

อิทธิพลของธาตุผสมและอุณหภูมิที่ใช้ออบ ต่อคุณสมบัติทางกลของโลหะผงเหล็กกล้าอัดขึ้นรูป

Influences of Element Content and Sintering Temperature on Mechanical Properties of Sintered Steels

ศุภชัย สุรพันธ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121

โยชิฮารุ มูโต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีนาโงะ นางาโอกะ 940-2188 ญี่ปุ่น

บทคัดย่อ

ทำการทดสอบแรงดึงและความต้านความล้าของชิ้นงานโลหะผงเหล็กผสมทองแดงอัดขึ้นรูป 3 ชนิด (Fe-0.6%C-1.7%Cu, Fe-0.8%C-2.1%Cu และ Fe-1.2%C-0.01%Cu) ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิในช่วงระหว่าง 900 ถึง 1200 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาอิทธิพลของธาตุผสมและอุณหภูมิที่ใช้ออบต่อคุณสมบัติทางกล ผลจากการทดลองพบว่า การอบที่อุณหภูมิสูงกว่า 1100 องศาเซลเซียส เหล็กกล้าผสมที่มีองค์ประกอบ Fe-0.8%C-2.1%Cu มีความหนาแน่น ความต้านแรงดึง อัตราการยืดตัวและ ความต้านความล้ามากกว่าเหล็กกล้าผสมอีก 2 ชนิด เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนที่เหมาะสมทำให้เกิดเฟสส่วนใหญ่เป็นเฟสเพิร์ลไลท์และมีโลหะทองแดงผสมในปริมาณที่มากกว่าเหล็กกล้าผสมชนิดอื่น ในขณะที่อบโลหะทองแดงอยู่ในสภาวะหลอมเหลวและมีสภาวะเป็นสารละลายของแข็งในเนื้อเหล็กทำให้มีความหนาแน่นมากขึ้น เหล็กกล้าผสม Fe-1.2%C-0.01%Cu เป็นเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนมากและปริมาณทองแดงน้อย ทำให้มีค่าความหนาแน่น อัตราการยืดตัว และความต้านความล้าต่ำ ขณะที่ค่าความต้านแรงดึงอยู่ในช่วงระหว่างค่าของโลหะผสมอีก 2 ชนิด ทั้งนี้เนื่องจากมีคาร์บอนปริมาณมาก ทำให้เกิดเฟสส่วนใหญ่เป็นเฟสซีเมนไทต์ที่เปราะ และมีทองแดงปริมาณน้อย ทำให้เกิดรูพรุนในลักษณะปลายแหลม การอบที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ทำให้เกรนมีขนาดใหญ่มากขึ้นทำให้ความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้นไม่มาก ภาพแสดงรอยแตกที่ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แสดงให้เห็นการเริ่มเกิดรอยร้าวที่รูพรุนในเนื้อชิ้นงานและขยายตัวตามขอบอนุภาคโลหะ ไปสู่การแตกหัก

คำสำคัญ : ความหนาแน่น ความต้านแรงดึง ความต้านความล้า โลหะผงเหล็กกล้าอัดขึ้นรูป อุณหภูมิที่ใช้ออบ ทองแดงผสม

Abstract

Tensile and fatigue tests of three compositions of steels, Fe-0.6%C-1.7%Cu, Fe-0.8%C-2.1%Cu and Fe-1.2%C-0.01%Cu sintered at wide range of temperatures from 900°C to 1200°C were carried out to investigate effects of element content and sintering temperature. When sintering temperature was higher than 1100°C, Fe-0.8%C-2.1%Cu steel exhibited higher density, tensile strength, elongation and fatigue strength compared to the other two steels because of proper amount of C content resulting in matrix pearlite phase and higher Cu content compared to the other steels. While it

was sintered at this temperature, Cu contributed to liquid sintering process and also to high density. Fe-1.2%C-0.01%Cu steel with high C content and low Cu content showed the lowest density, elongation and fatigue strength, while tensile strength was in between other two steels. The high C content will contribute to high tensile strength, while it will degrade elongation and fatigue strength due to formation of brittle martensite matrix phase and sharp pores. When the sintering temperature was at 1200°C, grain growth was occurred and resulted in slightly increase in tensile strength. The fracture surface investigated by a scanning electron microscope showed fatigue cracks nucleated at pores in side the specimen and propagated along the particle boundaries to final fracture.

Keywords: Density, Tensile strength, Fatigue strength, Sintered steel, Sintering temperature, Cu content

1. บทนำ

โลหะผงเหล็กผสมทองแดงที่มีคาร์บอนอยู่ในช่วงระหว่าง 0.3 ถึง 1 เปอร์เซนต์ และมีทองแดงอยู่ในช่วงระหว่าง 0.5 ถึง 2 เปอร์เซนต์ เป็นโลหะผงเหล็กพื้นฐานที่สำคัญและใช้มากในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยกรรมวิธีโลหะผงอัดขึ้นรูป และอบที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้เกิดความแข็งแรง[1] ความแข็งแรงของชิ้นงานเกิดขึ้นจากปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ลักษณะและขนาดของอนุภาคโลหะ ความหนาแน่นของชิ้นงานที่ผ่านการอัดขึ้นรูป อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงาน และอัตราเร็วในการเย็นตัวของชิ้นงาน[2-5] เทคโนโลยีการผลิตโลหะผงอัดขึ้นรูปมีข้อได้เปรียบหลายประการ เช่น สามารถผลิตชิ้นงานได้อย่างรวดเร็ว ชิ้นงานที่ผลิตได้มีลักษณะใกล้เคียงกับชิ้นงานที่ต้องการ จึงสามารถลดกระบวนการผลิตบางขั้นตอนลงได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิมซึ่งได้แก่ การหล่อโลหะ การตีขึ้นรูป การตัดและกลึงขึ้นรูป ข้อได้เปรียบที่สำคัญอีกประการหนึ่งสำหรับเทคโนโลยีโลหะผงอัดขึ้นรูปคือสามารถผลิตวัสดุชนิดใหม่ที่มีองค์ประกอบเฉพาะ ซึ่งไม่สามารถผลิตได้โดยกรรมวิธีการหลอมโลหะ[2] โลหะผงอัดขึ้นรูปมีความแข็งแรงและความเหนียวน้อยกว่าโลหะที่ผ่านการหลอมเนื่องจากมีความหนาแน่นน้อยกว่า[3-5] อย่างไรก็ตามชิ้นงานโลหะผงอัดขึ้นรูปยังคงต้องการพัฒนาให้มีความแข็งแรง ความเหนียว และทนต่อการสึกหรอ ดังนั้นการศึกษาสถานะต่างๆของการอบจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญ จากข้อมูลการทดลองที่ผ่านมาได้มีการศึกษาสถานะของการอบในช่วงอุณหภูมิที่แคบ สำหรับการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม[5-11] ในการทดลองครั้งนี้จึงได้ศึกษาอิทธิพลของปริมาณ

ธาตุผสมและสถานะของการอบในช่วงอุณหภูมิที่กว้างมากขึ้น เพื่อให้ทราบถึงเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการผลิตชิ้นงานและเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดจากการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยกรรมวิธีโลหะผงอัดขึ้นรูป

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมชิ้นงาน

โลหะผงเหล็กที่ใช้ในการทดลองมีองค์ประกอบแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ 1) โลหะผงเหล็กที่มีคาร์บอนร้อยละ 0.6 และทองแดงร้อยละ 1.7 (Fe-0.6%C-1.7%Cu) 2) โลหะผงเหล็กที่มีคาร์บอนร้อยละ 0.8 และทองแดงร้อยละ 2.1 (Fe-0.8%C-2.1%Cu) และ 3) โลหะผงเหล็กที่มีคาร์บอนร้อยละ 1.2 และทองแดงร้อยละ 0.01 (Fe-1.2%C-0.01%Cu) นำโลหะผงอัดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบมีลักษณะเป็นแท่งยาว มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 10.5x10.5x56 มิลลิเมตร ทำการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดโลหะผงที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต ที่โรงงานผลิตชิ้นส่วนโลหะผงอัดขึ้นรูป โดยใช้แบบที่มีการเคลื่อนที่ 2 ทิศทาง เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความหนาแน่น 6.4 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน โดยกำหนดน้ำหนักของชิ้นงาน 37.4 กรัม

นำชิ้นงานแท่งสี่เหลี่ยมที่ได้จากการอัดขึ้นรูปไปอบที่

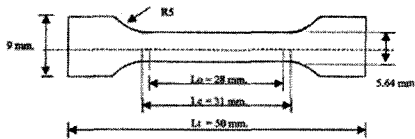
อุณหภูมิ 900, 1000, 1100, 1150 และ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ความคุมบรรยากาศภายในเตาด้วยก๊าซอาร์กอนเพื่อป้องกันการเกิดออกไซด์ และปล่อยให้เย็นตัวใน

บรรยากาศของก๊าซอาร์กอนลงมาที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาเก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศเพื่อใช้ในการทดสอบต่อไป

ชิ้นงานที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิต่างๆ นำมาวัดค่าความแข็งโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแบบรีคเวล (Rockwell) วัดค่าความหนาแน่นของชิ้นงานโดยกรรมวิธีอาร์คิมิดีส(Archimedes Method) และทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง เพื่อที่จะอธิบายถึงกลไกที่ทำให้คุณสมบัติทางกลเปลี่ยนไป

2.2 การทดสอบแรงดึงและความล้า

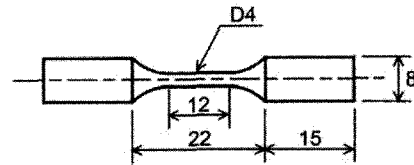
นำชิ้นงานแท่งสี่เหลี่ยมที่ผ่านการอบแล้วไปกลึงขึ้นรูปเป็นชิ้นงานมาตรฐานสำหรับทดสอบแรงดึง มีช่วงความยาวส่วนยึด(Gage length) 28 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางช่วงส่วนยึด 5.6 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 ก่อนทำการทดสอบขัดผิวชิ้นงานให้เรียบเพื่อป้องกันการแตกหักเนื่องจากรอยที่เกิดจากการกลึงขึ้นรูป ทำการทดสอบแรงดึง โดยการดึงชิ้นงานด้วยอัตราเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อวินาที



รูปที่ 1 แสดงขนาดของชิ้นงานมาตรฐานสำหรับการทดสอบแรงดึง

การทดสอบความล้า ใช้ชิ้นงานโลหะผงเหล็กอัดขึ้นรูปเป็นแท่งสี่เหลี่ยม อบที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ควบคุมบรรยากาศภายในเตาด้วยก๊าซอาร์กอน นำชิ้นงานที่ได้มากลึงขึ้นรูปเป็นชิ้นงานมาตรฐานสำหรับทดสอบความล้า ดังแสดงในรูปที่ 2 ก่อนการทดสอบชิ้นงานทำการขัดผิวละเอียดอีกครั้งด้วยกระดาษทรายละเอียดและตรวจสอบจนไม่มีรอยขีดที่

เกิดขึ้นบนชิ้นงาน ทำการทดสอบความล้าด้วยค่าความถี่ 30 รอบต่อวินาที ที่สัดส่วนความเค้น -1 ตรวจสอบรอยแตกที่ผิวของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



รูปที่ 2 แสดงขนาดของชิ้นงานมาตรฐานสำหรับการทดสอบความล้า

3. ผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ความหนาแน่น ความแข็ง และโครงสร้างจุลภาค

ค่าความหนาแน่น และค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปที่มีองค์ประกอบ Fe-0.8%C-2.1%Cu ซึ่งเป็นเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนและทองแดงปริมาณมาก มีค่าความหนาแน่นและความแข็งมากที่สุด เหล็กกล้า Fe-0.6%C-1.7%Cu มีค่าความหนาแน่นมากกว่า เหล็กกล้าชนิด Fe-1.2%C-0.01%Cu ซึ่งมีทองแดงในปริมาณที่น้อยกว่า ผลของการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าโลหะทองแดงที่เติมในโลหะผงเหล็กกล้า ทำให้ความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการอบที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของทองแดง ทำให้ทองแดงอยู่ในสภาวะหลอมเหลว ละลายในเหล็กในลักษณะสารละลายของแข็ง เหล็กกล้าชนิด Fe-1.2%C-0.01%Cu มีปริมาณคาร์บอนมาก ทำให้มีค่าความแข็งมากขึ้นเนื่องจากเกิดเฟสซีเมนไทท์(Cementite) ในขณะที่ค่าความหนาแน่นต่ำกว่าเหล็กกล้าอีก 2 ชนิด

ตารางที่ 1 ค่าความหนาแน่น ความแข็ง เฟส ความต้านแรงดึง และความเหนียว(อัตราการยืดตัว) ของโลหะผสมเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปทั้ง 3 ชนิดที่อุณหภูมิ 900 ถึง 1200 องศาเซลเซียส

ชนิดโลหะผสมเหล็กกล้าอัดขึ้นรูป	อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่น (Mg/m ³)	ความแข็ง (HRB)	เฟส	ความต้านแรงดึง (MPa)	ความเหนียว %
Fe-0.6%C-1.7%Cu	900	6.6	48.8	F+P+Cu	180	2.5
	1000	6.74	53.2	F+P+Cu	246	2.9
	1100	6.83	62.5	F+P	284	3.6
	1150	6.92	65.1	F+P	302	3.6
	1200	6.96	65.6	F+P	308	3.6
Fe-0.8%C-2.1%Cu	900	6.7	56.0	F+P+Cu	219	2.7
	1000	6.87	63.5	F+P+Cu	318	3.2
	1100	7.05	78.3	P	386	3.8
	1150	7.10	86.2	P	392	3.7
	1200	7.13	87.7	P	390	3.7
Fe-1.2%C-0.01%Cu	900	6.18	51.6	F+P+Cu	207	2.0
	1000	6.39	63.7	F+P+Cu	285	2.5
	1100	6.75	76.5	P+Cem	318	3.2
	1150	6.78	82.7	P+Cem	354	3.3
	1200	6.81	85.3	P+Cem	365	3.1

F: เฟอร์ไรต์(Ferrite)

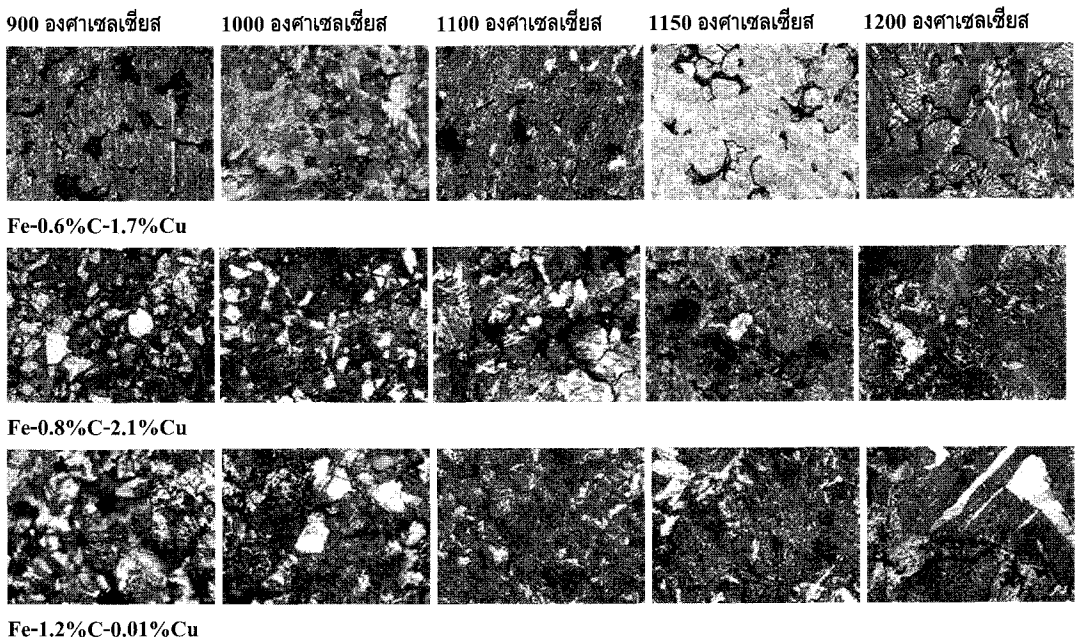
P: เพียร์ไรต์(Pearlite)

Cu: โลหะทองแดง(Copper metal)

Cem: ซีเมนต์ไท์(Cementite)

โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปทั้ง 3 ชนิด ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิในช่วง 900 ถึง 1200 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 3 เหล็กกล้าทั้ง 3 ชนิด ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000 องศาเซลเซียส ประกอบด้วยเฟสชนิดเดียวกัน 3 เฟส คือ เพียร์ไรต์(Pearlite) เฟอร์ไรต์(Ferrite) และ ทองแดง โดยมีสัดส่วนของเฟสและรูพรุนในปริมาณที่แตกต่างกัน ในกรณีที่อุณหภูมิการอบสูงกว่า 1100 องศาเซลเซียส เหล็กกล้าชนิด Fe-0.6%C-1.7% Cu ประกอบด้วยเฟสของเพียร์ไรต์เป็นส่วนใหญ่และมีเฟสเฟอร์ไรต์เล็กน้อย เหล็กกล้าชนิด Fe-0.8%

C-2.1%Cu ประกอบด้วยเฟสของเพียร์ไรต์อย่างเดียว และเหล็กกล้าชนิด Fe-1.2%C-0.01%Cu ประกอบด้วยเฟสของเพียร์ไรต์เป็นส่วนใหญ่และมีเฟสของซีเมนต์ไท์เล็กน้อย การอบที่อุณหภูมิสูงกว่า 1100 องศาเซลเซียส ทองแดงละลายในเหล็กและอยู่ในสภาวะสารละลายของแข็ง เมื่ออุณหภูมิของการอบสูงที่ 1200 องศาเซลเซียส เกรนของเพียร์ไรต์จะมีขนาดใหญ่มากขึ้นเมื่อเทียบกับการอบที่อุณหภูมิต่ำกว่า



รูปที่ 3 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปทั้ง 3 ชนิด อบที่อุณหภูมิ 900, 1000, 1100, 1150 และ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กำลังขยายภาพ 500 เท่า

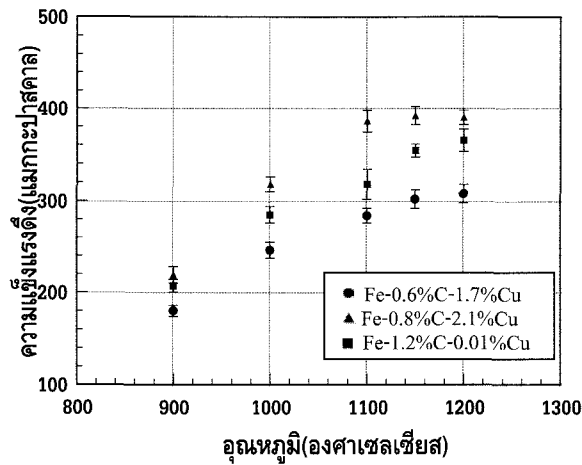
จากผลการทดลองที่ผ่านมา สามารถที่จะสรุปได้ว่า (1) ปริมาณทองแดงที่ผสมอยู่ในเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปมากขึ้น จะทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้น มีรูพรุนน้อยลง (2) ปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่ในเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปมากขึ้น จะทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น และ (3) การอบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000 องศาเซลเซียส ทำให้ทองแดงอยู่ในสภาวะเป็นโลหะในโครงสร้างจุลภาค

3.2 การทดสอบแรงดึง

ความสัมพันธ์ ระหว่างค่าความต้านแรงดึงกับอุณหภูมิของการอบ สำหรับโลหะผสมเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปทั้ง 3 ชนิด แสดงในรูปที่ 4 ถ้าไม่พิจารณาองค์ประกอบทางเคมี ความแข็งแรงของชิ้นงานเพิ่มขึ้นเมื่อทำการอบชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งค่าความแข็งแรงของชิ้นงานเพิ่มขึ้นมากเมื่ออบในช่วงอุณหภูมิ 900 ถึง 1000 องศาเซลเซียส และค่าความแข็งแรงของชิ้นงานมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย หรือเกือบคงที่ เมื่ออบชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงกว่า 1100 องศาเซลเซียส การกระจายของข้อมูลแสดงในรูปที่ 4 การกระจายข้อมูลของเหล็กกล้าชนิด Fe-1.2%C-0.02%Cu มี

ค่ามากกว่าของเหล็กกล้าชนิดอื่นๆ เนื่องจากเป็นเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าและมีรูพรุนมาก ซึ่งเป็นผลจากการที่มีทองแดงผสมปริมาณเล็กน้อย

ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงและอัตราการยืดตัวแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปชนิด Fe-0.8%C-2.1%Cu มีค่าความแข็งแรงสูงสุดและค่าอัตราการยืดตัวสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปชนิดอื่นๆ ค่าความแข็งแรงของเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปชนิด Fe-0.6%C-1.7%Cu มีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปชนิด Fe-0.8%C-2.1%Cu เนื่องจากมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าและมีเฟสเฟอร์ไรต์ที่เหนียวแต่ในทางกลับกันค่าอัตราการยืดตัวจะสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงของเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปชนิด Fe-1.2%C-0.02%Cu มีค่าอยู่ระหว่างเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปทั้ง 2 ชนิด ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการสมดุลกันระหว่างการมีค่าความหนาแน่นที่ต่ำและเฟสซีเมนไทต์ที่แข็ง ซึ่งทั้ง 2 ปัจจัยนี้ทำให้เหล็กกล้าอัดขึ้นรูปชนิดนี้มีอัตราการยืดตัวน้อยที่สุด



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านแรงดึงและอุณหภูมิอบชิ้นงาน สำหรับโลหะผงเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปทั้ง 3 ชนิด

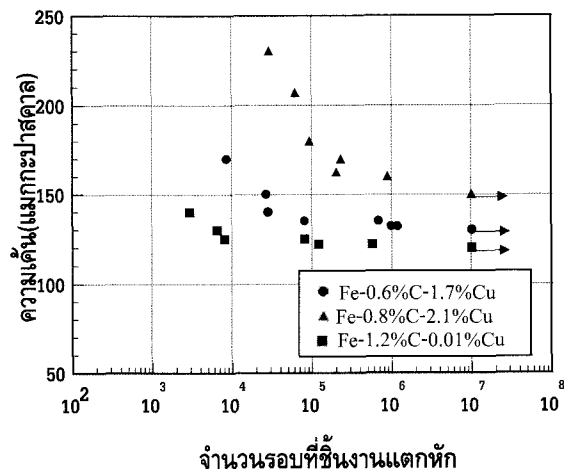
3.3 การทดสอบความล้า

จากการทดสอบความต้านความล้า ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของความเค้นและจำนวนรอบที่ทำให้ชิ้นงานแตกหัก ของชิ้นงานทดสอบทั้ง 3 ชนิด แสดงในรูปที่ 5 เครื่องหมายลูกศรแสดงถึงชิ้นงานที่ทนต่อการแตกหักที่จำนวนรอบ 10^7 รอบ ค่าของความเค้นที่ทนต่อการแตกหัก มีค่า 130, 150 และ 120 แมกกะปาสคาล สำหรับชิ้นงาน Fe-0.6%C-1.7%Cu, Fe-0.8%C-2.1%Cu และ Fe-1.2%C-0.02%Cu ตามลำดับ การเปรียบเทียบผลการทดสอบแรงดึงและการทดสอบความล้า แสดงในตารางที่ 2 ค่าของสัดส่วนค่าความต้านความล้าต่อค่าความต้านแรงดึง (σ_w/σ_B) ของโลหะผงเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปชนิด Fe-0.6%C-

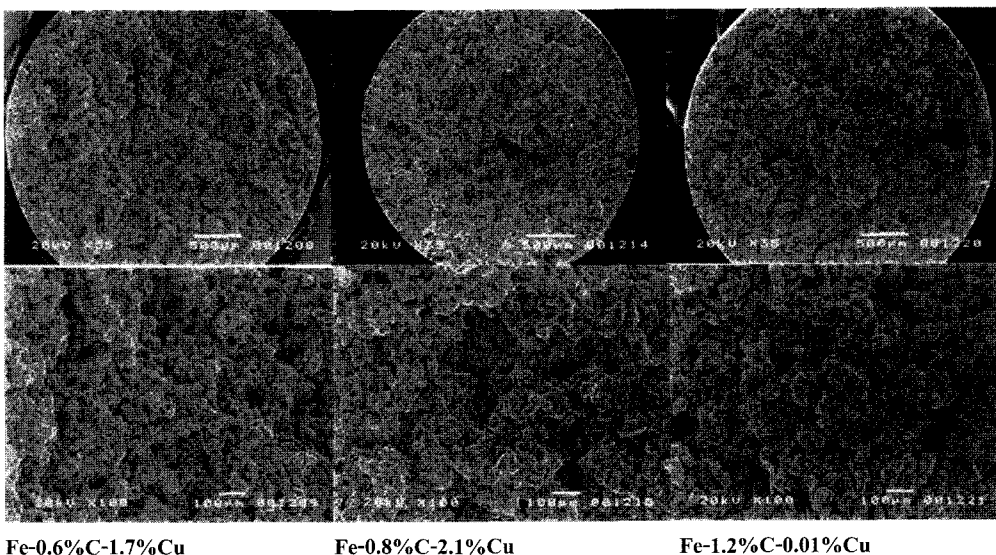
1.7%Cu มีค่าสูงสุด อาจเนื่องมาจากประกอบด้วยเฟสเฟอไรท์ที่เหนียว ในทางตรงข้ามค่าความเค้นที่ทนต่อการแตกหักของโลหะผงเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปชนิด Fe-1.2%C-0.02%Cu มีค่าต่ำสุด เนื่องจากประกอบด้วยรูพรุนเป็นจำนวนมากและมีความหนาแน่นต่ำ ตัวอย่างภาพรอยแตกที่ผิวของชิ้นงานโลหะผงเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปทั้ง 3 ชนิด ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แสดงในรูปที่ 6 จากภาพถ่าย แสดงให้เห็นการเริ่มต้นเกิดรอยร้าวที่รูพรุนในเนื้อชิ้นงาน และขยายตัวไปตามขอบของอนุภาคโลหะผงไปสู่การแตกหัก ลักษณะรอยแตกของชิ้นงานโลหะผงอัดขึ้นรูปทั้ง 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 2 ค่าความต้านแรงดึง(σ_B) ความต้านความล้า(σ_w) สัดส่วน σ_w/σ_B ความหนาแน่น และอัตราการยืดตัวของโลหะผงเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปทั้ง 3 ชนิด

ชนิดของโลหะผงเหล็ก อัดขึ้นรูป	σ_B (MPa)	σ_w (MPa)	σ_w/σ_B	ความหนาแน่น (Mg/m ³)	อัตราการยืดตัว %
Fe-0.6%C-1.7%Cu	308	130	0.42	6.96	3.6
Fe-0.8%C-2.1%Cu	390	150	0.38	7.13	3.7
Fe-1.2%C-0.01%Cu	365	120	0.33	6.81	3.1



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและจำนวนรอบที่ทำให้ชิ้นงานแตกหักสำหรับโลหะผงเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปทั้ง 3 ชนิด อบที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส



รูปที่ 6 แสดงรอยแตกที่ผิวของชิ้นงานโลหะผงเหล็กอัดขึ้นรูปทั้ง 3 ชนิด อบที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

4. สรุปผลการทดลอง

ชิ้นงานโลหะผงเหล็กกล้าอัดขึ้นรูป 3 ชนิด ที่มีปริมาณคาร์บอนและทองแดงแตกต่างกัน ทำการอบที่อุณหภูมิในช่วงระหว่าง 900 ถึง 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำการวัดความหนาแน่น ความแข็ง ความต้านแรงดึง อัตราการยืดตัว ความต้านความล้า และศึกษาโครงสร้างจุลภาค อภิปรายผลการทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลของธาตุผสมและอุณหภูมิที่ใช้ออบ ต่อความต้านแรงดึงและความต้านความล้า สามารถที่จะสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

4.1 การอบที่อุณหภูมิสูงกว่า 1100 องศาเซลเซียส ทองแดงที่ผสมอยู่ในสภาวะหลอมเหลวทำให้ความหนาแน่นมากขึ้นและส่งผลให้อัตราการยืด ความต้านแรงดึง และความต้านความล้ามีค่ามากขึ้น การอบที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ถึงแม้ว่าจะทำให้เกิดการแปรติขึ้น แต่เกิดการเติบโตของเกรนในขณะเดียวกันทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นไม่มากและเกือบคงที่

4.2 ปริมาณธาตุคาร์บอนที่ผสมมากขึ้นทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ถ้ามีในปริมาณมากทำให้เกิดเฟสที่เปราะ จะทำให้ค่าอัตราการยืดตัวและค่าความแข็งแรงที่ทนต่อการแตกหักลดลง

4.3 ค่าความแข็งแรงที่ทนต่อความล้าของโลหะผงเหล็กกล้าอัดขึ้นรูปทั้ง 3 ชนิด ไม่สอดคล้องกับค่าความแข็งแรงดึง ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของเฟสส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้น ขนาดและรูปร่างของรูพรุน ต่อการเริ่มต้นเกิดรอยร้าวและการขยายตัวของรอยร้าว

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณบริษัท มิตรชุมิชิ แมททีเรียล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุโลหะผงและทำการอัดขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ASM metals handbook, vol. 7, Metal Park, 1998.
- [2] Chawla, N., et al., The Interactive Role of Inclusions and SiC Reinforcement on the High-

Cycle Fatigue Resistance of Particle Reinforced Metal Matrix Composites, Metallurgical and Materials Transactions A, Vol.31A, pp. 951-957, 2000.

- [3] Chawla, N. and Deng, X., Microstructure and Mechanical Behavior of Porous Sintered Steels, Materials Science and Engineering, A 390, pp. 98-112, 2005.
- [4] Esperance, GL., et al., Evaluation of the Effect of Tempering on Microstructure and Properties Three Widely Used Sinter Hardening Alloy, Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials Vol. 2, pp. 39-46, 1995.
- [5] Chagnon, F. and Trude, Y., Effect of Sintering Parameters on Mechanical Properties of Sinter Hardened Material, Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials, Vol. 2, pp. 94-101, 1997.
- [6] Hadrboletz, A. and Weiss, B., Fatigue Behavior of Iron Based Sintered Material, International Materials Reviews, Vol. 42, pp. 1-44, 1997.
- [7] Chawla, N., et al., Axial Fatigue Behavior of Binder-Treated versus Diffusion Alloyed Powder Metallurgical Steels, Materials Science and Engineering, A308, pp. 180-188., 2001.
- [8] Sudhakar, K., Fatigue Behavior of a High Density Powder Metallurgy Steel, International Journal of Fatigue, 22, pp. 729-734, 2000.
- [9] Polasik, S.J., Williams, J.J. and Chawla, N., Fatigue Crack Initiation and Propagation of Binder-Treated Powder Metallurgy Steels, Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 33A, pp. 73-81, 2002.

- [10] Candela, N., et al., Fracture Mechanisms in Sintered steels with 3.5% (wt.) Mo, Journal of Materials Science and Engineering, Vol. 259, Issue 1, pp. 98-104, 2001.
- [11] Bertini, L., et al., Tensile and Bending Behavior of Sintered Alloys, Experimental Results and Modeling, Journal of Engineering Materials and Technology Vol. 120, pp. 248-255, 1998.