

ผลของความชื้นและสภาพแวดล้อมต่อความสามารถในการไหลและการอัดตัวของโลหะผง

เรือเอก เสาวนันท์ เจียรุ่น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-2014-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

T 0296230X

**THE EFFECT OF HUMIDITY AND ENVIRONMENT TO THE FLOWABILITY
AND COMPACTABILITY OF METAL POWDERS**

Lieutenant Saowanan Jearwun RTN.

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the degree of Master of Engineering Program in Metallurgical

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

ISBN 974-14-2014-5

490256

เรือเอก เสาวนันท์ เขียววุ่น : ผลของความชื้นและสภาพแวดล้อมต่อความสามารถในการไหล และการอัดตัวของโลหะผง (The Effect of Humidity and Environment to the Flowability and Compactability of Metal Powders)

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.ชาชาย เหลืองวรานันท์

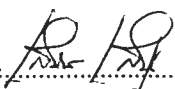
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร.ไสว คำนชัยวิจิตร , 92 หน้า, ISBN 974-14-2014-5

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของความชื้นและสภาพแวดล้อมต่อความสามารถในการไหลและการอัดตัวของโลหะผง การทดสอบโดยใช้ผงเหล็ก ผงทองแดง และผงคาร์บอน ซึ่งจะทำการศึกษาระงับยึดติดระหว่างอนุภาคด้วยวิธีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ศึกษาความสามารถในการไหลด้วยการวัดอัตราการไหลและการวัด Angle of repose ศึกษาความสามารถในการอัดตัวด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ การวัดความหนาแน่นของ Green compact การเผาผนึกแล้วนำไปศึกษาโครงสร้างของรูพรุนของชิ้นงานที่ได้จากการอัด การศึกษาคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของชิ้นงานอัดซึ่งทุกขั้นตอนการทดลองจะควบคุมระดับความชื้นสัมพัทธ์ 20 ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งควบคุมระดับความชื้นในกล่องทดลองโดยสารละลายและซิลิกาเจลซึ่งแรงยึดติดระหว่างมีผลมาจากแรงแคปิลลารีจากความชื้นในบรรยากาศซึ่งจะไปลดความสามารถในการไหลและการอัดตัวของโลหะผงที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์สูง และในงานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำซีเมนต์ที่ได้ออกจากการเผาเคลือบข้าว มาดูดความชื้นในโลหะผง โดยการเตรียมและศึกษาคุณลักษณะของซีเมนต์เคลือบ ด้วยการนำเคลือบข้าวไปบำบัดด้วยสารเคมี แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 °C 600 °C และ 700 °C เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์ของซิลิกาจากซีเมนต์เคลือบมากที่สุดในการศึกษาคุณลักษณะของซีเมนต์เคลือบด้วย X-Ray Fluorescence, X-Ray Diffraction, Thermogravimetric Analyzer, การวิเคราะห์การกระจายขนาดผงด้วย Laser Particle Size Analyzer การหาพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยวิธีการของเบท การศึกษาลักษณะของพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด โดยในซีเมนต์มีความบริสุทธิ์ของซิลิกาสูงถึง 99.693 เปอร์เซ็นต์ และมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงถึง 294.53 ตารางเมตรต่อกรัมมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 5 ไมครอน ซึ่งซีเมนต์เคลือบสามารถนำมาดูดซับความชื้นในโลหะผงได้เป็นอย่างดีเพื่อเพิ่มความสามารถในการไหลและการอัดตัวของโลหะผง

ภาควิชา.....วิศวกรรมโลหการ.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโลหการ.....

ปีการศึกษา.....2549.....

ลายมือชื่อนิสิต.....ร.อ. .....ร.อ.

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....ชาชาย เหลืองวรานันท์.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....ไสว คำนชัยวิจิตร.....

##4670578621 :MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEYWORD :RELATIVE HUMIDITY/ FLOWABILITY/ COMPACTABILITY/RICE HUSK ASH/ MOISTURE ADSORPTION/ SILICA ASH/ CAPILLARY FORCE/METAL POWDER

LT.SAOWANAN JEARWUN : THE EFFECT OF HUMIDITY AND ENVIRONMENT TO THE FLOWABILITY AND COMPACTABILITY OF METAL POWDERS

THESIS ADVISOR : DR.TACHAI LUANGVARANUN

THESIS COADVISOR :ASSIST.PROF.DR.SAWAI DANCHAIWIJIT

This research studied the effect of humidity and environment to the flowability and compactability of metal powders. Iron, copper and graphite powders were selected to test adhesion force between particles by centrifuge technique, The flowability was tested by flow meter and angle of repose. The compactability was tested by compaction powder, partial sintering, microstructure of pore and hardness. All methods were studied from 20 to 98 percent relative humidity (RH), which were controlled by salt solution and silica gel. Adhesion forces between particles were affected from liquid bridge (Capillary force) by humidity in air. Capillary force decreased flowability and compactability at high relative humidity. The possibility of humidity adsorption in metal powders was studied by using Rice Husk Ash (RHA). This product was burned from rice husk, which high silica content 99.693 % could be produced after 3-mol HCl treatment and heat-treating at 700 °C by heating rate 5°C/min. SEM, XRD, XRF, TGA, Laser Particle Size Analyzer, BET method, were used to investigate the properties of reactant and product including morphology, thermal decomposition, particle size distribution, and surface area. The specific surface area of silica ash was 294.53 m²/g, the average particle size was 5 µm. All products were amorphous silica. The result show that the silica ash could be absorbed humidity, which increased flowability and compactability in metal powders.

Department.....Metallurgical Engineering....

Student's signature.....*Lt. Saowanon J.*

Field of study.... Metallurgical Engineering....

Advisor's signature.....*Tachai Luangvaranun*

Academic year.....2006.....

Coadvisor's signature.....*Sawai Danchaiwijit*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากหลายๆฝ่าย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ธชาชายเหลือวรานันท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.ไสว คำนชัยจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษา ความรู้และคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในงานวิจัยมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดต่างๆ ขอขอบพระคุณ สถาบันโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ ขอขอบคุณเพื่อนๆในภาควิชาวิศวกรรมโลหการที่คอยให้กำลังใจให้คำปรึกษาทำให้งานนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ให้คำแนะนำ ปรึกษาและให้กำลังใจมาโดยตลอด จนกระทั่งสามารถสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาโทมาได้ตามเจตนารมณ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญรูปภาพ.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น.....	3
2.1 แรงยึดติระหว่างอนุภาค.....	3
2.1.1 แรงไฟฟ้าสถิตย์.....	3
2.1.2 แรงแวนเดอร์วาลส์	4
2.1.3 แรงเชื่อมตึคของแข็ง.....	4
2.1.4 แรงเชื่อมตึคของเหลว.....	5
2.1.4.1 สมการของเคลวิน.....	5
2.1.4.2 สมการของลาปลาซ.....	6
2.1.5 แบบจำลองแรงยึดติระหว่างผิวสัมผัสของอนุภาค.....	7
2.1.6 เปรียบเทียบผลของแรงแต่ละชนิดที่มีผลต่ออนุภาค.....	10
2.2 การดูดซับ.....	11
2.2.1 การดูดซับ โมเลกุลบริเวณผิว.....	11
2.2.2 การดูดซับบนผิวโลหะ.....	14
2.2.3 การดูดซับทางเคมีบนโลหะ.....	16
2.2.4 หลักการการดูดซับแบบอุนหภูมิคังที่ของแลงเมียร์.....	17
2.2.5 หลักการการดูดซับแบบอุนหภูมิคังที่ของเบท.....	21

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3 ความชื้นและความดันไอของไอน้ำ.....	24
2.3.1 ความดันไอของไอน้ำ.....	24
2.3.1.1 ความดันไอของน้ำ.....	24
2.3.2 ความชื้น.....	25
2.3.2.1 ความชื้น.....	25
2.3.2.2 เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์.....	25
2.4 แกลบข้าว.....	26
2.4.1 ส่วนประกอบของแกลบข้าว.....	26
2.4.2 ชิลิกาในแกลบข้าว.....	27
2.4.2.1 ชิลิกาผลึก.....	27
2.4.2.2 ชิลิกาอสัณฐาน.....	28
2.4.3 ประโยชน์ของชิลิกา.....	28
2.4.3 การสะสมชิลิกาในพืช.....	29
2.5 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	29
2.5.1 การเตรียมและศึกษาชิลิกาจากจี๊ด้าแกลบ.....	29
2.5.2 การวัดแรงยึดติดระหว่างอนุภาคภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์.....	30
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการทดลอง.....	32
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	33
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	34
3.3.1 การศึกษาการยึดติดระหว่างอนุภาคโลหะผง.....	34
3.3.1.1 การศึกษาแรงยึดติดด้วยวิธีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง.....	34
3.3.1.2 การศึกษาความสามารถในการไหลของโลหะผง.....	35
3.3.1.2.1 การวัด Angle of report ของผง.....	35
3.3.1.2.2 การวัดอัตราการไหล.....	36
3.3.1.3 การศึกษาความสามารถในการอัดตัวของโลหะผง.....	37
3.3.1.3.1 การอัดผงด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ ต่างกัน.....	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.1.3.2 การวัดความหนาแน่น.....	38
3.3.1.3.3 การเผาผลาญโดยให้เกิดพันธะเป็นบางส่วน.....	39
3.3.1.3.4 การศึกษาโครงสร้างรูพรุนด้วยกล้องจุลทรรศน์.....	39
3.3.1.3.5 การวัดความแข็ง.....	39
3.3.2 การเตรียมซีเมนต์.....	39
3.3.2.1 การชะล้างสิ่งสกปรก.....	39
3.3.2.2 การบำบัดด้วยสารเคมี.....	40
3.3.2.3 การเผาเคลือบขาว.....	40
3.3.3 การตรวจสอบคุณลักษณะของซีเมนต์.....	41
3.3.3.1 การตรวจสอบเชิงคุณภาพและปริมาณของซีเมนต์.....	41
3.3.3.2 การตรวจสอบโครงสร้างผลึก.....	41
3.3.3.3 ความเสถียรภาพทางความร้อน.....	41
3.3.3.4 การตรวจสอบพื้นที่ผิวจำเพาะ.....	42
3.3.3.5 การวิเคราะห์พื้นที่ผิว.....	42
3.3.3.6 การกระจายขนาดอนุภาคของซีเมนต์.....	42
3.3.4 การศึกษาความเป็นไปได้ในการดูดความชื้นในโลหะผงด้วยซีเมนต์.....	42
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	44
4.1 ผลการวิเคราะห์ขนาด รูปร่างและลักษณะพื้นผิวของวัสดุผง.....	45
4.2 ผลการศึกษาการยึดติดระหว่างอนุภาค โดยวิธีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง.....	48
4.3 ผลการวัดความสามารถในการไหลของผงโลหะ.....	51
4.3.1 ผลการวัด Angle of Repose.....	51
4.3.2 ผลการวัดอัตราการไหล.....	53
4.4 ผลการศึกษาความสามารถในการอัดตัวของโลหะผง.....	55
4.4.1 ความสามารถในการอัดตัวของผงเหล็ก.....	55
4.4.2 ความสามารถในการอัดตัวของผงทองแดง.....	60
4.4.3 ความสามารถในการอัดตัวของผงเหล็กผสมทองแดงและคาร์บอน.....	61
4.4.4 ค่าความแข็งของชิ้นงานผงเหล็กอัด.....	65
4.5 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของซีเมนต์.....	67

	หน้า
4.5.1 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของซีเมนต์.....	67
4.5.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของซีเมนต์.....	68
4.5.3 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนของแกลบข้าว.....	70
4.5.4 ผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะของซีเมนต์ด้วยวิธี BET Method.....	71
4.5.5 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของซีเมนต์.....	71
4.5.6 ผลวิเคราะห์ลักษณะและสีของซีเมนต์.....	74
4.6 ความสามารถในการดูดความชื้นในโลหะผงของซีเมนต์.....	75
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	79
5.1 ผลของความชื้นต่อการยึดติระหว่างอนุภาคผงโลหะ.....	79
5.2 ซิลิกาจากซีเมนต์.....	79
5.3 การดูดความชื้นในโลหะผงด้วยซิลิกาจากซีเมนต์.....	80
5.4 งานที่ควรวิจัยต่อไปในอนาคต.....	80
รายการอ้างอิง.....	81
ภาคผนวก.....	83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	90

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ.....	13
ตารางที่ 2.2 การจำแนกประเภทของโลหะตามความสามารถในการดูดซับทางเคมี.....	17
ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบหลักของแกลบข้าว.....	26
ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบทางเคมีของจี๊ด้าแกลบ.....	27
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของผงเหล็ก.....	32
ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมทางเคมีของผงทองแดง.....	32
ตารางที่ 3.3 ส่วนผสมทางเคมีของผงคาร์บอน.....	32
ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างของจี๊ด้าแกลบที่ได้จากการเผาแกลบ.....	41
ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของจี๊ด้าแกลบ.....	67

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1	แคปปีลาไร์บนผิวอนุภาคจากสมการของเคลวินและลาปลาซ.....	5
รูปที่ 2.2	การวัดความต้านทานการยึดหยุ่นของผิวทรงกลมเนื่องจากการกด	7
รูปที่ 2.3	การทดลองวัดแรงดึงอนุภาคบนพื้นผิวราบ	8
รูปที่ 2.4	การดึงทำให้เกิดคอคอดระหว่างผิว	9
รูปที่ 2.5	กราฟแสดงถึงผลของแรงต่างๆต่อการยึดติดกันของอนุภาค.....	10
รูปที่ 2.6	แสดงพลังงานผิวของของแข็ง โควาลีนซ์.....	11
รูปที่ 2.7	แสดงพลังงานพื้นผิวของของแข็งไอออนิก.....	12
รูปที่ 2.8	การจัดเรียงอะตอมในผิวโลหะซึ่งประกอบด้วยระนาบ (100) (110) และ (111)	15
รูปที่ 2.9	การดูดซับแบบอหุภูมิคงที่ของแก๊สเมียร์.....	18
รูปที่ 2.10	การดูดซับในรูปแบบของแก๊สเมียร์.....	20
รูปที่ 2.11	การดูดซับแบบอหุภูมิคงที่ของเบทบนชั้นผิว.....	21
รูปที่ 2.12	กราฟการดูดซับแบบอหุภูมิคงที่ของเบท.....	23
รูปที่ 2.13	แผนภูมิสถานะของน้ำ.....	24
รูปที่ 3.1	แถบข่าวที่ใช้ในการสกัดซิลิกาจากซีเมนต์.....	33
รูปที่ 3.2	การวัดแรงยึดติดด้วยวิธีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง.....	35
รูปที่ 3.3	Angle of repose ของวัสดุผงที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน.....	36
รูปที่ 3.4	เครื่องมือวัดอัตราการไหลของวัสดุผง.....	37
รูปที่ 3.5	เครื่องอัดไฮดรอลิกส์ภายใต้กล้องควบคุมความชื้น.....	38
รูปที่ 3.6	อุปกรณ์สำหรับการดัมเบิลด้วยกรด.....	40
รูปที่ 3.7	ขั้นตอนการทดลอง.....	43
รูปที่ 4.1	ภาพถ่าย SEM ของผงเหล็ก.....	45
รูปที่ 4.2	ภาพถ่าย SEM ของผงทองแดง.....	46
รูปที่ 4.3	ภาพถ่าย SEM ของผงคาร์บอนและ Zinc stearate.....	47
รูปที่ 4.4	แรงยึดติดระหว่างอนุภาคผงเหล็กขนาด 10 ไมครอนที่ระดับความชื้นต่างกัน.....	48
รูปที่ 4.5	แรงยึดติดระหว่างอนุภาคผงเหล็กขนาด 110 ไมครอนที่ระดับความชื้นต่างกัน.....	49
รูปที่ 4.6	แรงยึดติดระหว่างอนุภาคผงทองแดงขนาด 33 ไมครอนที่ระดับความชื้นต่างกัน.....	49
รูปที่ 4.7	แรงยึดติดระหว่างอนุภาคผงทองแดงขนาด 74 ไมครอนที่ระดับความชื้นต่างกัน.....	50
รูปที่ 4.8	ผลการวัด Angle of repose ของผงโลหะชนิดต่างๆที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่างกัน.....	51

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 4.9 ผลการวัดอัตราการไหลของผงโลหะชนิดต่างๆที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่างกัน.....	53
รูปที่ 4.10 ผลการวัดความหนาแน่น Green compact ของผงเหล็กขนาด 110 ไมครอน.....	55
รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคชิ้นงาน Compact ของผงเหล็ก.....	56
รูปที่ 4.12 ผลการวัดความหนาแน่น Green compact ของผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน.....	57
รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค ชิ้นงาน Compact ของผงเหล็กขนาด 10 ไมครอน.....	59
รูปที่ 4.13 ผลการวัดความหนาแน่น Green compact ของผงทองแดง.....	60
รูปที่ 4.14 ผลการวัดความหนาแน่น Green compact ของผงโลหะผสม Fe-2Cu-0.4C.....	61
รูปที่ 4.15 ผลการวัดความหนาแน่น Green compact ของผงโลหะผสม Fe-2Cu-0.8C.....	61
รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค ชิ้นงาน Compact ของผงโลหะผสม Fe-2Cu-0.4C.....	63
รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค ชิ้นงาน Compact ของผงโลหะผสม Fe-2Cu-0.8C.....	64
รูปที่ 4.18 ค่าความแข็งของชิ้นงาน Fe sintered compact ขนาดผง 110 ไมครอน.....	66
รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ XRD ซึ่ได้แก่ลบบที่ไม่ผ่านการดัมกรด.....	68
รูปที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ XRD ซึ่ได้แก่ลบบที่ผ่านการดัมกรด.....	69
รูปที่ 4.21 การสูญเสียน้ำหนักของ Raw Rice Husk.....	70
รูปที่ 4.22 การสูญเสียน้ำหนักของ Treated Rice Husk.....	70
รูปที่ 4.23 พื้นที่ผิวจำเพาะของซึ่ได้แก่ลบบ.....	72
รูปที่ 4.24 ลักษณะพื้นผิวของซึ่ได้แก่ลบบ.....	73
รูปที่ 4.25 แกลบข้าวดิบ และแกลบข้าวที่ผ่านการดัมกรด.....	74
รูปที่ 4.26 ลักษณะและสีของซึ่ได้แก่ลบบ.....	74
รูปที่ 4.27 แสดงความสามารถในการดูดซับความชื้นของซึ่ได้แก่ลบบปริมาณต่างกัน	76
รูปที่ 4.28 ความสามารถในการดูดซับความชื้นของซึ่ได้แก่ลบบปริมาณ 50 กรัมในวัสดุผงแต่ละชนิด.....	76
รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดความชื้นใน โลหะผงด้วยซึ่ได้แก่ลบบและซิลิกาเจล.....	77