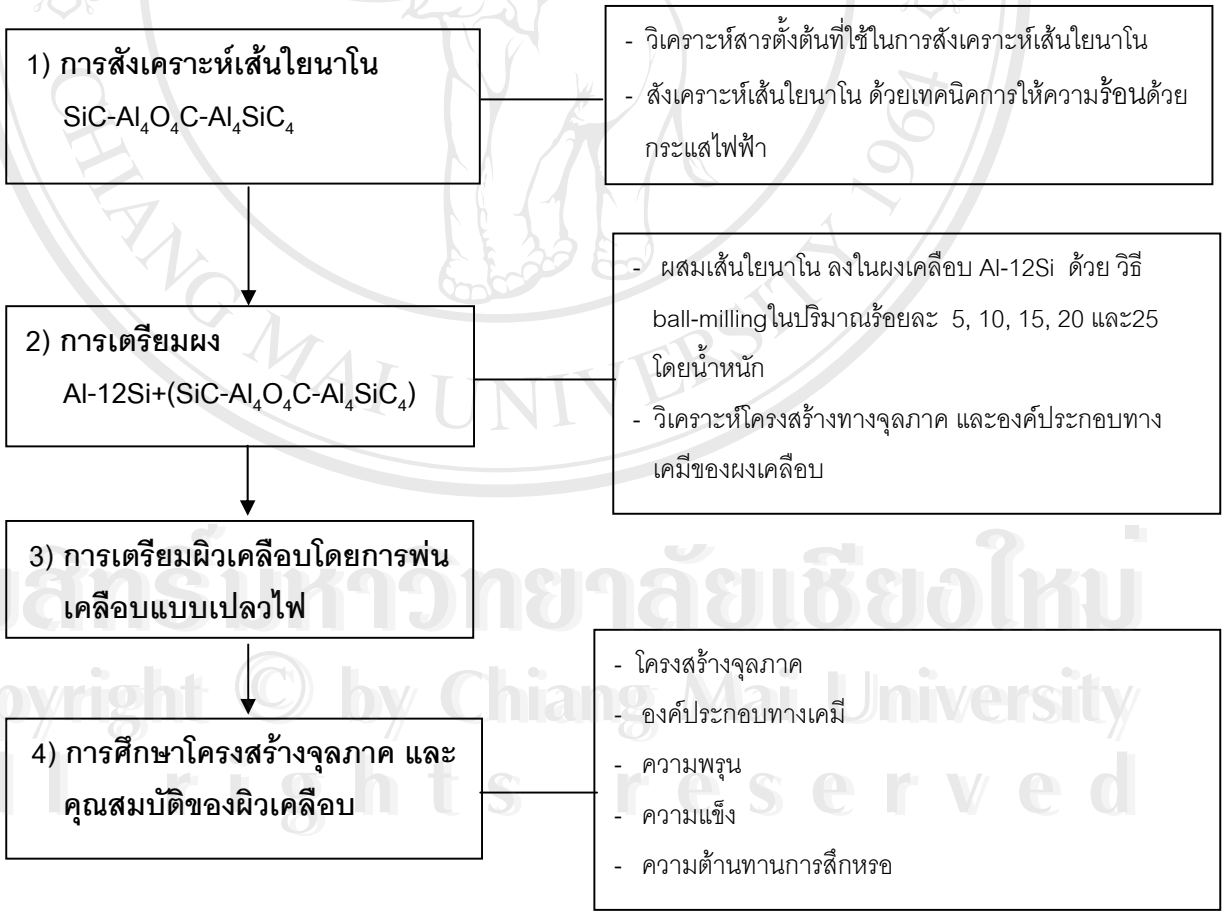
บทที่ 3
วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 4 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

1) การสังเคราะห์เส้นใยนาโน $SiC\text{-}Al_4O_4C\text{-}Al_4SiC_4$ ด้วยเทคนิคการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า
2) การเตรียมเส้นใยนาโน $SiC\text{-}Al_4O_4C\text{-}Al_4SiC_4$ ผสมกับผงพ่นเคลือบ Al-12Si
3) การเตรียมผิวเคลือบด้วยวิธีการพ่นเคลือบด้วยความร้อน
4) วิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติเชิงกลของผิวเคลือบ

รายละเอียดการดำเนินการดังแสดงในรูป 3.1



รูป 3.1 แผนภาพแสดงการดำเนินวิจัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1 การสังเคราะห์เส้นใยนาโน $SiC\text{-}Al_4O_4C\text{-}Al_4SiC_4$

ในการทำวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์เส้นใยนาโน $SiC\text{-}Al_4O_4C\text{-}Al_4SiC_4$ ด้วยเทคนิคการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า (current heating technique) ซึ่งรายละเอียดในการเตรียมและการสังเคราะห์มีดังนี้

3.1.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้สังเคราะห์เส้นใยนาโน

1) ไส้ดินสอเบอร์ EE ยี่ห้อ STAEDTLER เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร
2) ชุดอุปกรณ์การสังเคราะห์เส้นใยนาโน $SiC\text{-}Al_4O_4C\text{-}Al_4SiC_4$
3) เครื่องชั่งไฟฟ้าความละเอียดสูงผลิตโดยบริษัท Mettler Toledo รุ่น AB 304-S ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
4) กล้องจุลทรรศน์แสงผลิตโดยบริษัท MEIJO รุ่น MXT-α7 ประเทศญี่ปุ่น
5) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ผลิตโดยบริษัท JEOL รุ่น JSM - 6335F ประเทศญี่ปุ่น
6) เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ (X - Ray Diffraction, XRD)

3.1.2 การวิเคราะห์สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยนาโน

การวิเคราะห์สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยนาโน $SiC\text{-}Al_4O_4C\text{-}Al_4SiC_4$ ซึ่งสารตั้งต้นคือ ไส้ดินสอเบอร์ EE ยี่ห้อ STAEDTLER ผลิตที่ประเทศเยอรมันแสดงดังรูป 3.3 ทำการศึกษาลักษณะรูปร่างโครงสร้างทางกายภาพของสารตั้งต้นโดยใช้เทคนิค SE-SEM ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารตั้งต้นโดยใช้เทคนิค EDS-SEM หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์องค์ประกอบในรูปสารประกอบของสารตั้งต้นด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์

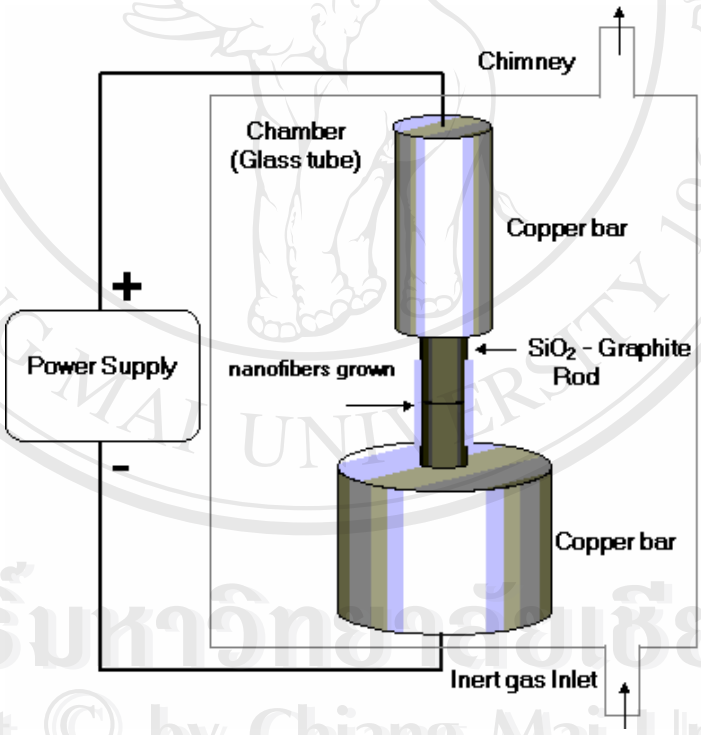
3.1.3 การสังเคราะห์เส้นใยนาโน $SiC\text{-}Al_4O_4C\text{-}Al_4SiC_4$ โดยเทคนิคการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า

1) ตัดไส้ดินสอให้เป็นแท่งขนาดความยาวประมาณ 20 mm ดังรูป 3.3
2) ติดตั้งแท่งไส้ดินสอที่ตัดแล้วลงบนชุดอุปกรณ์สังเคราะห์เส้นใยนาโน $SiC\text{-}Al_4O_4C\text{-}Al_4SiC_4$ ดังแสดงในรูป 3.2 โดยการจัดให้มีสภาวะการสังเคราะห์ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- กำลังไฟที่ใช้ในการสังเคราะห์ประมาณ 300–350 W (โดยการค่อยๆ เพิ่มกระแสไฟฟ้าครั้งละ 1 A จนกระทั่งกระแสสูงสุดประมาณ 10 A ความต่างศักย์สูงสุดประมาณ 35 V)
- ความต้านทานของสารตั้งต้นประมาณ 32 โอมห์
- ระยะเวลาในการสังเคราะห์ประมาณ 30 นาที

3) วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพเส้นใยนาโน SiC-Al_4O_4C-Al_4SiC_4 ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค EDS-SEM และวิเคราะห์สารประกอบด้วย เทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์



รูป 3.2 แผนภาพชุดอุปกรณ์การสังเคราะห์เส้นใยนาโน SiC-Al_4O_4C-Al_4SiC_4 ด้วยกระแสไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 3.3 ดินสอเบอร์ EE ยี่ห้อ STAEDTLER และลักษณะการเตรียม

รูป 3.4 ภาพถ่ายชุดอุปกรณ์การสังเคราะห์เส้นใยนาโน SiC-Al_4O_4C-Al_4SiC_4

รูป 3.5 ลักษณะเส้นใยนาโนที่เกิดขึ้นรอบนอกไส้ดินสอ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 3.6 ลักษณะผิวด้านในเส้นใยนาโนที่แยกออกมาจากไส้ดินสอ

3.2 การผสมผงพ่นเคลือบ Al-12Si กับเส้นใยนาโน SiC-Al_4O_4C-Al_4SiC_4

การวิจัยนี้ผสมเส้นใยนาโน SiC-Al_4O_4C-Al_4SiC_4 ลงในผง Al-12Si ด้วยเทคนิคการผสมแบบบดย่อยด้วยลูกบอล (ball – milling) ซึ่งเทคนิคนี้จะทำการผสมเส้นใยนาโน SiC และ ผง Al -12Si ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยคาดว่าเส้นใยนาโน SiC-Al_4O_4C-Al_4SiC_4 จะสามารถกระจายตัวสม่ำเสมอในผง Al-12Si ปริมาณของเส้นใยนาโนที่ผสม คือ ร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ดังรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

3.2.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมผงพ่นเคลือบ

1) ผงพ่น Al -12Si ผลิตโดยบริษัท Sulzer Metco ประเทศสหรัฐอเมริกา
2) เส้นใยนาโน SiC-Al_4O_4C-Al_4SiC_4 ที่เตรียมตามวิธีการในข้อ 3.1
3) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ผลิตโดยบริษัท JEOL รุ่น JSM-6335F ประเทศญี่ปุ่น (รูป 3.7)
4) เครื่องบดแบบบย่อยด้วยลูกบอล (ball–milling) พร้อมเม็ดบดอะลูมินา (Al_2O_3) ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 9.36 mm

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.2 วิธีการเตรียมผงเคลือบ Al-12Si + (SiC-Al_4O_4C-Al_4SiC_4)

1) นำเส้นใยนาโน SiC-Al_4O_4C-Al_4SiC_4 ที่เตรียมได้ผสมกับผงพ่นเคลือบ Al-12Si ในปริมาณร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ด้วยวิธีการผสมแบบบดย่อยด้วยลูกบอล โดยใช้เม็ดบดอะลูมินา ทำการบดผสมในสภาวะแห้งเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที
2) ศึกษาสัณฐานวิทยาของผงเคลือบด้วยกล้อง SEM ที่ความต่างศักย์ 15 kV และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค EDS–SEM
3) วิเคราะห์สารประกอบผงเคลือบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ (XRD)

รูป 3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.3 การเตรียมผิวเคลือบ

ในการวิจัยนี้เตรียมผิวเคลือบด้วยวิธีพ่นแบบเปลวไฟ โดยใช้วัสดุเคลือบเป็นผง Al-12Si และผง Al-12Si ผสมเส้นใยนาโน SiC-Al_4O_4C-Al_4SiC_4 ที่เตรียมได้จากข้อ 3.2 มาผลิตผิวเคลือบซึ่งรายละเอียดในการเตรียมผิวเคลือบแสดงดังต่อไปนี้

3.3.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมผิวเคลือบ

1) ซับสเตรทเหล็กอ่อน ขนาด 24 x 25 x 5 mm^3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2) ผงพ่น Al-12Si และผงพ่น Al-12Si ผสมเส้นใยนาโน SiC-Al_4O_4C-Al_4SiC_4

3) อนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) ขนาด 500 μm

4) ปืนพ่นเคลือบผลิตโดยบริษัท Metallizing Equipment รุ่น MEC powderjet-86 ประเทศอินเดีย (รูป 3.9)

5) ชุดป้อนผงผลิตโดยบริษัท Praxiar รุ่น 1264 ประเทศสหรัฐอเมริกา (รูป 3.10)

3.3.2 วิธีการและขั้นตอนการพ่นเคลือบ

1) เตรียมซับสเตรทที่จะทำการพ่นเคลือบโดยตัดเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำให้ได้ขนาด 24 x 25 x 5 mm

2) ทำผิวหน้าชิ้นงานให้หยาบด้วยการพ่นอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์ขนาด 500 μm ด้วยแรงดันอากาศ 600 KPa จากนั้นจึงเป่าลมเพื่อทำความสะอาด ผิวชิ้นงานที่เตรียมต้องนำไปพ่นเคลือบทันทีเพื่อป้องกันการปนเปื้อนและการเกิดออกซิเดชั่น

3) ติดตั้งชิ้นงานบนอุปกรณ์จับยึด (รูป 3.11) ซึ่งหมุนอยู่บนเครื่องกลึงด้วยความเร็ว 38 รอบต่อนาที และปืนพ่นแบบเปลวไฟต่อเชื่อมกับชุดป้อนผงด้วยสายป้อนผง

4) พ่นเคลือบด้วยผง Al-12Si และผง Al-12Si ผสมเส้นใยนาโน SiC-Al_4O_4C-Al_4SiC_4 ที่เตรียมตามสภาวะการพ่นในตาราง 3.1

ตาราง 3.1 สภาวะการพ่นเคลือบของผง Al-12Si และผง Al-12Si ที่ผสมเส้นใยนาโน SiC-Al_4O_4C-Al_4SiC_4

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด
อัตราการไหลของออกซิเจน	36 (ft^3/h)
อัตราการไหลของอะเซทิลีน	28 (ft^3/h)
อัตราการไหลของไนโตรเจน	3.5 (ft^3/h)
ระยะพ่น	70 (mm)
จำนวนรอบของการพ่น	20 (round)
อัตราการป้อนผง	3.17 (g / min)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 3.8 เครื่องตัดชิ้นงาน

รูป 3.9 ปืนพ่นแบบเปลวไฟ

รูป 3.10 ชุดป้อนผง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 3.11 ติดตั้งชิ้นงานบนอุปกรณ์จับยึด

3.4 การศึกษาโครงสร้างจุลภาค องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติเชิงกลของผิวเคลือบ

นำผิวเคลือบที่ได้จากการเตรียมในข้อ 3.3 มาศึกษาโครงสร้างจุลภาค องค์ประกอบทางเคมี ความพรุน และคุณสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้แก่ ความแข็ง อัตราการสึกหรอ โดยแสดงรายละเอียดของวิธีการศึกษาดังนี้

3.4.1 วัสดุและเครื่องมือที่ใช้

1) ผง Bekeclite ผลิตโดยบริษัท Metkon ประเทศตุรกี
2) ผงขัดอะลูมินา (Al_2O_3) ขนาด 1 และ 0.3 μm ผลิตโดยบริษัท Buchler ประเทศเยอรมนี
3) กระดาษทรายน้ำ (SiO_2) เบอร์ 120, 200, 400, 800 และ1000 ผลิตโดยบริษัท Swallow ประเทศสหรัฐอเมริกา
4) เครื่องตัดชิ้นงาน ผลิตโดยบริษัท Struers รุ่น Labotom-3 ประเทศเยอรมนี
5) เครื่องหล่อชิ้นงาน ผลิตโดยบริษัท Struers รุ่น Labotom-1 ประเทศเยอรมนี
6) เครื่องขัดชิ้นงานแบบจานหมุน ผลิตโดยบริษัท Buchler รุ่น Ecomet 4 ประเทศสหรัฐอเมริกา
7) กล้องจุลทรรศน์แสงผลิตโดยบริษัท Carl Ziss พร้อมโปรแกรมวิเคราะห์ความพรุนจากภาพถ่าย AXIOVS40 version 4.2 ประเทศสหรัฐอเมริกา
8) เครื่องทดสอบความแข็งจุลภาค Microscan OD ระบบการวัดแบบ Vickers Microhardness (รูป 3.13)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

9) เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบหัวกดบนจานทดสอบ (pin-on-disk) ผลิตโดยบริษัท Implant Science Corporation รุ่น ISO 200 TRIBOMETER ประเทศสหรัฐอเมริกา
10) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning ElectronMicroscopy, SEM) ผลิตโดยบริษัท JEOL รุ่น JSM - 6335F ประเทศญี่ปุ่น

3.4.2 การเตรียมชิ้นงานผิวเคลือบสำหรับศึกษาโครงสร้างจุลภาค องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติเชิงกลของผิวเคลือบ

ในการเตรียมชิ้นงานเพื่อนำไปศึกษาโครงสร้างทางจุลภาค องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติเชิงกลของผิวเคลือบนั้น เป็นขั้นตอนที่ต้องทำอย่างระมัดระวังป้องกันการปนเปื้อนของสารอื่น และเพื่อให้ได้ภาพที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM มีความชัดเจน ตลอดจนการวิเคราะห์หาร้อยละความพรุนของผิวเคลือบให้ได้ผล ซึ่งในการดำเนินการวิจัยนี้นั้นได้มีการเตรียมชิ้นงานดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) นำผิวเคลือบมาตัดตามขวางด้วยเครื่องตัดชิ้นงาน สำหรับงานวิจัยนี้ตัดให้ได้ขนาด 24 x 10 มิลลิเมตร เพื่อให้ชิ้นงานเข้ากันได้กับเครื่องมือทดสอบ
2) หล่อชิ้นงานที่ตัดแล้วด้วยเครื่องหล่อเรซิน (รูป 3.12) โดยใช้ผง Bekeclite เป็นวัสดุหล่อ
3) ขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 120, 200, 400, 800 และ 1000 ตามลำดับ แล้วจึงขัดด้วยผงขัดอะลูมินา ขนาด 1.0 และ 0.3 μm

รูป 3.12 เครื่องหล่อเรซิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4.3 การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบทางเคมี

ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และโครงสร้างทางจุลภาคของผิวเคลือบโดย 3 เทคนิค คือ

1) ศึกษาโครงสร้างจุลภาคของผิวเคลือบโดยใช้เทคนิค SEM โดยใช้ความต่างศักย์ 15 kV
2) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผิวเคลือบด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบ EDS-SEM
3) วิเคราะห์สารประกอบของผิวเคลือบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์

3.4.4 การวัดความแข็งของผิวเคลือบ

นำชิ้นงานที่ผ่านการพ่นเคลือบมาวัดค่าความแข็งของผิวเคลือบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งจุลภาคแบบวิกเกอร์ (Vickers Microhardness) ใช้น้ำหนักกด 100 g แล้ววัดค่าความแข็งของผิวเคลือบในแต่ละปริมาณผสม โดยทำการกด 5 ครั้งและนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.4.5 การหาความพรุนของผิวเคลือบ

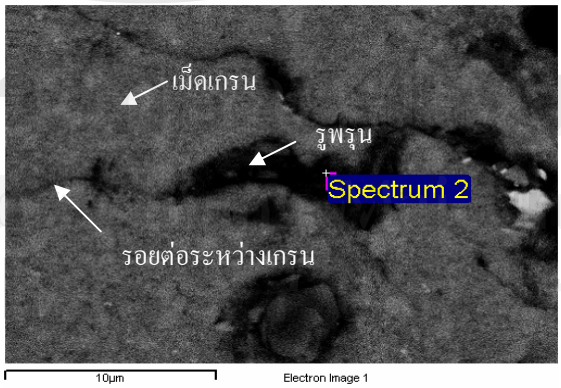
เนื่องจากโปรแกรมภาพถ่าย AXIOVS40 version 4.2 มีหลักการทำงานหาร้อยละความพรุนของพื้นผิวโดยแยกสีที่มีความแตกต่างกัน แล้วประมวลผลออกมาเป็นร้อยละความพรุนของพื้นผิว ดังนั้นในการวิจัยนี้ได้กำหนดสีที่ป้อนให้กับโปรแกรม 3 สีด้วยกัน คือ สีแดงคือพื้นที่ที่เป็นความพรุน สีเหลืองเป็นบริเวณรอยต่อระหว่างอนุภาคผงเคลือบ และสีฟ้าเป็นอนุภาคของผงเคลือบ (รูป3.15) โดยใช้ข้อมูลจากข้อ 3.4.3 เป็นตัวกำหนดสี รายละเอียดดังต่อไปนี้

1) กำหนดสีที่จะทำการป้อนเป็นข้อมูลสำหรับโปรแกรมภาพถ่าย AXIOVS40 version 4.2 โดยแบ่งเฟสของพื้นผิวออกเป็น 3 เฟสด้วยกัน คือ รูพรุน รอยต่ออนุภาคผงเคลือบ และอนุภาคผงเคลือบ
2) ถ่ายภาพตัดขวางบริเวณชั้นผิวเคลือบของชิ้นงานแต่ละชนิด 5 ครั้ง โดยทำการถ่ายบริเวณที่ต่างกันด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง จากนั้นวิเคราะห์ค่าความพรุนจากภาพถ่าย โดยใช้โปรแกรม AXIOVS40 version 4.2
3) นำค่าความพรุนของชิ้นงานแต่ละชนิดมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 3.13 เครื่องทดสอบความแข็งจุลภาคแบบวิกเกอร์

รูป 3.14 กล้องจุลทรรศน์แสง และชุดโปรแกรมวิเคราะห์หาความพรุน
จากภาพถ่าย AXIOVS40 version 4.2



รูป 3.15 แสดงลักษณะทั่วไปของผิวเคลือบแบ่งพื้นที่ออกเป็น 3 ลักษณะที่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4.6 การทดสอบการสึกหรอ

การวิจัยนี้ได้ทดสอบการสึกหรอของผิวเคลือบ Al-12Si และผิวเคลือบ Al-12Si ผสมเส้นใยนาโนในปริมาณต่างๆ โดยใช้การทดสอบแบบจานหมุน (pin-on-disk) โดยแสดงวิธีการทดสอบอย่างละเอียดดังต่อไปนี้

1) ทดสอบการสึกหรอของผิวเคลือบแต่ละชนิดด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอจานหมุน (รูป 3.16) ใช้ทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) เป็นหัวหมุด (pin) ทำการทดสอบในสภาวะแห้ง โดยวัดการสึกหรอที่ระยะทดสอบ 3 ระยะ และใช้สภาวะการทดสอบดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 สภาวะการทดสอบการสึกหรอแบบจานหมุนของผิวเคลือบ

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด
น้ำหนักกด	50 g
ระยะทดสอบ	1) 25 m (รัศมีทดสอบ 4 mm × 995 รอบ) 2) 50 m (รัศมีทดสอบ 6 mm × 1327 รอบ) 3) 75 m (รัศมีทดสอบ 8 mm × 1492รอบ)
กำหนดขอบเขตความเสียดทาน (friction limit)	6.08
กำหนดความเร็วเชิงเส้นในการหมุน	5 cm /s

2) วัดขนาดความกว้างของรอยสึกบนชิ้นงานทุกระยะทดสอบโดยแต่ละระยะทดสอบวัดรอยสึกหรอ 4 ครั้งต่างบริเวณกันเพื่อหาค่าเฉลี่ยของความกว้างรอยสึกของแต่ละระยะทดสอบ

3) คำนวณหาปริมาตรที่สูญเสีย (Volume loss) ตามสมการ (3.1)

$$\text{volume loss} = \frac{\pi(r_t)(w_t)^3}{6r_p} \qquad (3.1)$$

เมื่อ volume loss คือ ปริมาตรของชิ้นงานสูญเสียหลังการทดสอบ (mm^3)

r_t คือ รัศมีของรอยสึก (mm)

w_t คือ ความกว้างของรอยสึก (mm)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

r_p คือ รัศมีของหัวกด (mm)

4) พล๊อตกราฟระหว่างปริมาตรที่สูญเสียเฉลี่ยกับระยะทางทดสอบ เพื่อหาค่าความชันซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราการสึกหรอของชิ้นงาน โดยอัตราการสึกหรอสามารถคำนวณได้ดังสมการ 3.2

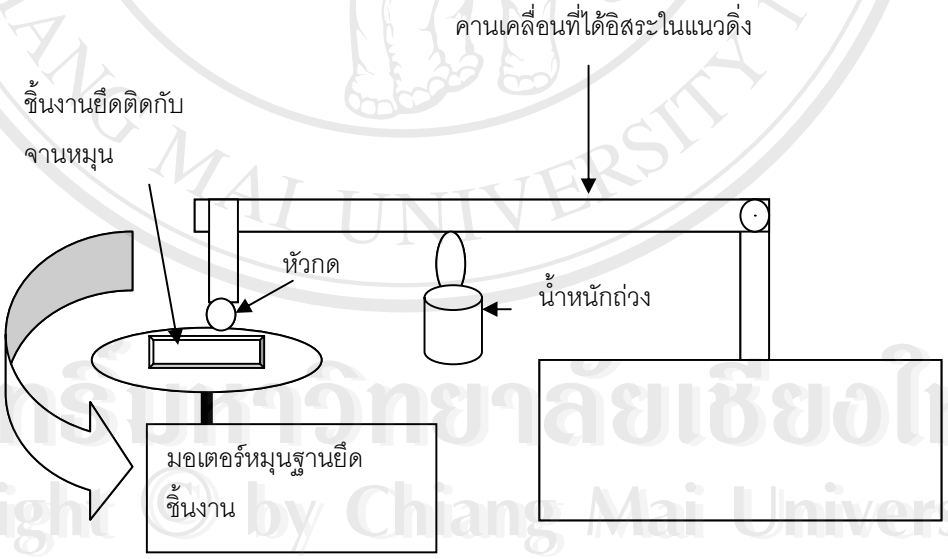
$$Q = \frac{V}{L} \tag{3.2}$$

เมื่อ Q คือ อัตราการสึกหรอ (mm^3 / m)

V คือ ปริมาตรของชิ้นงานสูญเสียหลังการทดสอบ (mm^3)

L คือ ระยะทดสอบ (m)

5) ทำการทดลองซ้ำตามข้อที่ 1–4 จำนวน 3 ครั้ง เพื่อหาค่าอัตราการสึกหรอเฉลี่ยของผิวเคลือบแต่ละชนิด



รูป 3.16 รูปแสดงการทำงานของเครื่องทดสอบอัตรการสึกหรอแบบจานหมุน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved