

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของโลหะผสมอะลูมิเนียม 6063 ภายหลังการบ่มแข็งและการรีดเย็น โดยแบ่งการดำเนินงานวิจัยเป็น 3 ช่วง ในช่วงแรกเป็นการสร้างเครื่องมือเพื่อใช้วัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค ในช่วงที่ 2 เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค ค่าความแข็ง และค่าความแข็งแรงทางดึงภายหลังการบ่มแข็ง ในช่วงที่ 3 เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คภายหลังการรีดเย็น ซึ่งรายละเอียดในการเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง วิธีดำเนินการ ตลอดจนการวิเคราะห์และทดสอบ มีดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 ชิ้นงานทดสอบ

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองคือโลหะผสมอะลูมิเนียมเกรด 6063 ที่ผ่านการรีด (extrusion) มาแล้วโดยได้ทำการจัดซื้อจากร้านค้าโดยทั่วไป

3.1.2 อุปกรณ์สำหรับตัดชิ้นงาน

การตัดชิ้นงานขนาดใหญ่ ใช้เครื่อง Buehler Abrasive Cutter Oscillamet การตัดชิ้นงานขนาดเล็กใช้เครื่อง Buehler Isomet Low Speed Saw

3.1.3 อุปกรณ์สำหรับวัดความแข็ง

การวัดความแข็งวิกเกอร์ใช้เครื่อง Shimadzu รุ่น HMV-200 การวัดความแข็งร็อกเวลล์สเกล H ใช้เครื่อง GALILEO DUROMETRIA

3.1.4 อุปกรณ์วัดความแข็งแรงแรงดึง

การวัดความแข็งแรงแรงดึงใช้เครื่อง Shimadzu รุ่น Autograph แรงดึงสูงสุด 25 ตัน ความเร็วในการดึงตัวอย่าง 20 มิลลิเมตรต่อนาที

3.1.5 เครื่องรีดเย็น

เครื่องรีดเย็น (รูปที่ 3.1) มีขนาดความกว้างของลูกรีด 203 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร รีดได้กว้างตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร จนถึง 155 มิลลิเมตร ขนาดมอเตอร์ 30 แรงม้า ความเร็วรอบ 24 รอบต่อนาที



รูปที่ 3.1 เครื่องรีดเย็น

3.1.6 เตาอบชิ้นงาน

เตาอบชิ้นงานอุณหภูมิสูงของบริษัท NABERTHERM ให้อุณหภูมิสูงสุด 1,500 องศาเซลเซียส และควบคุมอุณหภูมิด้วยอุปกรณ์ดิจิทัล

3.1.7 ชุดอุปกรณ์วัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (Seebeck Coefficient Equipment)

ค่าสัมประสิทธิ์สามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความแตกต่างของความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิของชิ้นงานสองตำแหน่ง โดยค่าความต่างศักย์ในระบบวัดจากเครื่อง Nanovoltmeter รุ่น 2182 ของบริษัท Keithley (รูปที่ 3.2) โดยมีความละเอียดเท่ากับ 1 นาโนโวลต์และการวัดอุณหภูมิจะใช้สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K ต่อกับ DAQ รุ่น NI 9211 (รูปที่ 3.3) โดยมีความถูกต้องเท่ากับ ± 0.025 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.2 Nanovoltmeter ของ Keithley รุ่น 2182A



รูปที่ 3.3 DAQ NI9211 เชื่อมต่อกับ Hi-Speed USB Carrier รุ่น NI-USB 9162

3.1.8 เครื่อง Differential Scanning Calorimeter

เครื่อง Differential Scanning Calorimeter บริษัท Perkin-Elmer รุ่น DSC 7 เพื่อศึกษาเฟสที่เกิดขึ้นในอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ที่ได้รับความร้อนหลังจากการบ่มแข็ง

3.1.9 เครื่อง X-ray Diffractometer

เครื่อง X-ray diffractometer บริษัท Bruker รุ่น D8tool Advanced เพื่อศึกษาเฟสที่เกิดขึ้นในอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 หลังจากการบ่มแข็ง

3.1.10 เครื่อง Transmission Electron Microscope

เครื่อง Transmission electron microscope บริษัท Philips รุ่น Tecnai12 แรงดันไฟฟ้าขับเคลื่อนอิเล็กตรอนสูงสุด 120 kV เพื่อศึกษาเฟส precipitation ที่ตกผลึกในอะลูมิเนียม 6063

3.1.11 เครื่อง Sigmatest 2.069

เครื่อง Sigmatest 2.069 เพื่อวัดความสามารถในการนำไฟฟ้าของอะลูมิเนียม 6063

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยแบ่งขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานและการทดลองดังนี้

- การสร้างอุปกรณ์วัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค
- การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของชิ้นงาน

- การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คที่เกิดจากการบ่มแข็งและรีดเย็น โดยใช้เครื่องวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คในแนวดิ่ง
- การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คที่เกิดจากการบ่มแข็งและรีดเย็น โดยใช้เครื่องวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คในแนวนอน
- การศึกษาการเปลี่ยนเฟสของอะลูมิเนียมผสมเกรด6063 ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)
- การศึกษาการเปลี่ยนเฟสของอะลูมิเนียมผสมเกรด6063 ด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD)

3.2.1 การสร้างอุปกรณ์วัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค

อุปกรณ์วัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คซึ่งถูกสร้างเพื่อใช้งานในห้องปฏิบัติการแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

3.2.1.1 อุปกรณ์สำหรับวัดตัวอย่างในแนวดิ่ง

อุปกรณ์สำหรับวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คในแนวดิ่งแสดงในรูปที่ 3.4 โดยด้านร้อนเป็นหัววัดแบบเข็มที่ทำจากทองแดง และด้านเย็นเป็นแท่นโลหะทองแดงเช่นเดียวกัน โครงและฝาปิดของอุปกรณ์ชุดนี้ทำจากอะลูมิเนียมเพื่อลดสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ หัววัดด้านร้อนสามารถยกขึ้นลงได้ขณะทำการวัดตัวอย่าง ที่ปลายหัววัดจะต่อกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เพื่อวัดอุณหภูมิด้านร้อน และลวดทองแดงอาบน้ำยาซึ่งต่อเข้ากับ Nanovoltmeter วัสดุที่ใช้ทำการบัดกรีทำจากโลหะผสมที่มีองค์ประกอบทางเคมี Ag 5.2% Sn 94.2% และ Cu/Au > 0.5% โดยน้ำหนัก ก้อนทองแดงด้านเย็นต่อกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เพื่อวัดอุณหภูมิด้านเย็น และลวดทองแดงอาบน้ำยาซึ่งต่อเข้ากับ Nanovoltmeter การให้ความร้อนกับหัวเข็มด้านร้อนกระทำโดยจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงให้กับขดลวดที่พันรอบหัวเข็ม

การวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็ควิธีนี้มีข้อดีคือสามารถทำการวัดได้รวดเร็วเนื่องจากหัวเข็มมีขนาดเล็กจึงทำให้เกิดความร้อนได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถวัดตัวอย่างที่มีความยาวเกิน 3 เซนติเมตรและมีโอกาสที่การวัดจะเกิดความผิดพลาดถ้าความร้อนจากตัวอย่างผ่านเข้าไปแท่นทองแดงด้านเย็น เช่นการวัดโลหะที่ขนาดเล็กเนื่องจากเทอร์โมคัปเปิลและลวดทองแดงเชื่อมอยู่ที่กลางแท่นทองแดง จึงทำให้อุปกรณ์รุ่นนี้เหมาะสำหรับการวัดตัวอย่างที่มีการนำความร้อนไม่ดึ้นกเช่นสารกึ่งตัวนำ ในงานวิจัยนี้มีการใช้วิธีนี้วัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของตัวอย่างในช่วงแรก ก่อนที่จะเปลี่ยนไปใช้อีกวิธีหนึ่งในช่วงเวลาถัดมา เนื่องจากปัญหาด้านการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์สำหรับวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คในแนวตั้ง

3.2.1.2 อุปกรณ์สำหรับวัดตัวอย่างในแนวนอน

ความแตกต่างของการวัดในแนวนอนและแนวตั้งอยู่ที่ขั้วด้านร้อนและด้านเย็น อุปกรณ์ชุดนี้มีขั้วด้านร้อนและด้านเย็นเป็นลักษณะคล้ายเสาที่ทำจากทองแดง ดังแสดงในรูปที่ 3.5 เทอร์โมคัปเปิลและหลอดทองแดงของด้านร้อนและด้านเย็นต่ออยู่กับชิ้นงานตัวอย่าง จึงทำให้ความผิดพลาดจากการแพร่ความร้อนทางด้านร้อนไปด้านเย็นลดน้อยลง อุปกรณ์รุ่นนี้สามารถรับตัวอย่างที่มีความยาว 15 เซนติเมตร ตัวอย่างจะวางในแนวนอน ในงานวิจัยนี้จะใช้อุปกรณ์รุ่นนี้ในการทำการทดลองเป็นหลัก



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์สำหรับวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คในแนวนอน

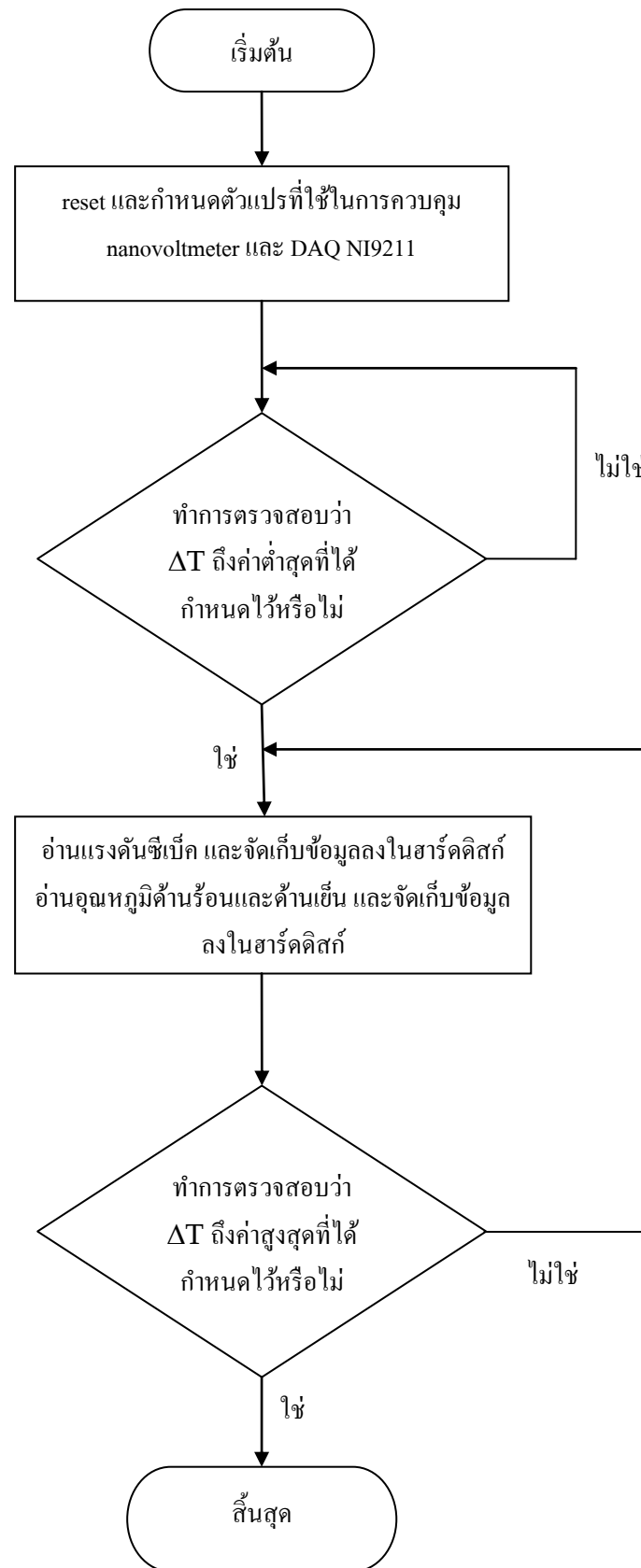
3.2.1.3 การอ่านแรงดันซีเบ็ค และอุณหภูมิ และการจัดเก็บข้อมูล

Nanovoltmeter ที่ใช้ในการอ่านแรงดันซีเบ็คจะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยผ่าน GPIB (General Purpose Interface Bus) card ของ ICS ส่วน DAQ NI9211 เชื่อมต่อกับ Hi-Speed USB Carrier รุ่น NI-USB 9162 ก่อนที่จะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ที่ USB port

ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลคือ LABVIEW VERSION 7.1 ลำดับของคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์แสดงไว้ในรูปที่ 3.6

3.2.1.4 วิธีการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค

ก่อนจะเริ่มทำการวัดจะต้องวางตัวอย่างให้เรียบร้อยที่ขั้วด้านร้อนและด้านเย็น ตัวอย่างควรมีขนาดเท่ากันตลอดการทดลองเช่นเดียวกับระยะห่างระหว่างขั้วร้อนและขั้วเย็นควรมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง หลังจากนั้นจึงเริ่มสั่งให้โปรแกรมทำงานและเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดด้านร้อน เมื่ออุณหภูมิ ΔT ถึงค่าสูงสุดที่ได้ตั้งไว้จึงหยุดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขั้วร้อน เปิดฝาเครื่อง และใช้พัดลมระบายความร้อนที่ขั้วร้อนและขั้วเย็นจนอุณหภูมิลดลงมาถึงอุณหภูมิห้อง (โดยทั่วไปปรับเครื่องปรับอากาศไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส)



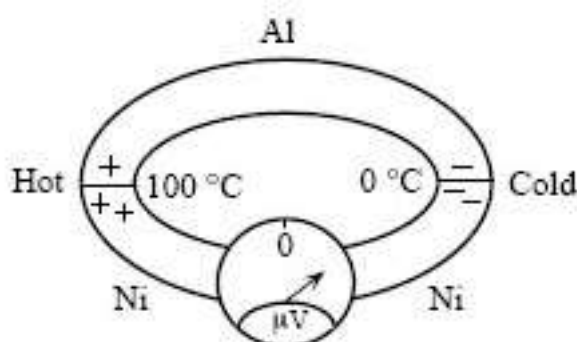
รูปที่ 3.6 แผนผังการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

3.2.1.5 ความแตกต่างของอุปกรณ์วัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คในงานวิจัยนี้และงานวิจัยอื่นๆ

อุปกรณ์วัดสัมประสิทธิ์ในงานวิจัยนี้จะอาศัยการเพิ่มอุณหภูมิที่หัวร้อนจนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่ต้องการ แล้วจึงนำข้อมูลที่อ่านได้ ณ เวลานั้นได้แก่ ความต่างศักย์และอุณหภูมิที่ด้านร้อนและด้านเย็นมาทำการคำนวณสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค ตัวแปรที่สำคัญในการจำกัดความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นในการวัด ได้แก่ อัตราการให้ความร้อนที่หัวร้อน ความเร็วในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ และระยะห่างระหว่างหัวร้อนและหัวเย็น ปัญหาสำหรับระบบนี้ประการหนึ่งคือการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของโลหะที่มีค่าการนำความร้อนต่างกันมากๆอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดได้ อุปกรณ์วัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คในงานวิจัยอื่น [7-10, 12-13] จะใช้อุปกรณ์เสริมในการควบคุมอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นให้มีค่าคงที่ตลอดเวลา เช่นชุดควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า PID ซึ่งจะทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าที่ตั้งไว้ และจะหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิเท่ากับหรือสูงกว่าอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ และใช้อุปกรณ์การหล่อเย็นช่วยระบายความร้อนที่แพร่จากด้านร้อนไปยังด้านเย็น หรือการออกแบบให้ด้านเย็นมีพื้นที่ผิวมากๆเพื่อที่จะสามารถระบายความร้อนได้อย่างรวดเร็วเป็นต้น ข้อดีของระบบนี้คือสามารถอ่านสัมประสิทธิ์ซีเบ็คได้โดยตรงจากความต่างศักย์ที่อ่านจากมิเตอร์ เนื่องจากทราบ ΔT ที่แน่นอนอยู่แล้ว ลดปัญหาการวัดตัวอย่างที่มีการนำความร้อนที่ต่างกันมากๆ สามารถทำการวัดตัวอย่างได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากไม่จำเป็นต้องระบายความร้อนที่ด้านร้อนก่อนการวัด

3.2.1.6 สัมประสิทธิ์ซีเบ็คสัมพัทธ์

สัมประสิทธิ์ซีเบ็คที่วัดได้จากเครื่องมือในงานวิจัยนี้ไม่ใช่ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คสมบูรณ์ แต่เป็นค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คสัมพัทธ์ ซึ่ง Kasap [3] ได้แสดงการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สัมพัทธ์ระหว่างอะลูมิเนียมและนิกเกิลไว้ดังรูปที่ 3.7 และสมการที่ 3.1

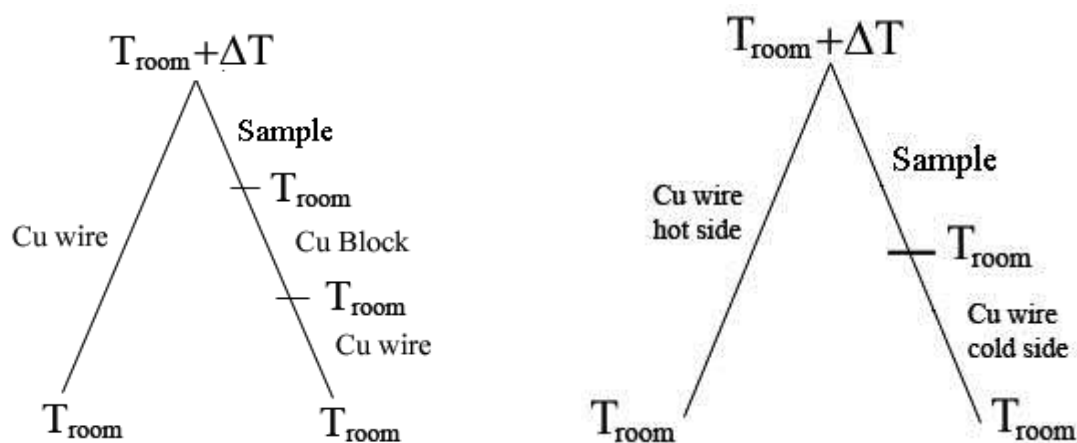


รูปที่ 3.7 แผนผังการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คสัมพัทธ์ระหว่างอะลูมิเนียมและนิกเกิล [6]

$$V_{AB} = \int_{T_0}^T (S_A - S_B) dT = \int_{T_0}^T S_{AB} dT \quad (3.1)$$

โดยที่	V_{AB}	=	ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คสัมพัทธ์ของ A เมื่อเทียบกับ B (μV)
	S_A	=	สัมประสิทธิ์ซีเบ็คของ A ($\mu V/K$)
	S_B	=	สัมประสิทธิ์ซีเบ็คของ B ($\mu V/K$)
	dT	=	ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็น (K)

เมื่อนำเทคนิคดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับเครื่องมือวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 3.8 และสมการ 3.2 ซึ่งแสดงสัมประสิทธิ์ซีเบ็คสัมพัทธ์ในอุปกรณ์วัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คในแนวนอน



รูปที่ 3.8 แผนผังการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คสัมพัทธ์ของอุปกรณ์วัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คในแนวตั้ง (ซ้าย) และในแนวนอน (ขวา)

$$V_{Al6063/CuwireHS} = (S_{Al6063} - S_{CuwireHS}) \Delta T \quad (3.2)$$

โดยที่	$V_{Al6063/CuwireHS}$	=	ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คสัมพัทธ์ของอะลูมิเนียมเมื่อเทียบกับลวดทองแดงด้านร้อน (μV)
	S_{Al6063}	=	สัมประสิทธิ์ซีเบ็คของอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ($\mu V/K$)
	$S_{CuwireHS}$	=	สัมประสิทธิ์ซีเบ็คของลวดทองแดงด้านร้อน ($\mu V/K$)
	ΔT	=	ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็น (K)

3.2.2 การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของชิ้นงาน

การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของชิ้นงานอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมเกรด 6063 จะทำโดยเครื่อง Optical Emission Spectrometer

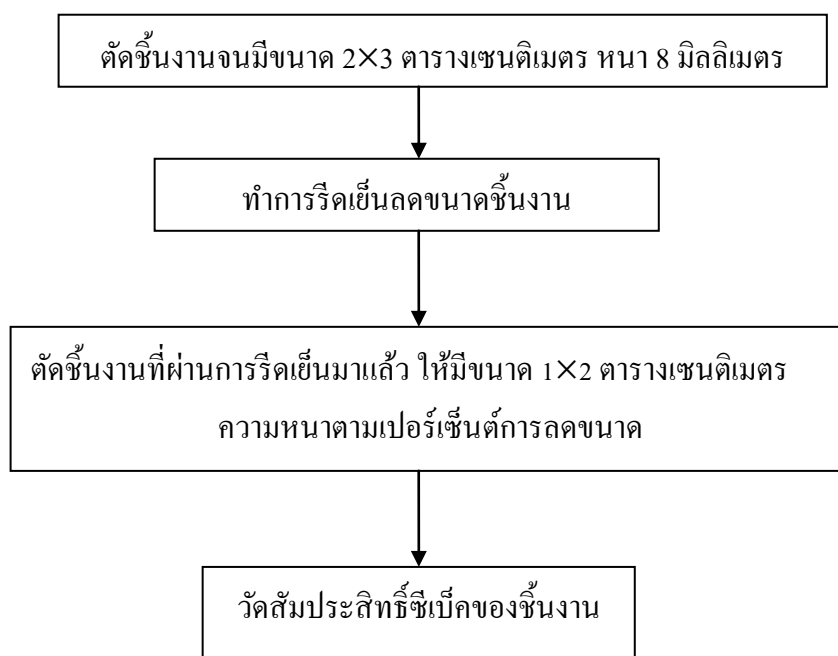
3.2.3 การวัดสัมประสิทธิ์ซีบีคโดยใช้อุปกรณ์วัดสัมประสิทธิ์ซีบีคในแนวดิ่ง

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ช่วงดังต่อไปนี้

3.2.3.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีบีคที่เกิดจากการรีดเย็นครั้งที่ 1

แผนผังการดำเนินการวิจัยแสดงไว้ในรูปที่ 3.9 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ตัดอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมเกรด 6063 ด้วยเครื่อง Buehler Abrasive Cutter Oscillamet จนมีขนาด 2×3 ตารางเซนติเมตร หนา 8 มิลลิเมตร
- ลดขนาดชิ้นงานด้วยการรีดเย็นที่เปอร์เซ็นต์การลดขนาด 0 50 75 และ 90
- ตัดชิ้นงานด้วยเครื่อง Buehler Abrasive Cutter Oscillamet จนได้ขนาด 1×2 ตารางเซนติเมตร ความหนาเป็นไปตามเปอร์เซ็นต์การลดขนาด
- วัดค่าสัมประสิทธิ์ซีบีคของชิ้นงาน ใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิในการวัดเท่ากับ 10 เคลวิน

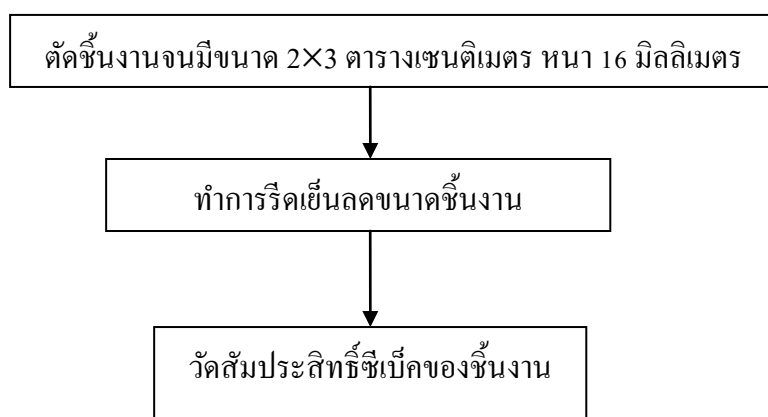


รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีบีคที่เกิดจากการรีดเย็นครั้งที่ 1 ด้วยเครื่องวัดแนวดิ่ง

3.2.3.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีบีคที่เกิดจากการรีดเย็นครั้งที่ 2

แผนผังการดำเนินการวิจัยแสดงไว้ในรูปที่ 3.10 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ตัดอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ด้วยเครื่อง Buehler Abrasive Cutter Oscillamet จนมีขนาด 2×3 ตารางเซนติเมตร หน้า 16 มิลลิเมตร
- ลดขนาดชิ้นงานด้วยการรีดเย็นที่เปอร์เซ็นต์การลดขนาด 0 10 20 30 40 และ 50
- วัดสัมประสิทธิ์ซีบีคของชิ้นงาน (ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ใช้คือ 10 เคลวิน)



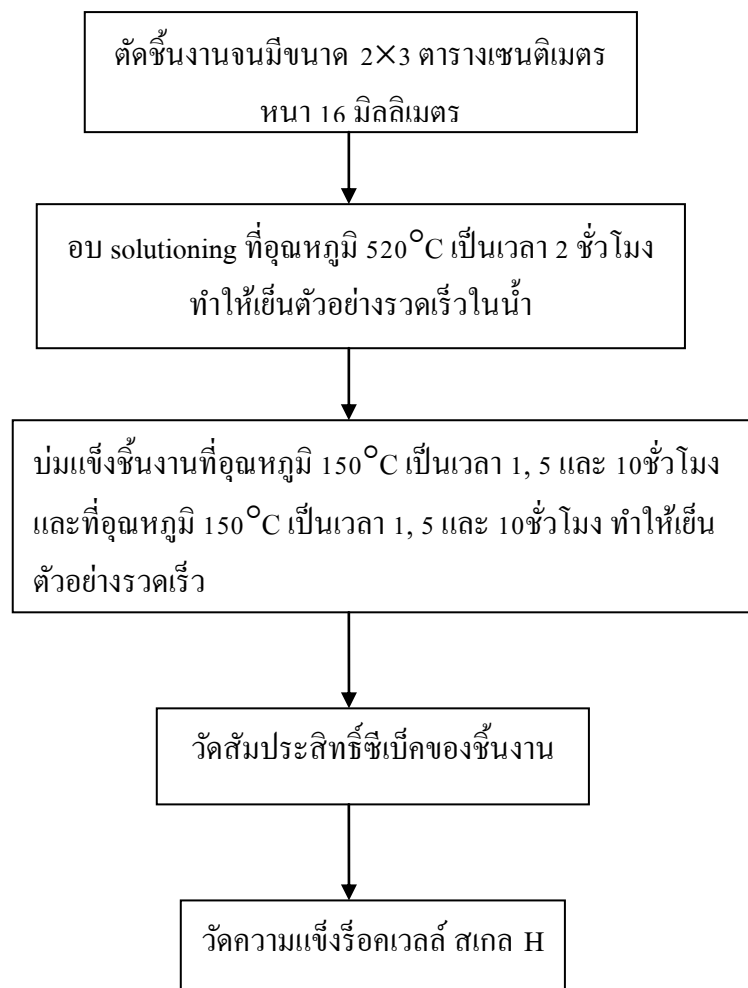
รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีบีคที่เกิดจากการรีดเย็นครั้งที่ 2 ด้วยเครื่องวัดแนวคิง

3.2.3.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีบีคที่เกิดจากการบ่มแข็ง

แผนผังการดำเนินการวิจัยแสดงไว้ในรูปที่ 3.11 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ตัดอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ด้วยเครื่อง Buehler Abrasive Cutter Oscillamet จนมีขนาด 2×3 ตารางเซนติเมตร หน้า 16 มิลลิเมตร
- นำชิ้นงานอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 จำนวน 7 ชิ้นมาทำการอบ solutioning ที่อุณหภูมิ 520 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วในน้ำ
- นำชิ้นงานอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ที่ผ่านการอบ solutioning จำนวน 3 ชิ้นมาทำการบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 5 และ 10 ชั่วโมง และทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วในน้ำ และอีก 3 ชิ้นมาทำการบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 5 และ 10 ชั่วโมง และทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วในน้ำ ทำการวัดสัมประสิทธิ์ซีบีคของตัวอย่างโดยให้ความแตกต่างของอุณหภูมิในการวัดเท่ากับ 10 เคลวิน

- วัดความแข็งร็อกเวลล์ สเกล H โดยใช้หัวกดเป็นลูกบอลขนาด 1/8" ด้วยภาระ 60 กิโลกรัม การวัดกระทำโดยการสุม 3 ตำแหน่งบนตัวอย่างและหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คที่เกิดจากการบ่มแข็งด้วยเครื่องวัด
แนวดิ่ง

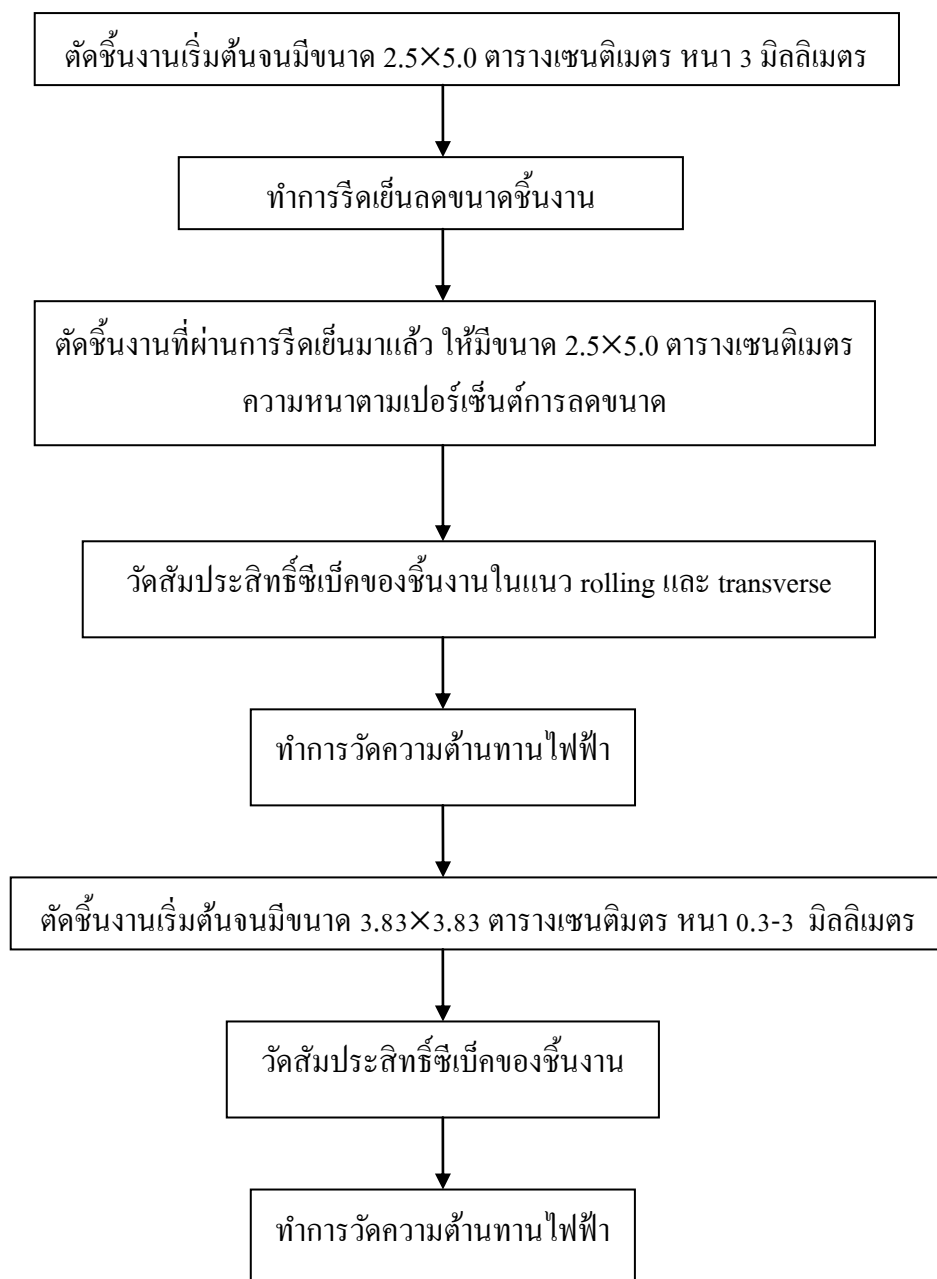
3.2.4 การวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คโดยใช้อุปกรณ์วัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คในแนวนอน

3.2.4.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คที่เกิดจากการรีดเย็น

แผนผังการดำเนินการวิจัยแสดงไว้ในรูป 3.12 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ตัดชิ้นงานเริ่มต้นด้วยเครื่อง Buehler Isomet Low Speed Saw จนมีขนาด 2.5×5.0 ตารางเซนติเมตร หนา 3 มิลลิเมตร
- ลดขนาดชิ้นงานด้วยการรีดเย็นที่เปอร์เซ็นต์การลดขนาด 0 29 50 55 61 71 77 และ 90

- เนื่องจากชิ้นงานที่ผ่านการรีดเย็นจะมีความกว้างและความยาวมากขึ้นและความหนาลดลง เพื่อให้การวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คมีประสิทธิภาพจึงทำการตัดตัวอย่างให้ได้ความกว้างและความยาวใกล้เคียงกับขนาดก่อนรีด ด้วยเครื่อง Buehler Abrasive Cutter Oscillamet ส่วนความหนาเป็นไปตามเปอร์เซ็นต์การลดขนาด
- วัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของชิ้นงาน ในทิศทาง rolling และ transverse โดยให้ความแตกต่างของอุณหภูมิในการวัดเท่ากับ 4 เคลวิน ระยะห่างระหว่างเสาด้านร้อนและด้านเย็น 4 เซนติเมตร
- วัดความต้านทานไฟฟ้าด้วยเครื่อง Sigmatest 2.069
- ตัดชิ้นงานเริ่มต้นด้วยเครื่อง wire cut จนมีขนาด 3.83×3.83 ตารางเซนติเมตร หนา 0.3-3 มิลลิเมตร
- วัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของชิ้นงาน โดยให้ความแตกต่างของอุณหภูมิในการวัดเท่ากับ 4 เคลวิน ระยะห่างระหว่างเสาด้านร้อนและด้านเย็น 1.2 เซนติเมตร
- วัดความต้านทานไฟฟ้าด้วยเครื่อง Sigmatest 2.069



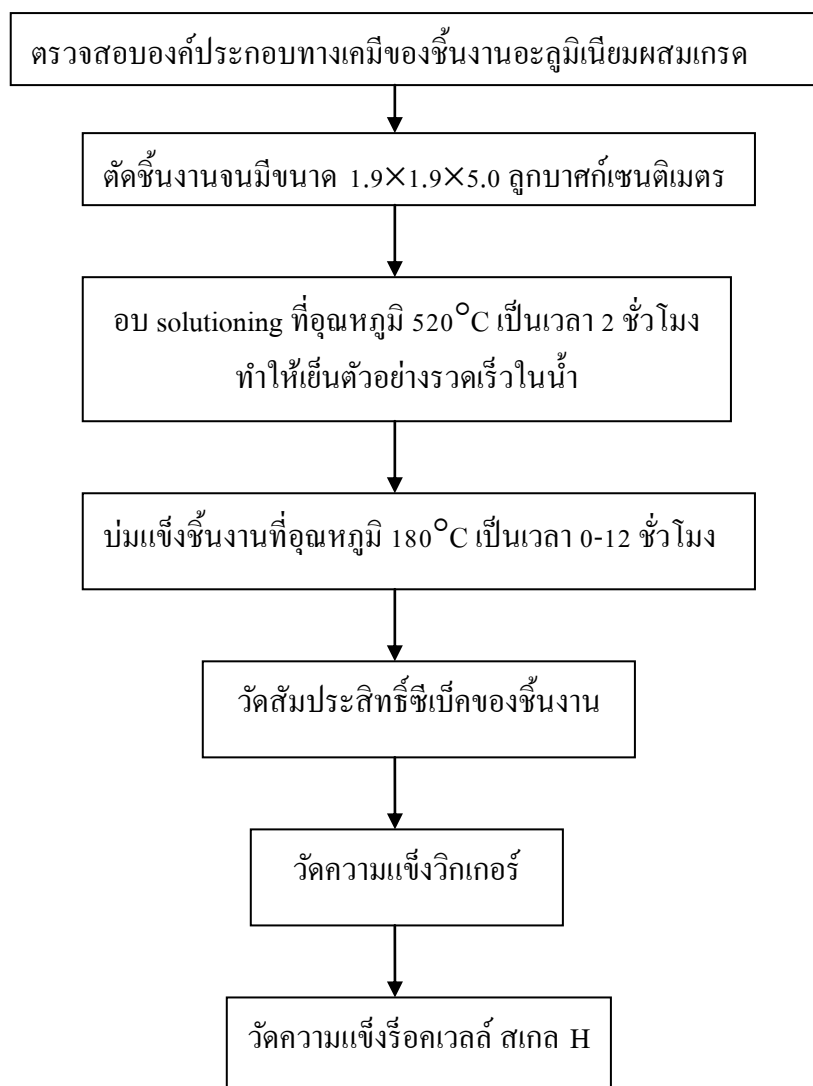
รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติวิธีซีเบ็คที่เกิดจากการรีดเย็นด้วยเครื่องวัด
แนวนอน

3.2.4.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คที่เกิดจากการบ่มแข็ง

3.2.4.2.1 การทดลองช่วงที่ 1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของตัวอย่างขนาดเล็กที่ผ่านการบ่มแข็ง

แผนผังการดำเนินการวิจัยแสดงไว้ในรูปที่ 3.13 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ตัดอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ด้วยเครื่อง Buehler Abrasive Cutter Oscillamet จนมีขนาด $1.9 \times 1.9 \times 5.0$ ลูกบาศก์เซนติเมตร
- อบ solutioning ชิ้นงานอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 จำนวน 13 ชิ้น ที่อุณหภูมิ 520 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วในน้ำ
- นำชิ้นงานอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ที่ผ่านการอบ solutioning จำนวน 12 ชิ้นมาทำการบ่มแข็ง ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างออกจากเตาทุกชั่วโมงและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วในน้ำ
- ทำการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของตัวอย่างโดยให้ความแตกต่างของอุณหภูมิในการวัดเท่ากับ 2 เคลวิน
- วัดความแข็งวิกเกอร์โดยใช้ภาระ 200 มิลลิกรัม ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วินาที การวัดกระทำโดยการ สุ่ม 10 ตำแหน่งบนตัวอย่าง และทำการหาค่าเฉลี่ย
- วัดความแข็งร็อกเวลล์ สเกล H โดยใช้หัวกดเป็นลูกบอลขนาด $1/8''$ ใช้ภาระ 60 กิโลกรัม การวัดกระทำโดยการ สุ่ม 3 ตำแหน่งบนตัวอย่าง และทำการหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติที่ซีเบ็คของตัวอย่างขนาดเล็กที่ผ่านการบ่มแข็ง

3.2.4.2.2 การทดลองช่วงที่ 2 การศึกษาผลของขนาดชิ้นงานต่อค่าสมบัติที่ซีเบ็ค

แผนผังการดำเนินการวิจัยแสดงไว้ในรูปที่ 3.16 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ตัดอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ด้วยเครื่อง Buehler Abrasive Cutter Oscillamet จนมีขนาด 2.5×2.5×20.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- ทำการอบ solutioning ชิ้นงานจำนวน 12 ชิ้น ที่อุณหภูมิ 520 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วในน้ำและทำการอบ solutioning ชิ้นงานจำนวน 12 ชิ้น ที่อุณหภูมิ 520 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วในน้ำ

- บ่มแข็งชิ้นงานทั้ง 2 สภาวะที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0-11 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างออกจากเตาทุกชั่วโมงและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วในน้ำ หลังจากนั้นจึงทำการวัดสัมประสิทธิ์ซีบีคของตัวอย่างโดยให้ความแตกต่างของอุณหภูมิในการวัดเท่ากับ 4 เคลวิน ระยะห่างระหว่างเสาด้านร้อนและเสาด้านเย็นเท่ากับ 10 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.15
- วัดความแข็งร็อกเวลล์ สเกล H โดยใช้หัวกดเป็นลูกบอลขนาด 1/8" ใช้ภาระ 60 กิโลกรัม การวัดกระทำโดยการสุ่ม 3 ตำแหน่งบนตัวอย่าง และทำการหาค่าเฉลี่ย
- ทำการกลึงชิ้นงานจนได้ขนาดดังในรูปที่ 3.16 โดยหล่อเย็นชิ้นงานด้วยน้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิขณะทำการกลึง
- ทำการดัดตัวอย่างด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงจนตัวอย่างขาด ทำการคำนวณความแข็งแรงแรงดึงโดยสมการที่ 3.3

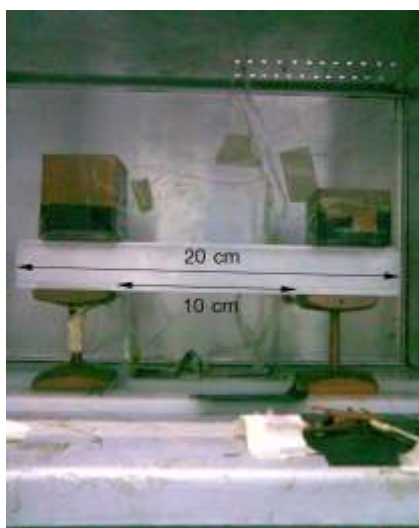
$$\sigma_{ultimate} = \frac{F}{A} \quad (3.3)$$

โดยที่

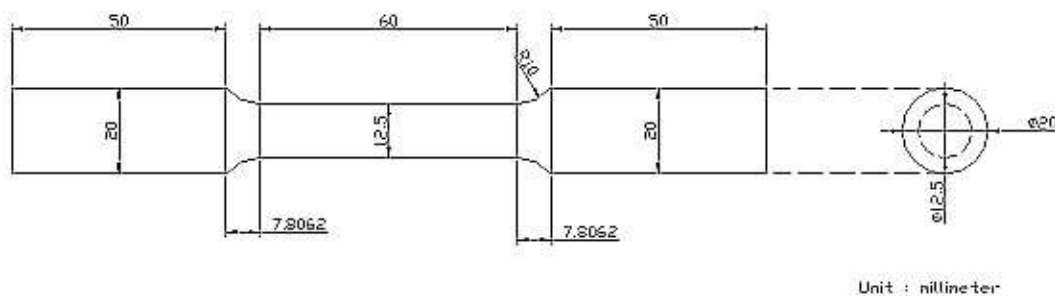
$\sigma_{ultimate}$ = ความแข็งแรงแรงดึง (MPa)

F = แรงที่ใช้ดึงขณะที่ตัวอย่างขาด (N)

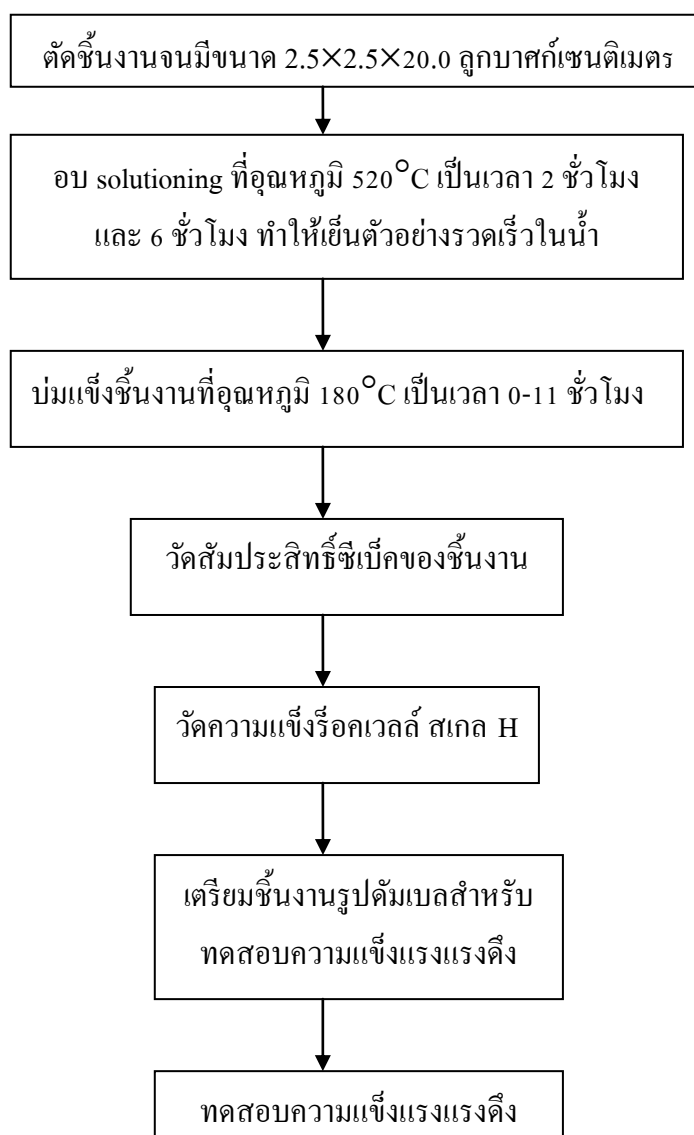
A = พื้นที่หน้าตัดบริเวณเกจ (mm^2)



รูปที่ 3.14 ชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษาผลของขนาดชิ้นงานต่อค่าสัมประสิทธิ์ซีบีค



รูปที่ 3.15 ขนาดของชิ้นงานดัมเบลสำหรับการทดสอบความแข็งแรงแรงดึง



รูปที่ 3.16 ขั้นตอนการศึกษาผลของขนาดชิ้นงานต่อค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค

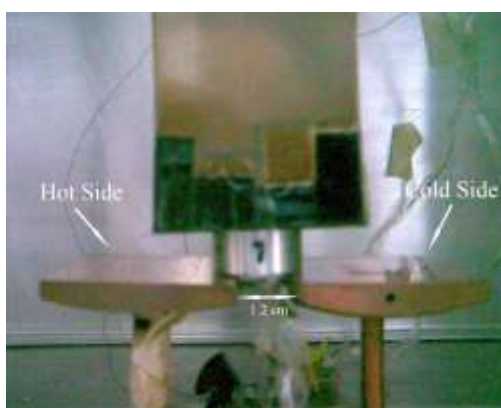
3.2.4.2.3 การทดลองช่วงที่ 3 การศึกษาผลของการขัดผิวตัวอย่างที่มีต่อการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค

แผนผังการดำเนินการวิจัยแสดงไว้ในรูปที่ 3.19 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

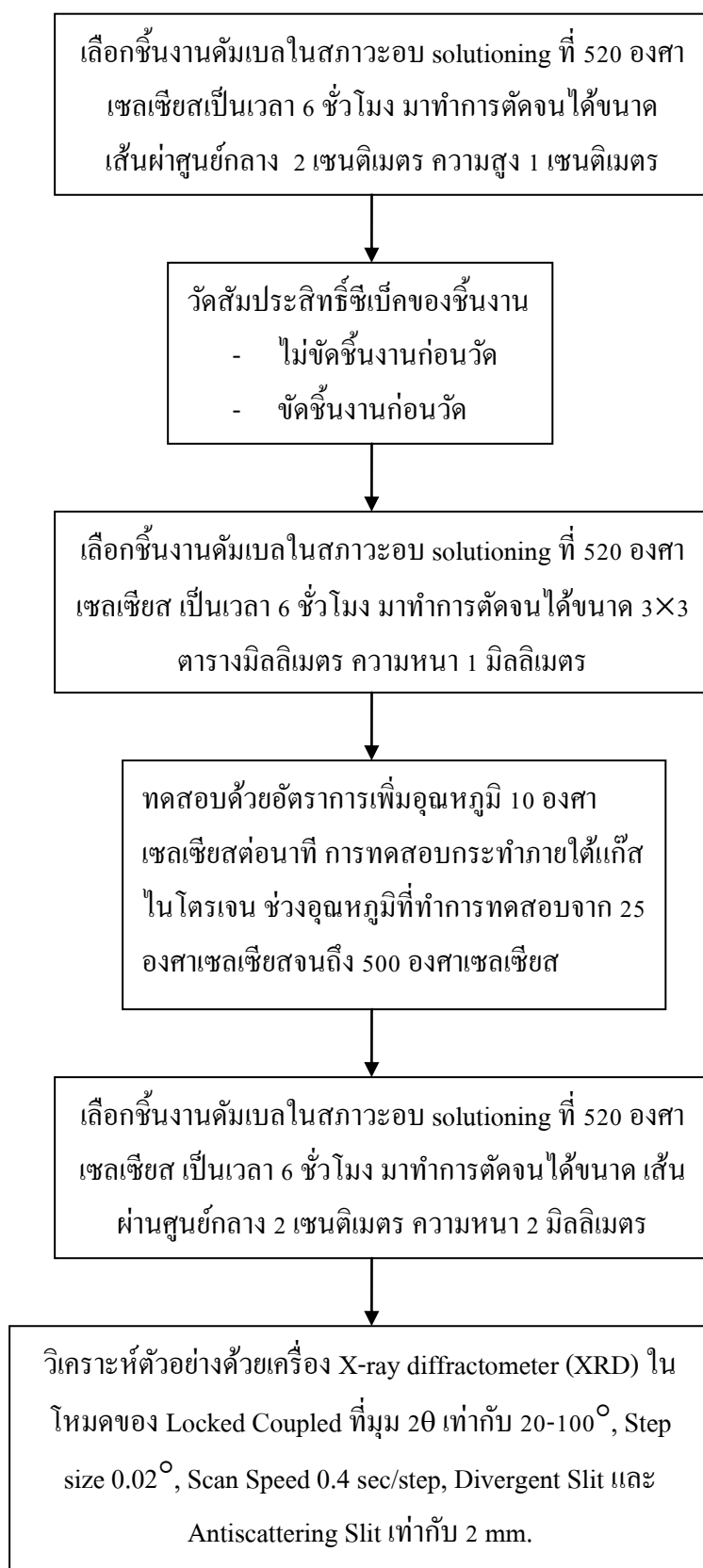
- ชิ้นงานคัมเบลที่ผ่านการทดสอบแรงดึงตามรูปที่ 3.15 จากหัวข้อ 3.2.4.2.2 ในสภาวะอบ solutioning ที่ 520 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงถูกนำมาตัดด้วยเครื่อง Buehler Isomet Low Speed Saw จนได้ชิ้นงานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ความสูง 1 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.17
- ทำการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของชิ้นงานโดยแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือไม่ขัดชิ้นงานก่อนวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็คและขัดชิ้นงานก่อนวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค โดยให้ความแตกต่างของอุณหภูมิในการวัดเท่ากับ 10 เคลวิน ระยะห่างระหว่างเสาด้านร้อนและเสาด้านเย็น 1.2 เซนติเมตรดังในรูปที่ 3.18
- ตัดชิ้นงานคัมเบลที่ยังไม่ผ่านการบ่มแข็งจนได้ชิ้นงานขนาด 3×3 ตารางมิลลิเมตร ความหนา 1 มิลลิเมตร เพื่อให้สามารถใส่เข้าไปในถาดรับตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร หลังจากการตัดทำการแช่ตัวอย่างในอะซิโตนเพื่อทำความสะอาดก่อนการส่งชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)
- ทำการทดสอบด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาต่อนาที การทดสอบกระทำภายใต้แก๊สไนโตรเจน ช่วงอุณหภูมิที่ทำการทดสอบจาก 25 องศาเซลเซียสจนถึง 500 องศาเซลเซียส
- ชิ้นงานจากคัมเบลในสภาวะอบ solutioning ที่ 520 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงถูกนำมาตัดด้วยเครื่อง Buehler Isomet Low Speed Saw จนได้ชิ้นงานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร
- วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) ในโหมดของ Locked Coupled ที่มุม 2θ เท่ากับ $20-100^\circ$, Step size 0.02° , Scan Speed 0.4 sec/step , Divergent Slit และ Antiscattering Slit เท่ากับ 2 mm. โดยรังสีเอกซ์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ คือ $\text{CuK}\alpha$ ที่มีความยาวคลื่น (λ) เท่ากับ 1.54056 nm
-



รูปที่ 3.17 ชิ้นงานสำหรับการศึกษาผลของการขัดผิวตัวอย่างที่มีต่อการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค



รูปที่ 3.18 การวางตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาผลของการขัดผิวตัวอย่างที่มีต่อการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค



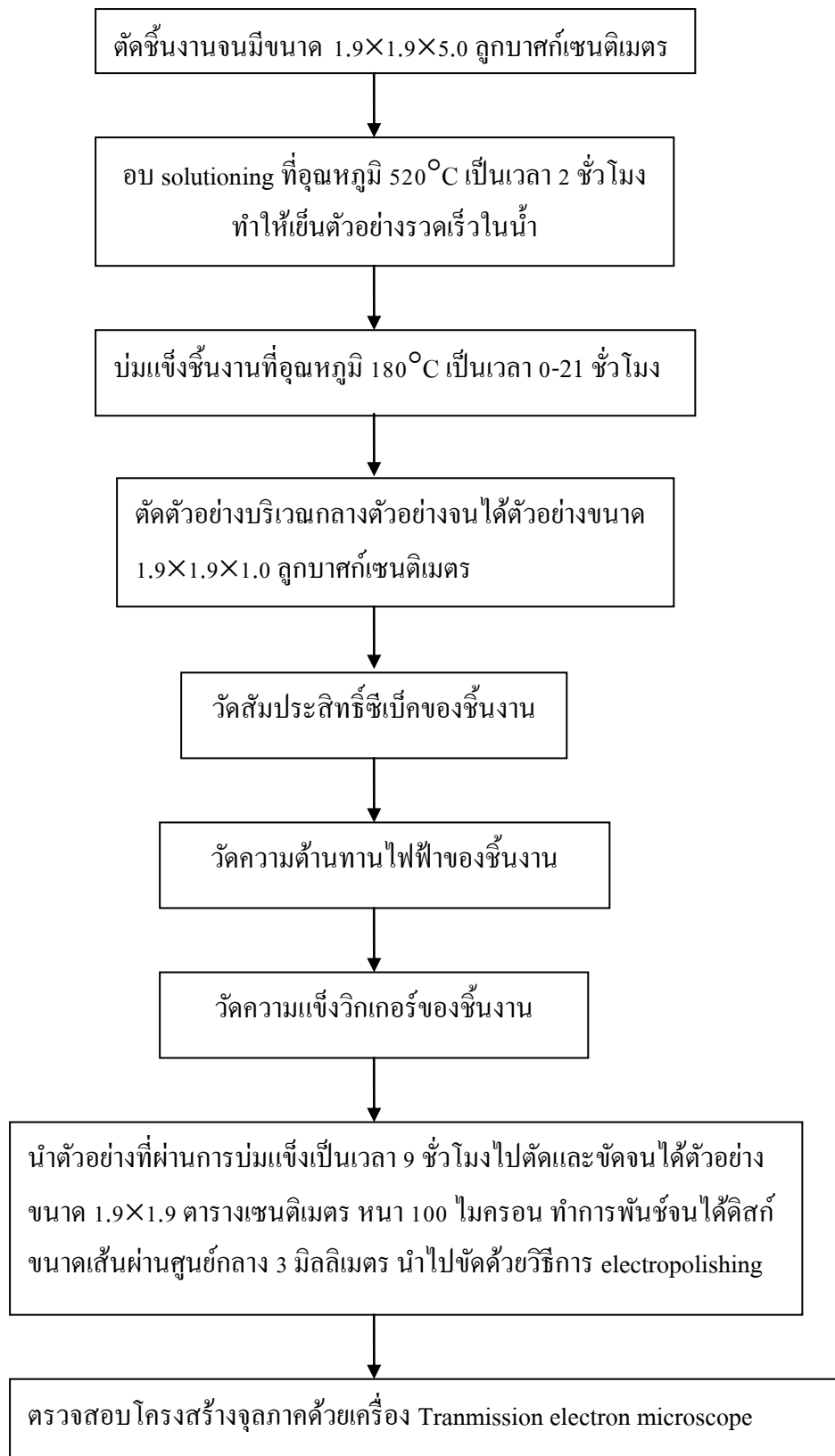
รูปที่ 3.19 ขั้นตอนการศึกษาผลของการขัดผิวตัวอย่างที่มีต่อการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค

3.2.4.2.4 การทดลองช่วงที่ 4 การศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มแข็งที่มีต่อ

สัณฐานวิทยาซีเมนต์ของอะลูมิเนียม 6063

แผนผังการดำเนินการวิจัยแสดงไว้ในรูปที่ 3.20 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ตัดอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ด้วยเครื่อง Buehler Abrasive Cutter Oscillamet จนมีขนาด $1.9 \times 1.9 \times 5.0$ ลูกบาศก์เซนติเมตร
- นำชิ้นงานอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 จำนวน 24 ชิ้นมาทำการอบ solutioning ที่อุณหภูมิ 520 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วในน้ำ
- นำชิ้นงานอะลูมิเนียมผสมเกรด 6063 ที่ผ่านการอบ solutioning จำนวน 24 ชิ้นมาทำการบ่มแข็งที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 และ 21 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างออกจากเตาตามเวลาที่กำหนดครั้งละ 2 ชิ้น และทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วในน้ำ
- ตัดตัวอย่างบริเวณกลางตัวอย่างจนได้ตัวอย่างขนาด $1.9 \times 1.9 \times 1.0$ ลูกบาศก์เซนติเมตร
- วัดสัณฐานวิทยาซีเมนต์ของชิ้นงาน
- วัดความต้านทานไฟฟ้าของชิ้นงาน
- วัดความแข็งวิกเกอร์
- นำตัวอย่างที่ผ่านการบ่มแข็งเป็นเวลา 9 ชั่วโมงไปตัดและขัดจนได้ตัวอย่างขนาด 1.9×1.9 ตารางเซนติเมตรหนา 100 ไมครอน ทำการพ่นชันจนได้ดิสก์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร นำไปขัดด้วยวิธีการ electropolishing โดยใช้แรงดันไฟฟ้า 20.5 โวลต์ จนตัวอย่างทะลุ สารละลายที่ใช้ประกอบด้วย Perchloric acid 90 ลูกบาศก์เซนติเมตร น้ำกลั่น 210 ลูกบาศก์เซนติเมตร Ethanol 1,200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้เวลาในการขัดประมาณ 5 นาทีต่อหนึ่งตัวอย่าง
- ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยเครื่อง Transmission electron microscope (TEM) โดยใช้แรงดันไฟฟ้า 120 kV ในการขับเคลื่อนอิเล็กตรอน



รูปที่ 3.20 ขั้นตอนการศึกษาผลของการบ่มแข็งที่ระยะเวลานานที่มีต่อการวัดสมบัติที่ซีบีค