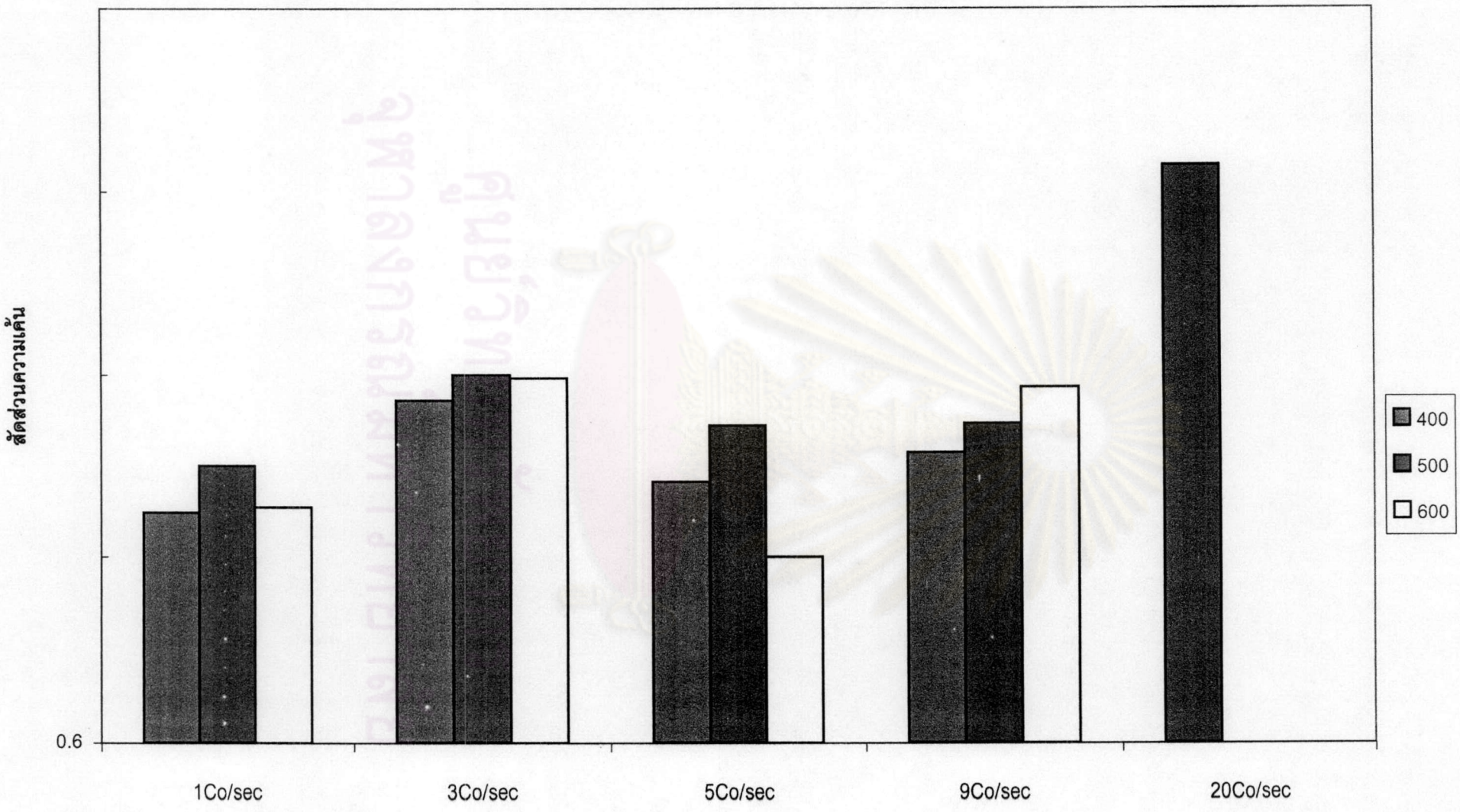
รูปที่4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิม้วนเก็บกับความเค้นจุดคราก ที่อัตราเย็นตัวต่างๆ



รูปที่4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิม้วนเก็บกับเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ที่อัตราเย็นตัวต่างๆ



รูปที่4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิม้วนเก็บกับเปอร์เซ็นต์การลดพื้นที่ ที่อัตราเย็นตัวต่าง ๆ



รูปที่4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิม้วนเก็บกับสัดส่วนความเค้น ที่อัตราเย็นตัวต่างๆ

4.3ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเย็นตัวและสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงธาตุผสมต่ำที่ผสมธาตุปริมาณน้อยมากของธาตุวาเนเดียม

จากการนำชิ้นงานหลังผ่านการเย็นตัวในช่วงอัตราเย็นตัว 1-20 °C /sec มาทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ได้ผลดังนี้

เมื่ออัตราเย็นตัวเพิ่มจาก 1 °C /sec เป็น 3 °C /sec ความเค้นแรงดึงจะมีค่าลดลงประมาณ 100 MPa และมีค่าค่อนข้างคงที่ประมาณ 800 MPa ในช่วงอัตราเย็นตัว 3 °C /sec ถึง 9 °C /sec และจะมีค่าสูงขึ้นจนเกิน 1000 MPa เมื่อใช้อัตราเย็นตัว 20 °C /sec

จากข้อมูลค่าความเค้นจุดครากพบว่าข้อมูลมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับความเค้นแรงดึง คือเมื่ออัตราเย็นตัวเพิ่มจาก 1 °C /sec เป็น 3 °C /sec ความเค้นจุดครากจะมีค่าลดลง และมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงอัตราเย็นตัว 3 °C /sec ถึง 9 °C /sec และจะมีค่าสูงขึ้นมากเมื่อใช้อัตราเย็นตัว 20 °C /sec

สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวพบว่าจะมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มอัตราเย็นตัวจาก 1 °C /sec เป็น 3 °C /sec และจะมีค่าค่อนข้างคงที่ไม่ขึ้นกับอัตราเย็นตัวในช่วง 3 °C /sec ถึง 9 °C /sec และจะมีค่าต่ำลงจนต่ำกว่า 10% เมื่อใช้อัตราเย็นตัว 20 °C /sec

เป็นที่น่าสังเกตว่าค่าสัดส่วนความเค้นมีค่าสูงขึ้นตามอัตราเย็นตัวที่เพิ่มขึ้น จนมีค่าสูงประมาณ 0.85 เมื่อใช้อัตราเย็นตัว 20 °C /sec

4.4ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิม้วนเก็บและสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงธาตุผสมต่ำที่ผสมธาตุปริมาณน้อยมากของธาตุวาเนเดียม

จากการนำชิ้นงานหลังผ่านการม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 400 °C , 500 °C และ 600°C มาทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ได้ผลดังนี้

ในขณะที่ความเค้นแรงดึงมีค่าค่อนข้างคงที่ กล่าวคือไม่ว่าจะใช้อุณหภูมิม้วนเก็บ400 °C , 500 °C หรือ 600°C ก็จะได้ความเค้นแรงดึงมีค่าอยู่ในระดับเดียวกัน แต่สำหรับความเค้นแรงดึง

พบว่าที่อัตราการเย็นตัว 1 °C /sec ค่าความเค้นจุดครากที่ได้จากการใช้อุณหภูมิม้วนเก็บ 500 °C มีค่าสูงที่สุด แต่ก็มีค่าสูงกว่าค่าที่อุณหภูมิม้วนเก็บ 400 และ600°C เพียงเล็กน้อยจนอาจกล่าวได้ว่าความเค้นจุดครากก็มีค่าอยู่ในระดับเดียวกันในช่วงอุณหภูมิม้วนเก็บ 400 - 600°C และพบว่าค่าความเค้นจุดครากของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 600 °C จะมีค่าต่ำกว่าชิ้นงานที่ใช้อุณหภูมิม้วนเก็บ 500 °C เล็กน้อย

ในช่วงอัตราการเย็นตัวในช่วง 3 - 9 °C /sec พบว่าอัตราเย็นตัวไม่มีผลต่อความเค้นจุดคราก กล่าวคือ ความเค้นจุดครากจะมีค่าค่อนข้างคงที่ในทุกอัตราเย็นตัว แต่จะมีค่าความเค้นจุดครากสูงขึ้นมากเมื่อใช้อัตราเย็นตัว 20 °C /sec

จากข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 400 °C , 500 °C และ 600°C ในตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลจะมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิม้วนเก็บ 500 °C โดยมีค่าสูงกว่าการใช้อุณหภูมิม้วนเก็บ 600 °C เล็กน้อย

เปอร์เซ็นต์การลดพื้นที่และสัดส่วนความเค้นมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิม้วนเก็บ 500 °C และพบว่าที่อุณหภูมิม้วนเก็บ 600 °C จะมีเปอร์เซ็นต์การลดพื้นที่และสัดส่วนความเค้น สูงกว่าการม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 400 °C เล็กน้อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย