บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ส่วนผสมระหว่าง ปริมาณทองแดง แกรไฟต์ และ อุณหภูมิการเผา

5.1.1 ผลของทองแดง แกรไฟต์ และ อุณหภูมิการเผา ที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกล

1) ผลกระทบของ ทองแดง แกรไฟต์ และ อุณหภูมิการเผา ที่มีต่อค่าความถ่วงจำเพาะของ ผงโลหะผสม ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ทั้ง ทองแดง แกรไฟต์ และ อุณหภูมิการเผา ส่งผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะของผงโลหะผสมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่า เมื่อปริมาณของทองแดง มีค่ามากขึ้น จะส่งผลให้ความถ่วงจำเพาะของผงโลหะผสม มีค่าเพิ่มขึ้น โดยสามารถอธิบายได้จาก ค่าความถ่วงจำเพาะของผงเหล็ก และ ผงทองแดง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.87 และ 8.96 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ค่าความถ่วงจำเพาะของผงเหล็ก มีค่าต่ำกว่าความถ่วงจำเพาะของทองแดง ทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะที่วัดได้จึงมีค่าเพิ่มขึ้น และ แกรไฟต์นั้นพบว่า เมื่อปริมาณของแกรไฟต์มีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะของผงโลหะผสมมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยที่สรุปไว้ใน หนังสือ Metals Handbook (1984) ส่วนอุณหภูมิการเผา พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้อนุภาคมีการเชื่อมประสานดีขึ้น ทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของผงโลหะผสมมีค่าเพิ่มขึ้น

2) ผลกระทบของ ทองแดง แกรไฟต์ และ อุณหภูมิการเผา ที่มีต่อค่าการเปลี่ยนแปลงขนาดของผงโลหะผสม ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ทั้งทองแดง แกรไฟต์ และ อุณหภูมิการเผา ส่งผล ต่อ ค่าการเปลี่ยนแปลงขนาดของผงโลหะผสมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่า เมื่อปริมาณทองแดง มีค่ามากขึ้น จะส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงขนาดของผงโลหะผสม มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก ในระหว่างการเผา เกิดกระบวนการที่ทองแดงซึมแพร่ (diffusion) เข้าไปในผงเหล็ก ทำให้อนุภาคเกิดเกรนโต ส่งผลให้ผงโลหะผสมมีการขยายตัวมากขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงขนาดที่วัดได้จึงมีค่าเพิ่มขึ้น และ แกรไฟต์นั้นพบว่า เมื่อปริมาณของแกรไฟต์มีค่ามากขึ้น โดยจะทำการยับยั้งการซึมแพร่ (diffusion) ของทองแดงและลดการเกิดเกรนโต ทำให้การขยาย

ตัวของผงเหล็กลดลง ส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงขนาดของผงโลหะผสมมีค่าลดลง ส่วนอุณหภูมิการเผา พบว่าเมื่อ อุณหภูมิสูงขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงขนาดของผงโลหะผสมก็มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิการเผาต่ำ ยังอยู่ในช่วงของการจัดเรียงตัวและการซึมแพร่ ทำให้เกิดการหดตัวของชิ้นทดสอบ เมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ทำให้เกิดเกรนโตมากขึ้น ส่งผลให้ผงโลหะผสมมีการขยายตัวมากขึ้น

3) ผลกระทบของ ทองแดง แกรไฟต์ และ อุณหภูมิการเผา ที่มีต่อค่าแรงดัดชนิด 2 แกน ของผงโลหะผสม ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ทั้ง ทองแดง แกรไฟต์ และ อุณหภูมิการเผา จะส่งต่อ ค่าแรงดัดชนิด 2 แกนของผงโลหะผสมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่า เมื่อปริมาณของทองแดง มีมากขึ้น ตั้งแต่ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ถึง 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าแรงดัดชนิด 2 แกน ของผงโลหะผสมจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจาก ปริมาณของทองแดง ที่ใส่ลงไปในผงโลหะผสม เป็นโลหะที่ใช้ในช่วยการเชื่อมประสานระหว่างอนุภาคของเหล็ก ส่งผลให้ชิ้นส่วนผงโลหะผสมมีความแข็งแรงดีขึ้น และเมื่อปริมาณของ ทองแดง มีค่าอยู่ในระหว่าง 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ถึง 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าแรงดัดชนิด 2 แกน ของผงโลหะผสมนั้น มีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะ ทองแดงที่เกินจากปริมาณ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นปริมาณที่เกินจากการเชื่อมประสาน ได้มีการแยกตัวออกมา กลายเป็นทองแดงอิสระ มีผลค่าแรงดัดชนิด 2 แกน มีค่าลดลง สำหรับ แกรไฟต์ นั้น ส่งผลต่อค่าแรงดัดชนิด 2 แกน อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่า เมื่อปริมาณแกรไฟต์ มีค่ามากขึ้น ตั้งแต่ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ถึง 0.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าแรงดัดชนิด 2 แกน ของผงโลหะผสมจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก แกรไฟต์ ที่ใส่ลงไปในผงโลหะผสม ทำให้ผงเหล็ก เกิดโครงสร้างเฟอร์ไรต์และโครงสร้างเพอร์ไลต์ เมื่อปริมาณ แกรไฟต์เพิ่มขึ้น โครงสร้างเพอร์ไลต์ก็จะเพิ่มขึ้น ในขณะที่โครงสร้างเฟอร์ไรต์จะลดลง ทำให้สามารถรับแรงดัดชนิด 2 แกนได้เพิ่มขึ้น จนเมื่อถึงปริมาณ แกรไฟต์ ประมาณ 0.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โครงสร้างเพอร์ไลต์จะมากที่สุด แต่เมื่อปริมาณแกรไฟต์ เกินกว่า 0.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้เกิดโครงสร้างของซีเมนไทน์ แทนที่โครงสร้างของเฟอร์ไรต์ ทำให้ค่าแรงดัดชนิด 2 แกนมีค่าลดลง ส่วน อุณหภูมิการเผา สามารถสรุปได้ว่า เมื่อ อุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ทำให้การซึมแพร่ (diffusion) ดีขึ้น ทำให้อนุภาคมีการเชื่อมประสานดีขึ้น จะส่งผลให้ค่าแรงดัดชนิด 2 แกน ของผงโลหะผสมมีค่าเพิ่มขึ้น

4) ผลกระทบของ ทองแดง แกรไฟต์ และ อุณหภูมิการเผา ที่มีต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ของผงโลหะผสม ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ทั้ง ทองแดง แกรไฟต์ และ อุณหภูมิการเผา จะส่งต่อ ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของผงโลหะผสมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่า เมื่อปริมาณของทองแดง มีมากขึ้น ตั้งแต่ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ถึง 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของผงโลหะผสมจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจาก ทองแดง ที่ใส่ลงไปในผงโลหะผสม เป็นโลหะที่ใช้ในการช่วยเชื่อมประสานระหว่างอนุภาคของเหล็ก ส่งผลให้ชิ้นส่วนผงโลหะผสมมีความยืดหยุ่นดีขึ้น และเมื่อปริมาณของทองแดง มีค่าอยู่ในระหว่าง 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ถึง 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของผงโลหะผสม มีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะทองแดงที่เกินจากปริมาณ 6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นปริมาณที่เกินจากการเชื่อมประสาน ได้แยกตัวออกมา กลายเป็นทองแดงอิสระ สำหรับ แกรไฟต์ เมื่อปริมาณมีค่ามากขึ้น ตั้งแต่ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ถึง 0.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ของผงโลหะผสมจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจาก แกรไฟต์ ที่ใส่ลงไปในผงโลหะผสม ทำให้ผงเหล็ก เกิดโครงสร้างเฟอร์ไรต์และโครงสร้างเพอร์ไลต์ เมื่อปริมาณ แกรไฟต์เพิ่มขึ้น โครงสร้างเพอร์ไลต์ก็จะเพิ่มขึ้น ในขณะที่โครงสร้างเฟอร์ไรต์จะลดลง ทำให้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นได้เพิ่มขึ้น จนเมื่อถึงปริมาณ แกรไฟต์ ประมาณ 0.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โครงสร้างเพอร์ไลต์จะมากที่สุด แต่เมื่อปริมาณแกรไฟต์ เกินกว่า 0.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้เกิดโครงสร้างของซีเมนไทน์ แทนที่โครงสร้างของเฟอร์ไรต์ ทำให้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมีค่าลดลง ส่วนอุณหภูมิการเผา สามารถสรุปได้ว่า เมื่อ อุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ทำให้การซึมแพร่ (diffusion) ดีขึ้น ทำให้อนุภาคมีการเชื่อมประสานดีขึ้น จะส่งผลให้โมดูลัสความยืดหยุ่นของผงโลหะผสมมีค่าเพิ่มขึ้น

5) ผลกระทบของ ทองแดง แกรไฟต์ และ อุณหภูมิการเผา ที่มีต่อค่า ความแข็งของผงโลหะผสม ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ทั้ง ทองแดง แกรไฟต์ และ อุณหภูมิการเผา ส่งต่อค่าความแข็งของ ผงโลหะผสมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่าเมื่อปริมาณการใช้ ทองแดง มีค่ามากขึ้น จะส่งผลให้ความแข็ง ของผงโลหะผสม มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยที่สรุปไว้ใน หนังสือ Metals Handbook (1984) ทั้งนี้เนื่องจาก ทองแดง ได้ส่งผลให้ผงโลหะผสมมีการเชื่อมประสานกันมากขึ้น ค่าความแข็งที่วัดได้จึงมีค่าเพิ่มขึ้น และ แกรไฟต์นั้นพบว่า เมื่อปริมาณของแกรไฟต์มีค่ามากขึ้น ทำให้เกิดโครงสร้างซีเมนไทน์ที่มีความแข็งเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งของผงโลหะผสมมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนอุณหภูมิการเผา พบว่าเมื่อ อุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้อนุภาคมีการเชื่อมประสานดีขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งของผงโลหะผสมก็มีค่าเพิ่มขึ้น

5.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติแรงดัดชนิด 2 แกน กับ แรงดัดชนิด 3 จุด

จากผลการทดสอบค่าแรงดัดชนิด 2 แกน มาทำการเปรียบเทียบกับ กับค่าแรงดัดชนิด 3 จุด จากหนังสือ Metals Handbook (1984) ดังแสดงใน ตารางที่ 5.1 โดยผลการเปรียบเทียบค่าแรงดัดทั้งดังกล่าว มีดังนี้ คือ เมื่อปริมาณของทองแดงและปริมาณของแกรไฟต์มีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าแรงดัดชนิด 2 แกนที่ได้จากการทดสอบ และ ค่าแรงดัดชนิด 3 จุด มีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่า ค่าแรงดัดชนิด 2 แกน กับค่าแรงดัดชนิด 3 จุด มีความสัมพันธ์กัน โดยมีแนวโน้มไปในทางบวก

5.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล กับ ส่วนผสมของทองแดง แกรไฟต์ และ อุณหภูมิการเผา

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกล ซึ่งได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ การเปลี่ยนขนาด แรงดัดชนิด 2 แกน โมดูลัสความยืดหยุ่น และ ความแข็ง ของผงโลหะผสมแล้ว ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ส่วนผสมของ ทองแดง แกรไฟต์ และ อุณหภูมิการเผานั้น มีความสัมพันธ์กับค่าคุณสมบัติทางกายภาพ และ คุณสมบัติเชิงกลของผงโลหะผสมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเพื่อหารูปแบบที่แน่นอนของความสัมพันธ์ดังกล่าวในเชิงปริมาณ จึงใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล (regression analysis) ในการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติ กับ ส่วนผสมของ ทองแดง แกรไฟต์ และ อุณหภูมิในการเผา ซึ่งสามารถประมาณรูปแบบของความสัมพันธ์เป็นรูปแบบใดก็ได้ แต่สำหรับงานในวิจัยนี้ ได้ประมาณรูปแบบของความสัมพันธ์เป็นโพลีโนเมียล ดีกรี 2

เนื่องจากความยาวของสมการความสัมพันธ์ในรูปแบบโพลีโนเมียล ดีกรี 2 ทำให้เกิดความยุ่งยากในการนำไปใช้ ดังนั้นจึงทำการลดจำนวนของตัวแปรที่ปรากฏอยู่ในสมการลง โดยการตัดตัวแปรที่ไม่มีความจำเป็นต่อการทำนายค่าคุณสมบัติออกจากสมการ สำหรับงานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้วิธี stepwise (the stepwise procedure) เป็นวิธีการในการเลือกตัวแปรนำเข้า และใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ชื่อ SPSS ช่วยในการวิเคราะห์ โดยจะพิจารณาตัวแปรนำเข้าตัวแรกจากค่า r (หรือ r^2) ของตัวแปรที่มีค่าสูงสุดก่อน แล้วจึงพิจารณาเลือกตัวแปรนำเข้าตัวต่อไป จากค่า F (F Value) ที่สูงที่สุด และจะมีการตัดตัวแปรที่พบว่าไม่มีนัยสำคัญ ออกจากสมการ จนกระทั่งเหลือเฉพาะตัวแปรที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.10

ผลที่ได้จากการหารูปแบบของความสัมพันธ์ด้วยวิธีการดังกล่าว ได้ผลปรากฏดังแสดงในตารางสรุปสมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกล กับส่วนผสมของ ทองแดง แกรไฟต์ และอุณหภูมิการเผา จากตาราง 4.63 จะเห็นได้ว่าสมการทั้งหมดให้ค่าสัมประสิทธิ์ ของการคำนวณ หรือ ค่า R^2 มีค่าสูงกว่า 0.80 ซึ่งค่าที่ยอมรับได้ในทางด้านอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนทั่วไป รวมทั้ง ชิ้นส่วนผงโลหะผสม โดยใช้สมการที่หามาได้นี้ ในการทำนายค่าคุณสมบัติต่างๆของผงโลหะผสม

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของผงโลหะผสม

การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย โดยการประมาณรูปแบบของความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรง และโพลีโนเมียลดีกรี2 ได้ผลสรุปของสมการดังแสดงในตารางที่ 4.64 ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้ดังกล่าวนี้ ไม่ได้เป็นการแสดงถึงว่า คุณสมบัติทั้งสองจะมีความสัมพันธ์กันในรูปแบบใด รูปแบบหนึ่ง หรือ ไม่มีความสัมพันธ์กันเลยแต่อย่างใด สำหรับในงานวิจัยนี้ ผลที่ได้เป็นแต่เพียงการบ่งบอกถึงลักษณะของแนวโน้มที่อาจเกิดขึ้นจากความสัมพันธ์กันระหว่างคุณสมบัติคู่หนึ่งคู่ใดเท่านั้น

ตารางที่ 5:1 ผลการเปรียบเทียบของค่าแรงดัดชนิด 2 แกน และ ค่าแรงดัดชนิด 3 จุด ที่อุณหภูมิการเผา 1120 องศาเซลเซียส

ส่วนผสมที่	ทองแดง (%โดยน้ำหนัก)	แกรไฟต์ (%โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิการเผา (องศาเซลเซียส)	แรงดัดชนิด 2 แกน (นิวตัน ต่อ ตร.มม.)	แรงดัดชนิด 3 จุด* (นิวตัน ต่อ ตร.มม.)
1	0	0	1120	215.02	463
2	2	0	1120	293.58	532
3	4	0	1120	320.05	569
4	6	0	1120	329.73	578
5	8	0	1120	334.08	582
6	10	0	1120	324.51	576
7	0	0.4	1120	288.84	540
8	2	0.4	1120	412.38	671
9	4	0.4	1120	502.86	771
10	6	0.4	1120	532.44	807
11	8	0.4	1120	488.07	764
12	10	0.4	1120	475.89	742
13	0	0.8	1120	446.31	722
14	2	0.8	1120	578.55	871
15	4	0.8	1120	622.92	967
16	6	0.8	1120	656.15	918
17	8	0.8	1120	564.26	838
18	10	0.8	1120	512.43	791
19	0	1.2	1120	435.47	761
20	2	1.2	1120	499.38	784
21	4	1.2	1120	514.17	789
22	6	1.2	1120	500.25	769
23	8	1.2	1120	487.72	751
24	10	1.2	1120	460.23	726

หมายเหตุ : ได้จากการประมาณ รูปกราฟในภาคผนวก จ