บทที่ 4

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางกลและทางความร้อนของซิลิคอนคาร์ไบด์พรุนและวัสดุผสมเนื้ออะลูมิเนียมเสริมแรงด้วยซิลิคอนคาร์ไบด์ที่สังเคราะห์จากไม้ยางพารา โดยเริ่มต้นการศึกษาคือการผลิตวัสดุผสมแบ่งออกเป็น 4 กระบวนการประกอบด้วย

1. กระบวนการคาร์บอนไนเซชั่น เป็นกระบวนการเปลี่ยนสภาพไม้ยางพาราเป็นแท่งถ่านพรุน

2. กระบวนการเคลือบผิวถ่านพรุนด้วยซิลิกาที่ได้มาจากกระบวนการโซล-เจล เป็นกระบวนการอัดสารละลาย 4 ชนิดได้แก่ สารละลาย Tetraethoxysilane (TEOS), Ethanol, H_2O และ HCl จากนั้นใช้แรงดันสุญญากาศเพื่ออัดสารละลายโซลเข้าสู่รูพรุนของแท่งถ่านพรุน หลังจากนั้นอบชิ้นงานเพื่อให้สารละลายเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งเรียกว่าเจล ผลที่ได้คือ วัสดุคาร์บอน/ซิลิกา

3. กระบวนการคาร์โบเทอร์มอลรีดักชั่น เป็นกระบวนการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิสูง 1600 องศาเซลเซียส ผลจากกระบวนการนี้ได้เป็นวัสดุผสมซิลิกอนคาร์ไบด์/คาร์บอนพรุน และกำหนดเงื่อนไขระยะเวลาในการเผาแช่ (Holding time) ที่แตกต่างกัน 1, 2 และ3 ชั่วโมง

4. กระบวนการหล่ออัด (Squeeze casting) คือกระบวนการหล่อโดยใช้แรงอัดสูงเพื่อให้อะลูมิเนียมเหลวแทรกซึมเข้าสู่รูพรุน ผลที่ได้คือวัสดุผสมเนื้ออะลูมิเนียมเสริมแรงด้วยซิลิกอนคาร์ไบด์/คาร์บอน และได้กำหนดเงื่อนไขในการทดลองของทิศทางโครงสร้างชิ้นงานที่แตกต่างกันได้แก่ ทิศทางโครงสร้างแนวรัศมีและทิศทางโครงสร้างแนวแกน ซึ่งจากกระบวนการนี้มีผลทำให้เนื้ออะลูมิเนียมแทรกซึมเข้าสู่ช่องว่างของรูพรุนภายในของ SiC/C

เมื่อได้วัสดุผสมเนื้ออะลูมิเนียมเสริมแรงด้วยซิลิกอนคาร์ไบด์/คาร์บอนแล้วได้ทำการวิเคราะห์ทางกายภาพและทดสอบทางสมบัติของวัสดุ วิธีการวิเคราะห์ทางกายภาพได้ทำการหาค่าความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่างโดยใช้หลักการของอาร์คีมีดิสจากการชั่งน้ำหนักชิ้นงานแห้ง และชิ้นงานที่ชั่งในน้ำ และการวิเคราะห์โครงสร้างนั้นได้ศึกษาโครงสร้างของวัสดุตัวอย่างเพื่อศึกษาถึงลักษณะของอะลูมิเนียมภายในชิ้นงานโดยการวิเคราะห์ด้วย Scanning Electron

Microscope (SEM), X-ray mapping และ Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) เพื่อวิเคราะห์การแยกธาตุและปริมาณบริเวณพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่าง การทดสอบสมบัติวัสดุได้แยกออกเป็นการทดสอบความต้านทานการนำไฟฟ้า การทดสอบการนำความร้อน การทดสอบการสึกหรอ และการทดสอบความแข็ง ซึ่งสรุปผลการศึกษาการวิเคราะห์ทางกายภาพและทดสอบทางสมบัติของวัสดุแสดงดังหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2

4.1 สรุปผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ

1. สามารถนำชิ้นงานคาร์บอนซิลิกอนคาร์ไบค์พรุนที่มีโครงสร้างแนวแกนและแนวรัศมีมาขึ้นรูปเป็นวัสดุผสมเนื้ออะลูมิเนียมได้โดยกระบวนการ Squeeze Casting

2. ผลจาก X-ray mapping ของผิวชิ้นงานวัสดุผสมพบว่า ชิ้นงานวัสดุผสม มีส่วนประกอบของธาตุ 3 ชนิดได้แก่ คาร์บอน ซิลิกอน และอะลูมิเนียม ผลจากการวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบวัสดุผสมที่ได้จากการสังเคราะห์ พบว่า ซิลิกอนในทิศทางโครงสร้างชิ้นงานแนวรัศมีมีปริมาณของซิลิกอนมากกว่า ทิศทางโครงสร้างชิ้นงานแนวแกน จากนั้นทำการวิเคราะห์โครงสร้างจากการแตกหักเพื่อวิเคราะห์ภายในโครงสร้าง ซึ่งพบว่าอะลูมิเนียมกระจายตัวอยู่ทั่วชิ้นงาน แสดงเห็นว่ากระบวนการ Squeeze Casting สามารถอัดเนื้ออะลูมิเนียมเข้าสู่รูพรุนได้ทั่วทั้งชิ้นงาน

3. ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าชิ้นงานวัสดุผสมนี้มีส่วนประกอบของธาตุหลักๆ 3 ธาตุ ได้แก่ ซิลิกอน คาร์บอน และ อะลูมิเนียม ซึ่งสัดส่วนของเฟสต่างๆจากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ามีเฟสของซิลิกอนคาร์ไบค์อยู่ประมาณ 9.5% เฟสของคาร์บอนจะมีอยู่ประมาณ 47.5% และเฟสของอะลูมิเนียมจะมีประมาณ 43%

4. จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นพบว่าชิ้นงานวัสดุผสมที่ผลิตได้ยังมีโพรงอากาศอยู่ประมาณ 6.38% ซึ่งแสดงว่าการแทรกซึมของอะลูมิเนียมเข้าในโพรงของเซรามิกยังไม่สมบูรณ์ทั้งหมด ซึ่งอาจจะเป็นเพราะในโพรงของเซรามิกซึ่งได้จากเนื้อไม้ยางพาราประกอบไปด้วยรูหลายขนาด ซึ่งก็มีรูที่เล็กมากและอาจมีรูปิดประกอบอยู่ด้วย ทำให้น้ำอะลูมิเนียมไม่สามารถแทรกซึมได้ทั้งหมด

4.2 สรุปผลจากทางทดสอบสมบัติ

4.2.1. ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานการนำไฟฟ้า

การทดสอบความต้านทานการนำไฟฟ้าเพื่อให้ทราบถึงสมบัติของวัสดุผสมมีลักษณะเป็นตัวนำฟ้าหรือตัวต้านทาน ผลของการทดสอบนำมาเปรียบเทียบผลของกระทบจากการเปลี่ยนปัจจัยของแต่ละชิ้นงานวัสดุผสม และได้เปรียบเทียบกับอะลูมิเนียม A356 ที่ได้จากการทดลอง เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิง มีผลจากการทดลองดังนี้

1. ทิศทางโครงสร้างชิ้นงานแนวแกน ระยะเวลาเผาแช่ส่งผลให้ค่าความต้านทานการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ผลจากการทดลองพบว่าที่ระยะเวลาเผา 2 ชั่วโมง มีความต้านทานการนำไฟฟ้ามากที่สุด มีค่า 6.56 μOhm-cm3

2. ทิศทางโครงสร้างชิ้นงานแนวรัศมี พบว่า มีค่าความต้านทานการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่าเมื่อเทียบกับ ทิศทางโครงสร้างชิ้นงานแนวแกน ระยะเวลาเผาที่ 2 ชั่วโมง พบว่ามีค่าความต้านทานการนำไฟฟ้ามากที่สุดเช่นกัน มีค่า 13.72 μohm-cm^3

3. เปรียบเทียบค่าความต้านทานการนำไฟฟ้าของวัสดุที่ได้ จากการสังเคราะห์กับอะลูมิเนียม A356 ที่ได้จากการทดลอง พบว่าค่าความต้านทานการนำไฟฟ้าแนวรัศมี มีค่ามากกว่าอะลูมิเนียม A356 ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งอะลูมิเนียม A 356 มีค่า 7.88 μohm-cm^3 :

4. ผลการทดลองข้างต้น แสดงให้เห็นว่าปัจจัยระยะเวลาในการเผาแช่ที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าความต้านทานการนำไฟฟ้าน้อย สำหรับปัจจัยทิศทางโครงสร้างที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าความต้านทานการนำไฟฟ้ามาก ค่าการนำไฟฟ้าของคาร์บอนและ SiC เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดี ดังนั้น ค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกันมีผลจากการแทรกซึมเนื้ออะลูมิเนียมเหลวในรูพรุน

4.2.2. ผลการทดสอบสมบัติการนำความร้อน

การทดสอบการนำความร้อน เพื่อนำค่าการนำความร้อนที่ได้จากการทดสอบของชิ้นงานวัสดุผสมเปรียบเทียบผลของตัวแปรแต่ละตัว และเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนกับวัสดุที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ มีผลการทดลองดังนี้

1. ทิศทางโครงสร้างชิ้นงานแนวแกน พบว่าที่ระยะเวลาในการเผาแช่ที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าการนำความร้อน จากการทดลองพบว่า ที่ระยะเวลาเผาแช่ที่ 1 ชั่วโมงมีค่าการนำความร้อนมากที่สุด ที่ 28.63 W/m-k

2. ทิศทางโครงสร้างชิ้นงานแนวรัศมี พบว่ามีค่าการนำความร้อนน้อยกว่าทิศทางโครงสร้างแนวแกน จากผลการทดลองพบว่าที่ระยะเวลาเผาแช่ที่ 2 และ3 ชั่วโมง มีค่าการนำความร้อนมากที่สุด ที่ 19.94 และ 19.67 W/m-k ตามลำดับ

3. เปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของวัสดุผสมที่ได้จากการสังเคราะห์และวัสดุในเชิงพาณิชย์ 3 ตัวอย่างได้แก่ คาร์บอน ซิลิกอนคาร์ไบด์ และอะลูมิเนียม A356 พบว่าค่าการนำความร้อนของวัสดุผสม จากการทดลองมีค่าการนำความร้อนใกล้เคียงกับค่าการนำความร้อนของคาร์บอน จากการศึกษาผลการวิเคราะห์แยกธาตุพบว่า ชิ้นงานวัสดุผสมจากการทดลองมีส่วนประกอบของธาตุ คาร์บอนอยู่ในชิ้นงานวัสดุผสมในปริมาณมาก จึงส่งผลต่อค่าการนำความร้อนของวัสดุผสมนี้

4.2.3. ผลการทดสอบสมบัติความสึกหรอ

การทดสอบสมบัติความสึกหรอได้แบ่งระยะเวลาการทดสอบ 4 ช่วงการทดสอบ ได้แก่ 3, 6, 9 และ 12 นาที เพื่อศึกษาผลของความสึกหรอในแต่ละช่วงเวลา โดยนำค่าความสึกหรอของชิ้นงานวัสดุผสม เปรียบเทียบผลแต่ละปัจจัย โดยทดสอบความสึกหรออะลูมิเนียม A356 ที่ได้จากการทดลองเพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิง ซึ่งมีผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบชิ้นงานโครงสร้างแนวแกน พบว่าความสึกหรอของชิ้นงานที่ระยะเวลาในการเผาแช่ที่ 2 และ 3 ชั่วโมงมีค่าใกล้เคียงกัน และชิ้นงานที่ระยะเวลาในการเผาแช่ที่ 1 ชั่วโมง มีค่าความสึกหรอต่ำที่สุด

2. ผลการทดสอบชิ้นงานโครงสร้างแนวรัศมี พบว่าความสึกหรอของชิ้นงานที่ระยะเวลาเผาแช่ที่ 1 ชั่วโมง มีค่าความสึกหรอต่ำที่สุด

3. เปรียบเทียบค่าความสึกหรอของวัสดุผสมที่ได้จากการสังเคราะห์กับอะลูมิเนียม A356 ที่ได้จากการทดลองพบว่าอะลูมิเนียมมีอัตราการสึกหรอมีค่าคงที่ ทุกช่วงระยะเวลาของการทดสอบ และมีค่าความสึกหรอที่ต่ำกว่าวัสดุผสมที่ได้จากการสังเคราะห์

4. วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานวัสดุผสม พบว่าชิ้นงานวัสดุผสมที่สังเคราะห์ได้จากไม้ยางพารา มีช่องว่างที่เกิดจากธรรมชาติของไม้ มีผลทำให้เกิดความไม่แข็งแรงของโครงสร้างภายใน เมื่อทำการทดสอบความสึกหรอ จึงแสดงผลให้เห็นว่าในแต่ละช่วงเวลาไม่มีความสำเสมอของอัตราการสึกหรอ เมื่อเทียบกับอะลูมิเนียม A356 ที่ได้จากการทดลอง

4.2.4. ผลการทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็งโดยด้วยเครื่องทดสอบ Rockwell และนำค่าได้แปลงเป็นหน่วย Brinell เพื่อที่จะสามารถนำค่าความแข็งจากการทดลองเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงพาณิชย์อื่นๆ ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

1. ผลการทดสอบชิ้นงานโครงสร้างแนวแกน พบว่าชิ้นงานมีค่าความแข็งประมาณ 141-146 HNB ซึ่งระยะเวลาในการเผาส่งผลกระทบต่อความแข็ง มีผลทำให้ชิ้นงานที่ระยะเวลาการเผาแช่ที่ 2 ชั่วโมง มีค่าความแข็งมากที่สุดที่ 146 HNB

2. ผลการทดสอบชิ้นงานโครงสร้างแนวรัศมี พบว่าชิ้นงานโครงสร้างแนวรัศมีมีค่าความแข็งน้อยกว่าชิ้นงานโครงสร้างแนวแกน และจากผลของระยะเวลาในการเผาแช่ที่แตกต่างกันพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการเผา ความแข็งของชิ้นงานวัสดุผสมมีค่าลดลง ค่าความแข็งของระยะเวลาเผาที่ 1 ชั่วโมงมีค่ามากที่สุด มีค่า 130 HBN

3.. เปรียบเทียบค่าความแข็งที่ได้จากวัสดุผสมที่ได้จากการทดลองกับอะลูมิเนียม A356 ที่ได้จาการทดลอง และอะลูมิเนียม A356 ในเชิงพาณิชย์ พบว่า วัสดุผสมนี้มีค่าความแข็งมากกว่าอะลูมิเนียมทั้ง 2 โดยอะลูมิเนียมมีค่าความแข็ง ที่ 96 และ 86 HNB ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างภายในซึ่งเสริมแรงด้วยอะลูมิเนียม A356 สามารถพัฒนาศักยภาพด้านความแข็งได้

4.2.5. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

พิจารณาผลของการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยศึกษาปัจจัย ชิ้นงานทิศทางโครงสร้างที่แตกต่างกันและระยะเวลาในการเผาแช่ ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

1. ข้อมูลที่ใช้ทำการวิเคราะห์ทางสถิติมีค่าเพียงพอ

2. ปัจจัยทิศทางโครงสร้างและระยะเวลาเผาแช่ที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าความแข็งของวัสดุ ผสมนี้ที่ระดับนัยสำคัญ($\alpha = 0.05$)

3. ค่าความแปรปรวนของค่าความแข็งเกิดขึ้นมากที่ระยะเวลาเผาแช่ที่ 2 ชั่วโมง

4. จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) แสดงให้เห็นในการทดลองมีปัจจัยที่ควบคุมได้ 93.63% และควบคุมไม่ได้ 6.37%

ผลจากการศึกษาสมบัติของวัสดุผสมที่ได้จากงานวิจัย สามารถประยุกต์วัสดุผสมนี้ ซึ่งมีลักษณะเป็นตัวต้านทานการนำความร้อนและตัวต้านทานการนำไฟฟ้า มี

ส่วนประกอบของคาร์บอนซึ่งเป็นตัวหล่อลื่น จึงประยุกต์ใช้กับงานทางด้านเครื่องจักรกล เช่น ตลับลูกปืนในอุตสาหกรรม เพื่อใช้เป็นตัวหล่อลื่นระหว่างผิวโลหะในเครื่องจักร และประยุกต์ใช้กันงานทางด้านไฟฟ้าและความร้อน เพื่อใช้เป็นฉนวนที่มีความแข็งแรงและคงรูป

4.3 ประโยชน์และข้อเสนอแนะ

1. ประโยชน์

สามารถสังเคราะห์วัสดุผสมจากวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งสามารถพัฒนาเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งและเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของวัสดุ ซึ่งคุณสมบัติต่างๆที่ได้จากวัสดุผสมนี้หากเปรียบกับวัสดุธรรมชาติในตอนต้นพบว่าคุณสมบัติต่างๆมีการพัฒนามากขึ้น ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้สามารถประยุกต์ใช้กับงานทางวิศวกรรมได้ ซึ่งวิธีต่างๆที่ใช้ในการสังเคราะห์ในงานวิจัยเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีทางวิทยาศาสตร์อื่นๆ

2. ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยพบว่าวัสดุที่ได้จากธรรมชาติมีความผันผวนและลักษณะที่แตกต่างกันภายในโครงสร้าง ซึ่งทำให้มีผลต่อการวิจัยในการหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อวัสดุผสม และควรศึกษาเพิ่มในส่วนการอัดสารละลายโซล-เจล ซึ่งส่งผลต่อปริมาณของซิลิกอนภายในวัสดุผสมนี้ให้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อคุณสมบัติต่างๆให้ดีขึ้นด้วย