

การวิเคราะห์สาเหตุและแนวทางแก้ไขปัญหาความแข็งที่ผิวชิ้นงานโลหะผงสูงเกินกำหนดจากขั้นตอนการอบไอน้ำ

Effect of Steam Treatment Process on Hardness of Piston and Valve Plate in Metal Powder Processing

เชวงศักดิ์ ศรีพราย ¹⁾ ณัฐ ปฏิเวธวรกรกิจ ¹⁾ อรจิรา เตียววณิชย์ ^{*2)}

- 1) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- 2) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
91 ถ.ประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140 โทรศัพท์ 02-4709216 โทรสาร 02-4709080
E-mail : onnjira.tha@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ทำการศึกษาผลกระทบของขั้นตอนการอบไอน้ำที่มีต่อความหนาแน่นและความแข็งของชิ้นงานผงโลหะอัดขึ้นรูป โดยความหนาแน่นของชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นตามความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป ซึ่งความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงสูงขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่า ความหนาแน่นของชิ้นงานที่ผ่านการอบด้วยความร้อนจะไม่ส่งผลต่อความหนาของชั้นฟิล์มออกไซด์ที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าชิ้นงาน และความแข็งของชิ้นงานไม่ได้ขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นฟิล์มออกไซด์ที่ผิวของชิ้นงาน

หากแต่การลดความแข็งของชิ้นงานผงโลหะอัดขึ้นรูปสามารถทำได้โดยการเพิ่มปริมาณสารหล่อลื่นจาก 0.6 % โดยน้ำหนัก เป็น 0.9 % โดยน้ำหนัก

ส่วนการป้องกันการเกิดฮีมาไทต์ (Fe_2O_3) ขึ้นบนผิวหน้าชิ้นงานผงโลหะอัดขึ้นรูป ทำได้โดยรักษาระดับความดันย่อยของออกซิเจนภายในเตาสinter ให้ต่ำกว่า 10^{-20} atm และ 10^{-19} atm ในการอบไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 540 °C และ 580 °C ตามลำดับ

คำสำคัญ : โลหะผง การอบไอน้ำ ความแข็ง

Abstract

Effects of steam treatment process on density and hardness of P/M parts have been investigated . Density of specimen increase by increasing pressure which used for compaction . Increased density results in increased hardness . Moreover , It has been found that density of sintered specimen doesn't affect thickness of oxide on surface of specimen and hardness of P/M parts doesn't depend on thickness of oxide .

Reducing in hardness of P/M parts , can be enhanced by increasing lubricant content from 0.6 wt.% to 0.9 wt.% .

To prevent Fe_2O_3 formation on P/M surface , partial pressure of oxygen must be kept lower than

10^{-20} atm and 10^{-19} atm at 540°C and 580°C which are the steam treatment temperature , respectively .

Keywords : Powder Metallurgy , Steam Treatment , Hardness

1. บทนำ

กระบอกสูบ และแผ่นกันรั่ว เป็นชิ้นงานผงโลหะอัดขึ้นรูปและใช้ในอุตสาหกรรมคอมเพรสเซอร์ ซึ่งต้องผ่านกระบวนการอบไอน้ำ เพื่อกันรั่วในชิ้นงาน ซึ่งการอบไอน้ำทำให้เกิดชั้นของฟิล์มออกไซด์ (Fe_3O_4) ที่เรียกว่า Magnetite มีสีน้ำเงินเทาเคลือบผิวของชิ้นงาน มีความหนาประมาณ 5 – 10 ไมครอน ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำ จะมีคุณสมบัติที่ดี คือ 1) ด้านทานการกัดกร่อน 2) ด้านทานการสึกหรอ 3) ความแข็งที่ผิวเพิ่มขึ้น และ 4) ความสามารถในการรับแรงกดเพิ่มขึ้น¹⁻⁷



รูปที่ 1 ชิ้นงานกระบอกสูบ



รูปที่ 2 ชิ้นงานแผ่นกันรั่ว

โดยที่ทั้งชิ้นงานกระบอกสูบ และแผ่นกันรั่ว หลังจากผ่านกระบวนการอบไอน้ำ มักจะเกิดปัญหาความแข็งสูงที่ผิวชิ้นงานขึ้น โดยกระบอกสูบที่ผลิตได้จะ

ถูกนำไปกลึงที่ผิวด้านข้าง ซึ่งถ้าชิ้นงานมีความแข็งสูงจะทำให้มีดกลึงสึกหรอ มีอายุการใช้งานสั้นลง ส่วนแผ่นกันรั่ว ที่ผลิตได้จะนำไปเจียรที่ผิวด้านบนและล่างของชิ้นงาน ซึ่งถ้าชิ้นงานมีความแข็งสูงจะทำให้หินเจียรสึกหรอ มีอายุการใช้งานสั้นลง จากสาเหตุดังกล่าวทำให้ทั้งกระบอกสูบ และแผ่นกันรั่ว จะต้องนำไปผลิตใหม่ทั้งหมด ชิ้นงานที่ผลิตได้จะทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นและเสียเวลาในการผลิตมากขึ้น

ดังนั้นจุดมุ่งหมายของโครงการวิจัย นี้ก็คือการหาสาเหตุที่ทำให้ชิ้นงานทั้ง 2 ประเภทนี้ มีความแข็งสูงขึ้น โดยตัวแปรที่จะทำการศึกษา คือ แรงดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป และส่วนผสมของผงโลหะ ที่มีผลต่อความหนาแน่น ความแข็ง และโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานผงโลหะอัดขึ้นรูป

2. วิธีการทดลอง

ในเบื้องต้นได้ทำการตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่างจากโรงงาน โดย 1) วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) 2) ทดสอบความลึกรอยกดที่เกิดจากการวัดความแข็งแบบ Rockwell scale B ซึ่งเป็นวิธีที่โรงงานใช้ทดสอบ และ 3) วิเคราะห์การกระจายความแข็งในชิ้นงาน

นอกจากนี้ได้ทำการเตรียมชิ้นงานผงโลหะผสม โดยส่วนผสมของผงโลหะผสม แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งชิ้นงานผงโลหะผสมที่เตรียมขึ้นจะนำไปอบด้วยความร้อนแล้วผ่านขั้นตอนการอบไอน้ำ เพื่อที่จะทำการทดสอบหา 1) ความหนาแน่น โดยใช้ตาชั่งชั่งในน้ำ 2) ความแข็ง โดยใช้เครื่อง Universal Hardness Tester และ 3) โครงสร้างจุลภาค โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ที่ทำงานร่วมกับโปรแกรม Image Analyzer และตรวจสอบความหนาชั้นฟิล์มออกไซด์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM)

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมของผงโลหะของชิ้นงานทดลอง Sponge และ Atomized Specimen

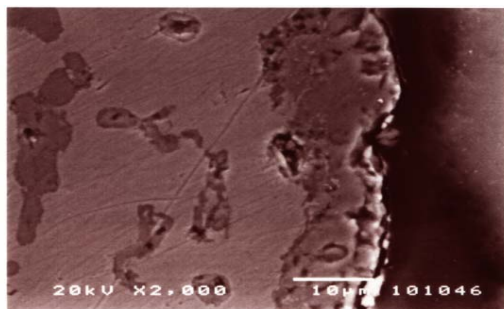
ชิ้นงานทดลอง	แรงดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป (Kg/cm ²)	ส่วนผสมของผงโลหะ (% โดยน้ำหนัก)				
		ผงเหล็ก	กราไฟต์	สารหล่อลื่น	Cu	MnS
Sponge Specimen	65 , 70 และ 75	96.38	0.5	0.62	2.0	0.5
Atomized Specimen	52.5 , 57.5 และ 62.5	96.10	0.8	0.60	2.5	-

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

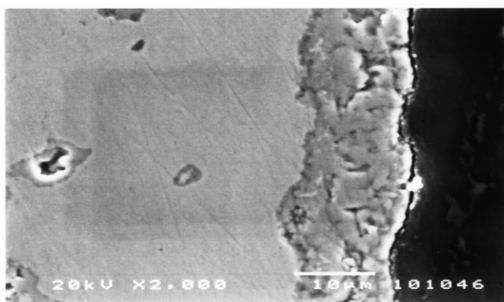
3.1 การตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่างจากโรงงาน

3.1.1 ผลของโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานตัวอย่างจากโรงงาน

นำชิ้นงานกระบอกสูบที่มีความแข็งแรงสูงเกินกำหนดและความแข็งได้ตามข้อกำหนดมาทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (SEM) เพื่อหาความหนาของชั้นฟิล์มออกไซด์ ดังแสดงในภาพที่ 3 และ 4



ภาพที่ 3 ความหนาชั้นฟิล์มออกไซด์ของชิ้นงานกระบอกสูบที่มีความแข็งแรงตามกำหนด



ภาพที่ 4 ความหนาชั้นฟิล์มออกไซด์ของชิ้นงานกระบอกสูบที่มีความแข็งแรงสูงกว่าข้อกำหนด

จากภาพถ่ายความหนาชั้นฟิล์มออกไซด์ของชิ้นงานกระบอกสูบที่มีความแข็งแรงตามกำหนด ชั้นออกไซด์ คือ ชั้นที่มีสีเข้มกว่าส่วนอื่นของชิ้นงาน จากภาพความหนาเฉลี่ยของชั้นออกไซด์อยู่ที่ประมาณ 10 ไมครอนเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3 และความหนาชั้นฟิล์มออกไซด์ของชิ้นงานกระบอกสูบที่มีความแข็งแรงสูงกว่า ข้อกำหนด จะมีความหนาเฉลี่ยของชั้นออกไซด์อยู่ที่ประมาณ 13 ไมครอนเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4

นอกจากนี้ จะพบว่าภาพโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานกระบอกสูบที่มีความแข็งแรงตามข้อกำหนดเกิดรูพรุนขึ้นในชิ้นงานมากกว่าชิ้นงานกระบอกสูบที่มีความแข็งแรงสูงกว่าข้อกำหนด ดังแสดงในภาพที่ 3 และ 4 โดยสังเกตจากปริมาณรูพรุนในชิ้นงาน โดยรูพรุนที่เกิดขึ้นมากในชิ้นงานจะส่งผลทำให้ความหนาแน่นในชิ้นงานลดลง และอาจมีผลต่อความแข็งที่เกิดขึ้นในชิ้นงานได้

3.1.2 ผลของการนำชิ้นงานตัวอย่างจากโรงงานไป

ทดสอบความแข็งแบบ Rockwell scale B

เนื่องจากโรงงานได้ใช้วิธีการทดสอบความแข็งแบบ Rockwell Scale B แต่เนื่องจากสมมติฐานว่ารอยกดจากการทดสอบนี้จะมีผลลึกเกินกว่าชั้นผิวออกไซด์ ในการวิจัยจึงได้ทำการตรวจวัดความลึกของรอยกดจากการทดสอบนี้ ซึ่งผลที่ได้จะแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าความลึกของรอยกดในชิ้นงานตัวอย่าง

ชิ้นงาน	รัศมีของหัวลูกบอลกดวัดความแข็ง (mm)	รัศมีของรอยกด (mm)	ความลึกของรอยกด (μm)
ชิ้นงานกระบอกสูบที่มี ความแข็งสูงเกินกำหนด	0.794	0.430	127
ชิ้นงานกระบอกสูบที่มี ความแข็งตามกำหนด	0.794	0.434	129
ชิ้นงานกระบอกสูบที่มี การอบไอน้ำไม่ทั่วทั้ง ผิวหน้าชิ้นงาน	0.794	0.442	135
ชิ้นงานแผ่นกันรั่วที่มี การอบไอน้ำไม่ทั่วทั้ง ผิวหน้าชิ้นงาน	0.794	0.368	90

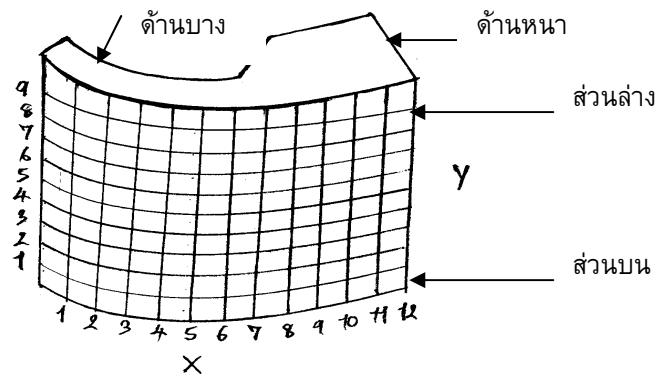
จากตารางที่ 2 จะพบว่าความลึกของรอยกดมีค่ามากกว่า 90 ไมครอนเมตรขึ้นไป (ซึ่งตามทฤษฎีชั้นของผิวออกไซด์มีความหนาประมาณ 5 – 10 ไมครอนเมตร) โดยหัวลูกบอลกดวัดความแข็งได้กดเลยชั้นของผิวออกไซด์ลงไปถึงผิวของเนื้อเหล็ก ซึ่งทำให้ค่าความแข็งที่ทดสอบได้เป็นค่าความแข็งจากผิวเนื้อเหล็ก ไม่ใช่จากผิวออกไซด์ที่เราได้คาดคิดกันไว้

เมื่อเป็นเช่นนี้เราจึงทำการศึกษาถึงสาเหตุของการที่ความแข็งสูงเกินกำหนดว่าเป็นผลมาจากตัวแปร เช่น แรงดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป ส่วนผสมของผงโลหะ

3.1.3 ผลของการกระจายความแข็งในชิ้นงาน

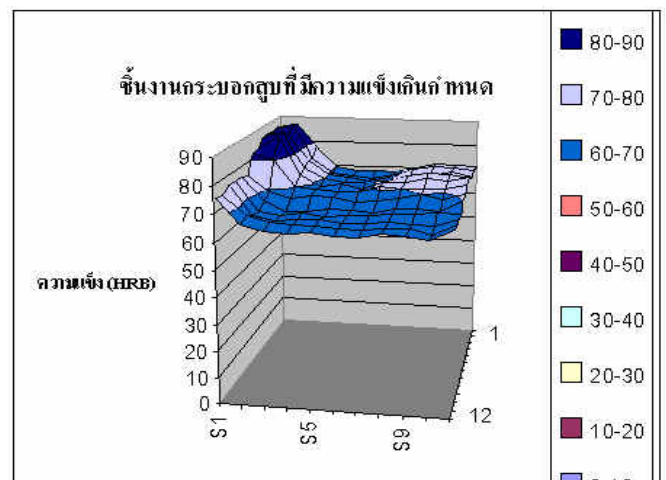
ตัวอย่างจากโรงงาน

จากการเก็บข้อมูลที่ชิ้นงานกระบอกสูบที่มีความแข็งที่ผิวเกินกำหนด จะพบว่าความแข็งที่ผิวเกินกำหนดจะเกิดขึ้นที่ผิวด้านบางของชิ้นงานกระบอกสูบ จึงได้ทำการวัดความแข็งที่ผิวหน้าชิ้นงาน โดยวัดความแข็งในช่วง 1/4 ของชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงการวัดความแข็งทั้งผิวหน้าชิ้นงานกระบอกสูบที่มีความแข็งที่ผิวเกินกำหนด

จากนั้นนำค่าความแข็งที่วัดได้ไปพลอตเป็นกราฟพื้นผิว ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กราฟพื้นผิวของชิ้นงานกระบอกสูบที่มีความแข็งเกินกำหนด

จากภาพที่ 6 จะพบว่าความแข็งแรงที่ผิวจะเกิดที่ด้านบางตรงบริเวณส่วนบนของผิวชิ้นงาน กระบอกสูบ ส่วนกลางของผิว ความแข็งแรงจะอ่อน และส่วนล่างของผิว ความแข็งแรงจะสูงกว่าส่วนกลางแต่ไม่มากเท่าส่วนบน ทำให้เราพบว่าปัญหาความแข็งแรงที่ผิวจริง ๆ แล้วน่าจะเกิดจากกระบวนการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน

โดยที่ชิ้นงานกระบอกสูบ เกิดการกระจายตัวของความหนาแน่นไม่เท่ากันทุกจุด ซึ่งผิวด้านบางของชิ้นงานกระบอกสูบ จะมีพื้นที่ผิวในการรองรับแรงอัดขึ้นรูปน้อยกว่าทำให้เกิดการกระจายตัวของความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอทุกจุด ในขณะที่ผิวด้านหนาของชิ้นงานกระบอกสูบ จะมีพื้นที่ผิวในการรองรับแรงอัดขึ้นรูปมากกว่าด้านบางทำให้การกระจายตัวของความหนาแน่นค่อนข้างที่จะสม่ำเสมอทุกจุด

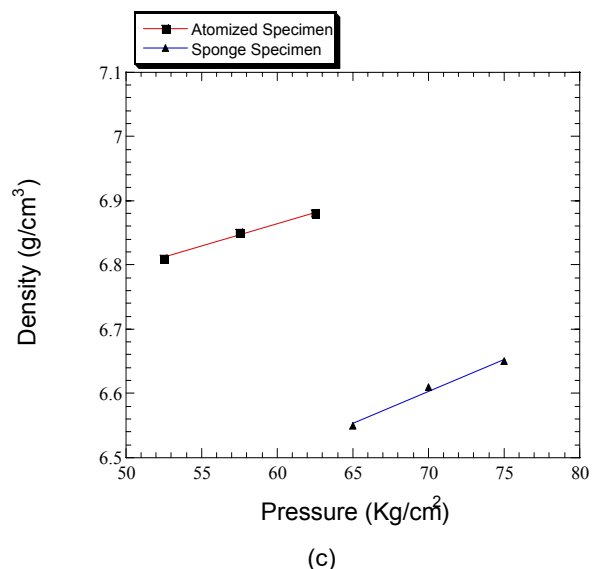
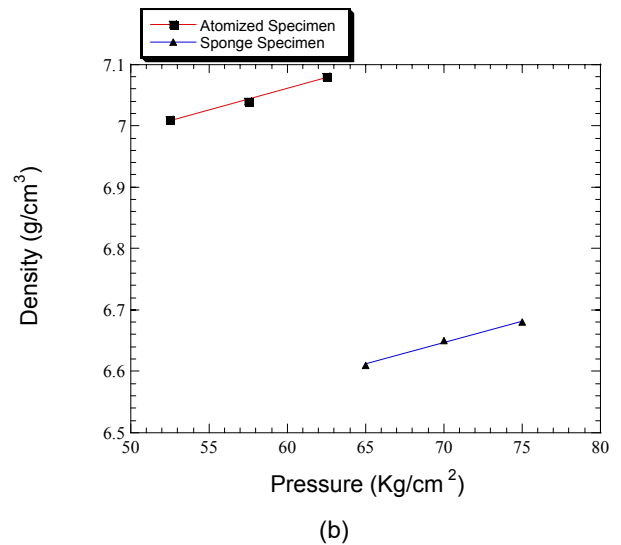
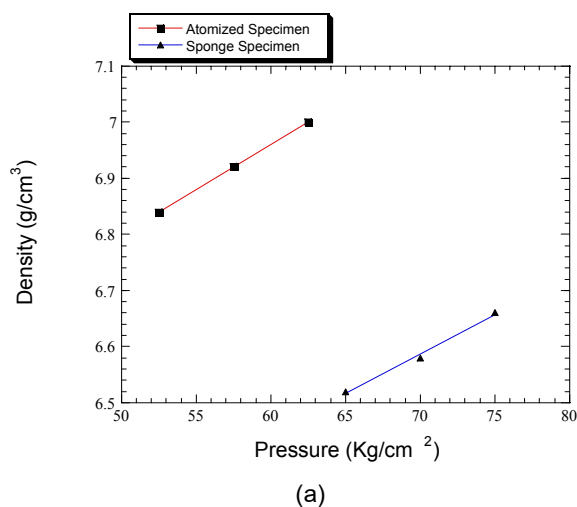
3.2 การเตรียมชิ้นงานผงโลหะผสม

กลุ่มที่ 1 sponge specimen เตรียมจากผงโลหะ Sponge โดยนำผงโลหะไปผสมกับ สารหล่อลื่น กราไฟต์ ผงทองแดง และ แมงกานีสซัลไฟด์ ซึ่งเป็นผงชนิดเดียวกับชิ้นงานกระบอกสูบ

กลุ่มที่ 2 atomized specimen เตรียมจากผงโลหะ Atomized โดยนำผงโลหะไปผสมกับ สารหล่อลื่น กราไฟต์ และผงทองแดง ซึ่งเป็นผงชนิดเดียวกับชิ้นงานแผ่นกันรั่ว

3.2.1 การตรวจสอบความหนาแน่นของชิ้นงาน

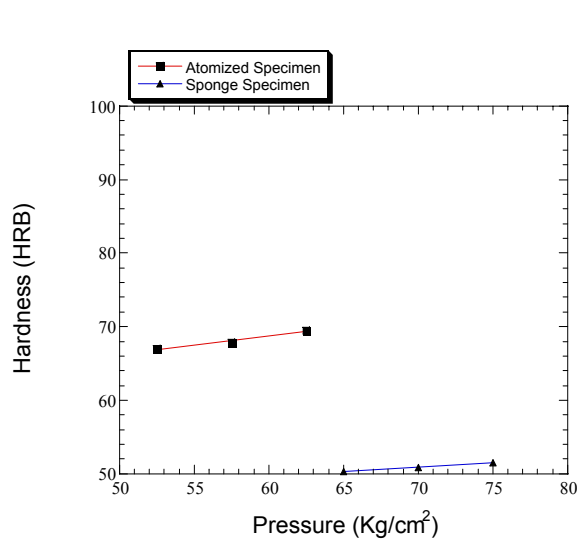
ทดลอง



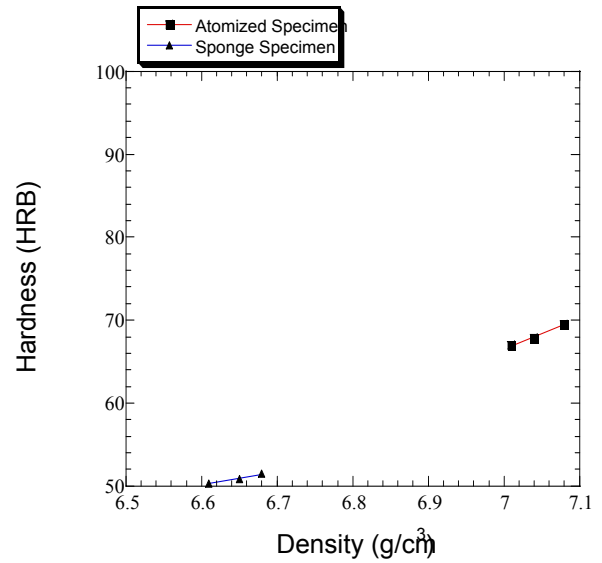
ภาพที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ใช้อัดขึ้นรูปกับความหนาแน่นของชิ้นงาน (a) หลังการอัดขึ้นรูป (b) หลังการอบด้วยความร้อน และ (c) หลังการอบไอน้ำ

จากผลการตรวจสอบความหนาแน่นของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูป การอบด้วยความร้อน และการอบไอน้ำ พบว่าความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นตามแรงดันที่ใช้อัดขึ้นรูป ดังแสดงในภาพที่ 7 (a) , (b) และ (c)

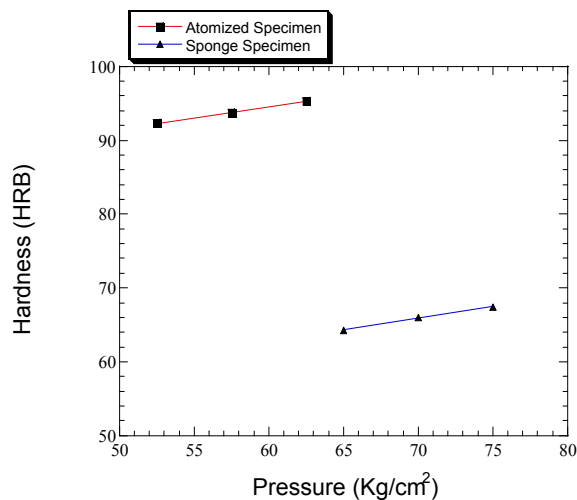
3.2.2 การตรวจสอบความแข็งของชิ้นงานทดลอง



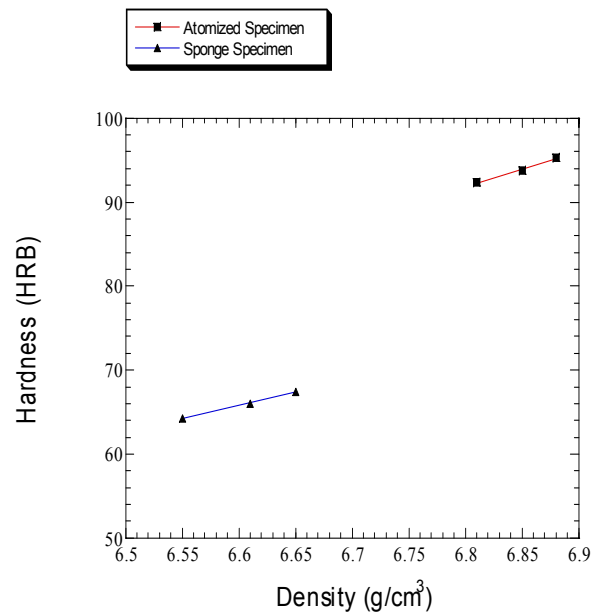
(a)



(a)



(b)



(b)

ภาพที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ใช้อัดขึ้นรูปกับความแข็งของชิ้นงาน (a) หลังการอบด้วยความร้อน และ (b) หลังการอบไอน้ำ

จากผลการตรวจสอบความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอบด้วยความร้อน และการอบไอน้ำพบว่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นตามแรงดันที่ใช้อัดขึ้นรูป ดังแสดงในภาพที่ 8 (a) และ (b) ซึ่งต่อมาได้นำชิ้นงานทดลองไปหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความแข็ง

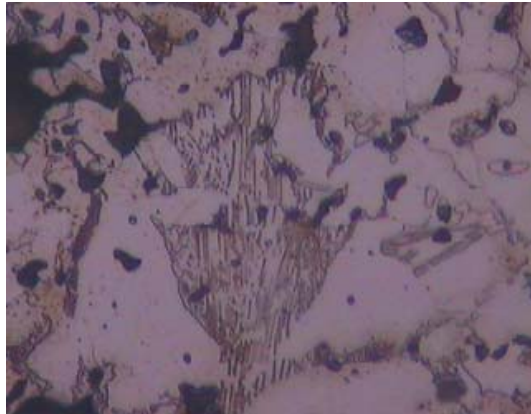
ภาพที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความแข็งของชิ้นงาน (a) หลังการอบด้วยความร้อน และ (b) หลังการอบไอน้ำ

จากผลการตรวจสอบความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอบด้วยความร้อน และการอบไอน้ำพบว่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่น ดังแสดงในภาพที่ 9 (a) และ (b)

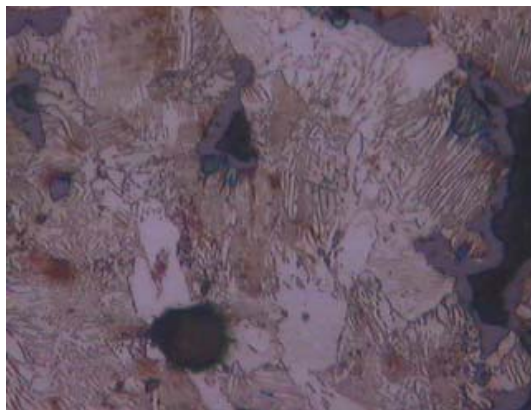
3.2.3 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน

ทดลอง

นำชิ้นงาน Sponge Specimen และ Atomized Specimen ไปตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ดังแสดงในภาพที่ 10



(a)



(b)

ภาพที่ 10 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดลอง

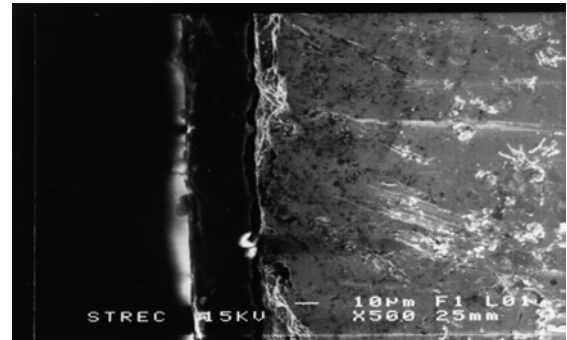
(a) Sponge Specimen และ (b) Atomized Specimen

จากภาพที่ 10 (a) เป็นโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดลอง Sponge Specimen จะได้โครงสร้างเป็น Ferrite (สีขาว) และ Pearlite (เส้นสีดำ) และภาพที่ 10 (b) เป็นโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดลอง Atomized Specimen จะได้โครงสร้างเป็น Pearlite (เส้นสีดำ) ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณกราฟไฟต์ที่มีอยู่ในชิ้นงานทดลอง โดย Sponge Specimen จะมีกราฟไฟต์ 0.5 % และ Atomized Specimen จะมีกราฟไฟต์ 0.8 %

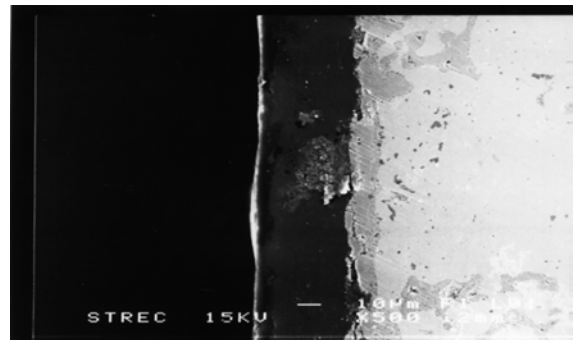
3.2.3.1 ผลความหนาชั้นฟิล์มออกไซด์ของชิ้นงาน

ทดลอง Sponge Specimen และ Atomized

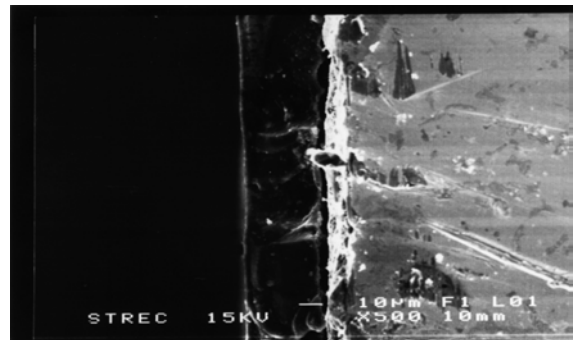
Specimen โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกาว (SEM)



(a)



(b)



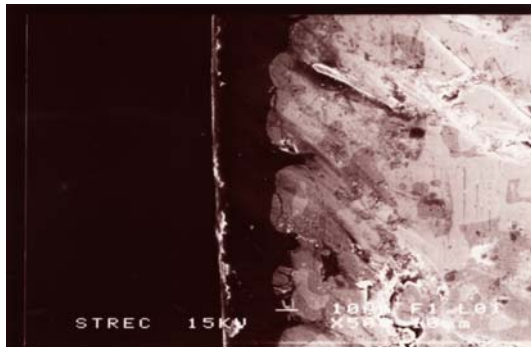
(c)

ภาพที่ 11 ความหนาชั้นฟิล์มออกไซด์ของชิ้นงาน

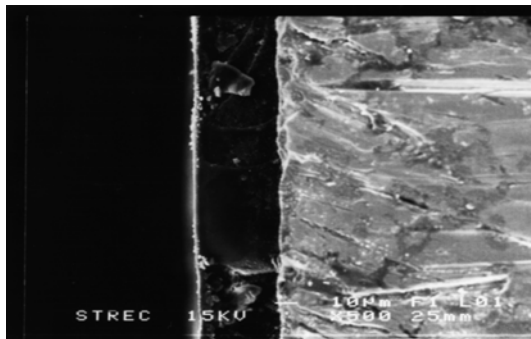
ทดลอง Sponge Specimen (a) ที่แรงดันที่ใช้อัดขึ้นรูป 65 kg/cm^2 (b) ที่แรงดันที่ใช้อัดขึ้นรูป 70 kg/cm^2 และ (c) ที่แรงดันที่ใช้อัดขึ้นรูป 75 kg/cm^2

จากภาพที่ 11 แสดงภาพถ่ายที่ผิวชิ้นงานด้วยกล้อง SEM โดยในภาพ 11 (a) (b) และ (c) เป็นชิ้นงานที่ใช้แรงในการอัดขึ้นรูป 65 , 70 และ 75 kg/cm^2 ปรากฏว่าชั้นความหนาของชิ้นงานทั้ง 3 แบบนั้นมีความ

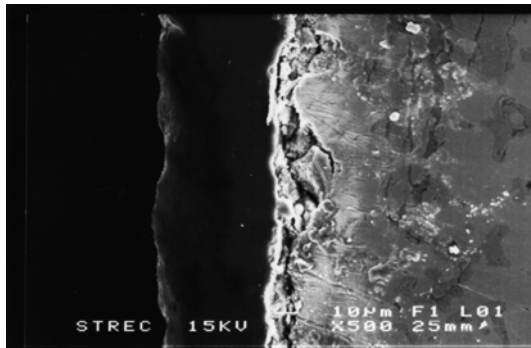
ใกล้เคียงกัน คือ 28 , 30 และ 30 ไมครอนเมตรตามลำดับ



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 12 ความหนาชั้นฟิล์มออกไซด์ของชิ้นงานทดลอง Atomized Specimen (a) ที่แรงดันที่ใช้อัดขึ้นรูป 52.5 kg/cm^2 (b) ที่แรงดันที่ใช้อัดขึ้นรูป 57.5 kg/cm^2 และ (c) ที่แรงดันที่ใช้อัดขึ้นรูป 62.5 kg/cm^2

จากภาพที่ 12 แสดงภาพถ่ายที่ผิวชิ้นงานด้วยกล้อง SEM โดยในภาพ 12 (a) (b) และ (c) เป็นชิ้นงานที่ใช้แรงในการอัดขึ้นรูป 52.5 , 57.5 และ 62.5 kg/cm^2 ปรากฏว่าชั้นความหนาของชิ้นงานทั้ง 3 แบบนั้นมีค่า

ใกล้เคียงกัน คือ 25 , 28 และ 30 ไมครอนเมตรตามลำดับ

ซึ่งจากตัวแปรในการทดลองต่าง ๆ ที่มีผลต่อกระบวนการผลิตการอบไอน้ำ เช่น แรงดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป และส่วนผสมของผงโลหะ ที่มีผลต่อความหนาแน่น ความแข็ง และโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานผงโลหะอัดขึ้นรูป โดยนำตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้มาหาความสัมพันธ์กันในรูปของกราฟความสัมพันธ์ ตารางความสัมพันธ์จะพบว่าทั้งชิ้นงานทดลอง Sponge Specimen และ Atomized Specimen ไม่เกิดความแข็งเกินขึ้นและมีค่าอยู่ในสเปกของโรงงาน

ซึ่งทำให้ต้องออกแบบการทดลองใหม่อีกครั้งหนึ่ง โดยเพิ่มสารหล่อลื่นเข้าไปลดแรงเสียดทานระหว่างผนังของดายส์กับผงโลหะและทำให้เกิดการกระจายตัวของความหนาแน่นในผิวหน้าชิ้นงานสม่ำเสมอขึ้น ซึ่งการทดลองมีดังนี้

การทดลองเพิ่มสารหล่อลื่น

สูตรผงที่ใช้ในโรงงาน สารหล่อลื่น คิดเป็น 0.62 %

การทดลองชุดที่ 1 เพิ่มสารหล่อลื่นเป็น 0.70 %

การทดลองชุดที่ 2 เพิ่มสารหล่อลื่นเป็น 0.80 %

การทดลองชุดที่ 3 เพิ่มสารหล่อลื่นเป็น 0.90 %

ซึ่งผลที่ได้จะแสดงในตารางที่ 3

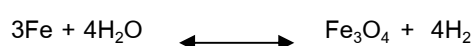
ตารางที่ 3 ความแข็งแรงเฉื่อยของการทดลองเพิ่มสารหล่อลื่น

สารหล่อลื่น (%)	พื้นผิวชิ้นงาน	ความแข็งแรงเฉื่อย (HRB)	
		ด้านบาง	ด้านหนา
0.70	ส่วนบน	81.3	67.8
	ส่วนกลาง	69.6	66.4
	ส่วนล่าง	72.9	68.1
0.80	ส่วนบน	80.1	66.4
	ส่วนกลาง	67.2	65.8
	ส่วนล่าง	71.9	67.3
0.90	ส่วนบน	81	66.7
	ส่วนกลาง	69.5	65.9
	ส่วนล่าง	72.5	66.9
0.62	ส่วนบน	88.7	73.5
	ส่วนกลาง	73.7	70.6
	ส่วนล่าง	77.1	72.6

จากตารางที่ 3 จะได้ว่าการเพิ่มสารหล่อลื่นเข้าไปทั้ง 0.7 , 0.8 และ 0.9 % ช่วยทำให้เกิดการกระจายตัวของความหนาแน่นในผิวหน้าชิ้นงานทั้งด้านบางและด้านหนาได้ดีขึ้นและทำให้ค่าความแข็งที่ได้ลดลงทั้งส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะชิ้นงานจริงของโรงงาน

3.3 การวิเคราะห์ทางเทอร์โมไดนามิกส์

การเกิดปฏิกิริยาของไอน้ำกับเหล็กทำให้เกิด Fe_3O_4 เป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้



$$\Delta G^\circ_T = -RT \ln K_a$$

$$\Delta G^\circ_T = -4RT \ln P_{\text{H}_2} / P_{\text{H}_2\text{O}}$$

K_a : ค่าคงที่สมดุล = $P_{\text{H}_2} / P_{\text{H}_2\text{O}}$, R = Gas 's Constant , T = อุณหภูมิ (K°)

ที่อุณหภูมิ 540 C° ($T = 813.15 K^\circ$) ความดันบรรยากาศในเตาเป็น 1 atm ($P_{\text{H}_2} + P_{\text{H}_2\text{O}} = 1$)

$$\Delta G^\circ_T = -28060.77 = -4RT \ln P_{\text{H}_2} / P_{\text{H}_2\text{O}}$$

จะได้ $P_{\text{H}_2} = 0.7384$ atm , $P_{\text{H}_2\text{O}} = 0.2616$ atm

ดังนั้น ในการอบไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 540 C° ต้องให้ $P_{\text{H}_2\text{O}}$ มากกว่า 0.2616 atm

ที่อุณหภูมิ 580 C° ($T = 853.15 K^\circ$) ความดันบรรยากาศในเตาเป็น 1 atm ($P_{\text{H}_2} + P_{\text{H}_2\text{O}} = 1$)

$$\Delta G^\circ_T = -24324.13 = -4RT \ln P_{\text{H}_2} / P_{\text{H}_2\text{O}}$$

จะได้ $P_{\text{H}_2} = 0.7021$ atm , $P_{\text{H}_2\text{O}} = 0.2979$ atm

ดังนั้น ในการอบไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 580 C° ต้องให้ $P_{\text{H}_2\text{O}}$ มากกว่า 0.2979 atm

และจากสภาวะในเตาอบไอน้ำจริง ทางโรงงานได้ใช้

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = 0.4840 \text{ atm}$$

เพราะฉะนั้นภายในเตาสติมของโรงงานมี

$P_{\text{H}_2\text{O}}$ เพียงพอที่จะทำให้เกิด Fe_3O_4 ขึ้นที่ผิวหน้าชิ้นงาน และการป้องกันการเกิดฮีมาไทต์ (Fe_2O_3) ขึ้นบนผิวหน้าชิ้นงาน ทำได้โดยรักษาระดับความดันย่อยของออกซิเจนภายในเตาสติมให้ต่ำกว่า 10^{-20} atm และ 10^{-19} atm ในการอบไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 540 C° และ 580 C° ตามลำดับ ซึ่งสามารถหาได้จาก The Ellingham

Diagram for metallurgically important oxides

ดังนั้นทางโรงงานจึงควรติดตั้งตัววัดปริมาณ O_2 ในเตาอบไอน้ำ เพื่อที่จะ ได้ทราบอัตราการแตกตัวของ O_2 จาก H_2O ว่ามีปริมาณมากหรือน้อยเพียงใดใน

การที่จะทำให้เกิด Fe_2O_3 ที่ผิวชิ้นงาน ซึ่งจะสามารถป้องกันการเกิดชั้นของฮีมาไทต์ (Fe_2O_3) ที่ผิวชิ้นงานได้

4. สรุปผลการทดลอง

- 4.1 เมื่อความดันที่ใช้อัดขึ้นรูปเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้น และส่งผลทำให้ชิ้นงานมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นด้วย
- 4.2 โครงสร้างทางจุลภาคที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณกราฟไฟต์ที่มีอยู่ในชิ้นงานจะเป็นกำหนดโครงสร้างและความแข็งที่เกิดขึ้น ส่วนอุณหภูมิกับเวลาในการอบไอน้ำจะมีผลต่อความหนาของชั้นฟิล์มออกไซด์มากกว่า
- 4.3 ความหนาของชั้นฟิล์มออกไซด์ที่เกิดขึ้น จะช่วยเพิ่มความหนาแน่นให้กับชิ้นงานและเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ความแข็งจะเพิ่มขึ้นด้วย
- 4.4 การเพิ่มปริมาณสารหล่อลื่นให้ผงโลหะจะช่วยทำให้ชิ้นงานมีค่าความหนาแน่นสม่ำเสมอมากขึ้น ความแข็งทั่วทั้งชิ้นงานลดลง
- 4.5 เพื่อแก้ปัญหาการเกิดสนิมแดงที่ผิวของชิ้นงาน ควรปรับปรุงเตาอบไอน้ำ โดย ติดตั้ง Oxygen Sensor เพื่อวัดความดันของก๊าซออกซิเจน
- 4.6 ควรพิจารณาปรับปรุง Die Set ใหม่เพื่อให้ผงโลหะสามารถไหลเข้าแบบได้ดีขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงงานนี้ ผู้ทำโครงงานได้รับทุนอุดหนุนจาก

- 5.1 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงงานอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2546
- 5.2 บริษัท ไทยซินเตอร์โปรดักส์ จำกัด
1/1 ม. 22 ถ. สุวินทวงศ์ ต. ศาลาแดง อ. บางน้ำเปรี้ยว จ. ฉะเชิงเทรา 24000

6. เอกสารอ้างอิง

- 6.1 De Mello , J.D.E. and Hutchings , I.M. , Effect of processing parameters on the surface

durability of steam-oxidized sintered iron ,
Wear , Vol. 250 , 2001 , pp. 435 – 448 .

- 6.2 Molinari , Alberto and Straffelini , Giovanni ,
Surface durability of steam treated sintered iron alloys , Wear , Vol. 181 – 183 , 1995 , pp. 334 – 341 .

- 6.3 Molinari , Alberto and Straffelini , Giovanni ,
Dry sliding behaviour of steam treated sintered iron alloys , Wear , Vol. 159 , 1992 , pp. 127 – 134 .

- 6.4 Razavizadeh , K. and Davies , B.L. , The effects of steam treatment on the wear resistance of sintered iron and Fe – Cu alloys , Wear , Vol. 69 , 1981 , pp. 335 – 367 .

- 6.5 Jintang , Gao , Shouyuan , Zhao and Xiaoyi , Liu , Effects of chemical composition and morphological structure of surface oxides on the antifrictional properties of medium carbon steel , Wear , Vol. 147 , 1991 , pp. 295 – 310 .

- 6.6 Ferrari , A. and Veronesi , V. , A study of the influence of steam treatment on the tribological behaviour of steel specimens , Wear , Vol. 66 , 1981 , pp. 195 – 207 .

- 6.7 Razavizadeh , K. and Davies , B.L. , Influence of powder type and density on pore closure and surface hardness changes resulting from steam treatment of sintered iron , The Metals Society , No. 4 , U.S.A , 1979 , pp. 187 – 192 .