



PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY

FACULTY OF ENGINEERING

Final Examination : Semester 2

Academic Year : 2009

Date : February 20, 2010

Time : 9:00-12:00 น.

Subject : 237-510 Powder Metallurgy

Room : A201

ชื่อ-นามสกุล รหัสนักศึกษา ตอนเรียนที่

หมายเหตุ

1. ข้อสอบมีทั้งหมด 19 ข้อ คะแนนรวม 124 คะแนน ในกระดาษคำถาม 11 หน้า
2. ห้ามการหยิบยืมสิ่งใด ๆ ทั้งสิ้น จากผู้อื่น ๆ เว้นแต่ผู้คุมสอบจะหยิบยืมให้
3. ห้ามนำส่วนใดส่วนหนึ่งของข้อสอบออกจากห้องสอบ
4. ผู้ที่ประสงค์จะออกจากห้องสอบก่อนหมดเวลาสอบ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 30 นาที
ให้ยกมือขออนุญาตจากผู้คุมสอบก่อนจะลุกจากที่นั่ง
5. เมื่อหมดเวลาสอบ ผู้เข้าสอบต้องหยุดการเขียนใด ๆ ทั้งสิ้น
6. ผู้ที่ปฏิบัติเข้าข่ายทุจริตในการสอบ ตามประกาศคณะวิศวกรรมศาสตร์

มีโทษ คือ ปรับตกในรายวิชาที่ทุจริต และพักการเรียน 1 ภาคการศึกษา

7. ให้นักศึกษาสามารถนำสิ่งต่อไปนี้เข้าห้องสอบได้
 - เครื่องคิดเลข
 - กระดาษ A4 จัดด้วยลายมือตัวเอง 1 แผ่น

ให้ทำข้อสอบโดยใช้

- ดินสอ
- ปากกา

ผู้ออกข้อสอบ อ.นภิสพร มีมงคล

นักศึกษารับทราบ ลงชื่อ

สูตรความสัมพันธ์ที่สำคัญ

$$\rho_g = \rho_a H_0 / H$$

$$H = H_0 - \Delta H$$

$$\Psi = (\rho_s - \rho_g) / (\rho_T - \rho_g)$$

$$\rho_s = \rho_g / (1 - \Delta L/L_0)^3$$

$$C = C_0 [1 - (\gamma\Omega / kT)(R_1^{-1} + R_2^{-1})]$$

$$d\rho/dt = J A N \Omega$$

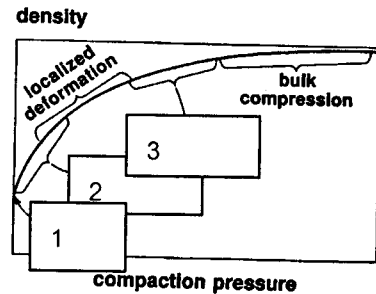
$$\varepsilon = 4\pi (r/G)^2$$

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{12 D_v \Omega}{kT G^3} \left(\frac{2\gamma}{r} - P_g \right)$$

s = sinter, g = green, T = theory, a = apparent, Ψ = densification parameter, ρ = density
 0 = initial

1. (5 คะแนน) จงอธิบายปรากฏการณ์ของการอัดขึ้นรูปตามลำดับขั้นตอน พร้อมทั้งให้ชื่อลักษณะหรือ
 พฤติกรรมที่เกิดขึ้นที่ระดับแรงอัดระดับต่างๆ (หมายเลข 1 2 และ 3 คือพฤติกรรมอะไร)

.....



หมายเลข 1 คือ.....

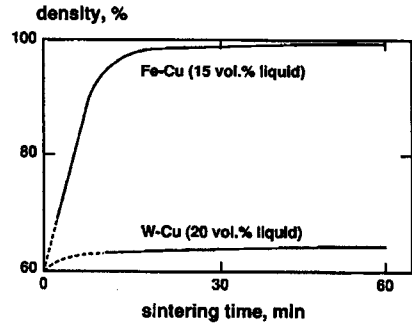
หมายเลข 2 คือ

หมายเลข 3 คือ

2. (5 คะแนน) ให้เปรียบเทียบความแข็งแรงกรีน (green strength) ของชิ้นงานที่ผ่านการอัด (green compact) ที่ได้จากการอัดขึ้นรูปผงรูปทรงไม่แน่นอน (irregular) และผงรูปทรงกลม (spherical) และเพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

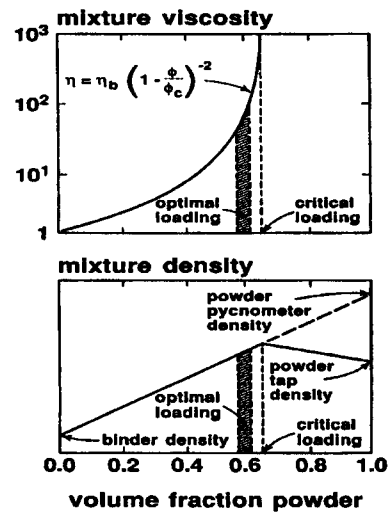
3. (5 คะแนน) เพราะเหตุใดการอบผงเหล็กผสมที่มีของเหลวเข้ามาเกี่ยวข้อง บางครั้งได้ความหนาแน่นหลังอบผงสูง (Fe-Cu) บางครั้งได้ความหนาแน่นหลังอบผงไม่สูง (W-Cu) อธิบายโดยภาพประกอบด้านล่าง

.....



4. (5 คะแนน) โดยทั่วไปการเพิ่มปริมาณผงให้มากขึ้นทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มขึ้น แต่ในการขึ้นรูปโดยวิธี Powder Injection Molding เพราะเหตุใดจึงไม่สามารถเพิ่มปริมาณผงได้มาก ให้อธิบายโดยใช้รูปประกอบด้านล่าง ซึ่งกำหนดให้ 2 รูป โดยรูปบนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของส่วนผสมและปริมาณผง ส่วนรูปด้านล่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของส่วนผสมกับปริมาณผง

.....



5. (3 คะแนน) ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกบรรยากาศในการอบผง มีอะไรบ้าง? ให้ออกมา 3 ข้อ
- 1.
 - 2.
 - 3.

6. (8 คะแนน) การปรับเปลี่ยนปัจจัยต่างๆ (factors) ในการอบผืน (sintering) วัสดุจากชิ้นงานกรีน (Green compact) เป็นชิ้นงานหลังอบผืน (Sintered compact) จะส่งผลกระทบต่ออย่างไรบ้าง

การปรับเปลี่ยนปัจจัยต่าง ๆ	ผลกระทบต่อ การอบผืน
ลดขนาดอนุภาค	
อบผืนเป็นเวลานานขึ้น	
เพิ่มอุณหภูมิอบผืน	
เพิ่มความหนาแน่นของชิ้นงานกรีน	

7. (8 คะแนน) จงเปรียบเทียบลักษณะการแน่นตัว พฤติกรรมของกลไกต่าง ๆ เวลาที่ใช้ และลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปทรงที่ได้จากการขึ้นรูปผงโลหะด้วยวิธี Hot Pressing, Hot Isostatic Pressing, powder forging และ cold compaction + sintering

กรรมวิธีการผลิต	ผลที่ได้ (output)
การอัดร้อน (Hot pressing)	
การอัดร้อนทุกทิศทาง (Hot isostatic pressing)	
การทุบขึ้นรูปผง (Powder forging)	
การอัดแน่น+การอบผืน (Cold compaction + sintering)	

8. (3 คะแนน) คุณคิดว่าในอุตสาหกรรมการขึ้นรูปจากวัสดุผง การหดตัว (shrinkage) ที่เกิดขึ้นในชิ้นงานจากการอบผืนวัสดุผง เป็นสิ่งที่ต้องการให้เกิดขึ้นหรือไม่ เพราะเหตุใด
9. (6 คะแนน) จงอธิบายความแตกต่างของอัตราการแน่นตัวที่เกิดขึ้น ในขั้นตอนกลาง (intermediate stage) และขั้นตอนสุดท้าย (final stage) ในการอบผืน
(ข้อแนะนำ : ให้อธิบายโดยใช้สมการอัตราการแน่นตัว ว่าขึ้นกับตัวแปรอะไรบ้าง และมีข้อจำกัดอะไรบ้าง)

10. (5 คะแนน) ชิ้นงานที่ผ่านการฉีดขึ้นรูปจากผงทองแดงชิ้นหนึ่ง และเมื่อนำไปผ่านการอบผึ่งก็มีความหนาแน่นหลังอบผึ่งเป็น 92% ของความหนาแน่นทฤษฎี และมีค่าความหดตัวหลังการอบผึ่งเท่ากับ 8.8% จงคำนวณหาความหนาแน่นของชิ้นงานทองแดงนี้หลังจากฉีดขึ้นรูปและก่อนนำไปอบผึ่ง

ความหนาแน่นเริ่มต้นคือ =%ของความหนาแน่นทฤษฎี

11. (5 คะแนน) ชิ้นงานผงอะลูมิเนียมชิ้นหนึ่งผ่านการอัดมีความหนาแน่นกรีนเป็น 69% ของความหนาแน่นทฤษฎี เมื่อนำไปอบผึ่งความหนาแน่นเปลี่ยนเป็น 96% ของความหนาแน่นทฤษฎี จงคำนวณหาพารามิเตอร์ของการแน่นตัว (densification parameter) และค่าความหดตัวเชิงเส้น (linear shrinkage)

Densification parameter = %, Shrinkage =%

12. (5 คะแนน) ให้อธิบายกระบวนการอัดแน่นเสมือนทุกทิศทาง (Pseudo-isostatic Compaction Technique) พร้อมวาดรูปประกอบ และอธิบายว่าผลที่ได้จากการอัดแน่นเสมือนทุกทิศทางมีความเหมือนหรือแตกต่างอย่างไรกับกรรมวิธี Uniaxial compaction และ Isostatic Compaction

13. จงตอบคำถามต่อไปนี้สั้นๆ

(ช่องละ 1 คะแนน เป็น 10 คะแนน)

- ก) พฤติกรรมแรกสุดของอนุภาคเมื่อเริ่มให้แรงดันในการขึ้นรูปด้วยการอัดขึ้นรูปผ่านแม่พิมพ์ คือ.....
- ข) แรงที่ใช้ในการดันชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ในการอัดขึ้นรูปคือ.....
- ค) จงยกตัวอย่างบรรยากาศการอบผงที่นิยมใช้มา 2 แบบ คือ
..... และ
- ง) ถ้าขนาดอนุภาคมีขนาดเล็กลง จะทำให้เวลาในการอบผง
- จ) ในการอบผงแบบ Liquid phase sintering ความสามารถในการแน่นตัว (Densification) ขึ้นกับ..... และ
- ฉ) การอัดขึ้นรูปผงสองชนิดที่ประกอบด้วยผงแข็ง (hard powder) และผงอ่อน (soft powder) ถ้าปริมาณของผงแข็งเพิ่มขึ้นมีผลกระทบต่ออะไรต่อการอัดขึ้นรูป
.....
- ช) การอบผงชนิดเดียวกันสองขนาด เมื่อผงขนาดใหญ่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลอย่างไรต่อความหนาแน่นหลังอบผง
.....
- ซ) ในการอบผงแบบ Liquid phase sintering กระบวนการที่เฟสของเหลวกลายเป็นพาหะสำหรับอะตอมเฟสของแข็ง เรียกว่า.....

14. (8 คะแนน) จงบอกถึงข้อดีข้อเสียของการผลิตชิ้นส่วนผสมที่ขึ้นรูปมาจาก Mixed powder และ Prealloyed powder

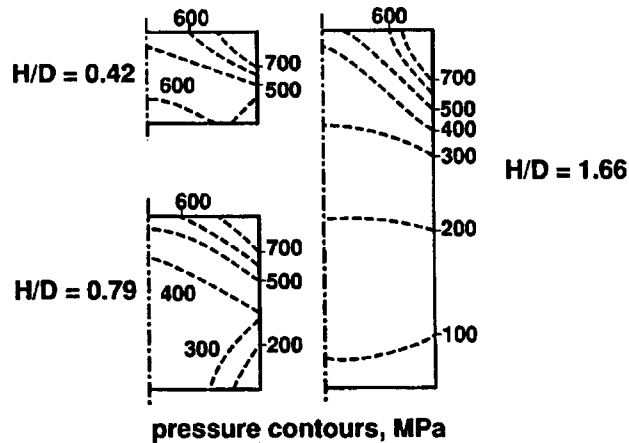
	ข้อดี	ข้อเสีย
Mixed powder		
Prealloyed powder		

15. (8 คะแนน) ให้สรุปผลจากปัจจัยความสามารถในการละลายที่สำคัญในการอบผนึกเฟสของเหลว ว่าลักษณะที่ได้เป็นอย่างไรบ้าง เกิดอะไรขึ้นบ้าง พร้อมทั้งยกตัวอย่างระบบที่เกิดขึ้นในแต่ละเงื่อนไข เติมลงในช่องว่างในตารางให้สมบูรณ์

		ความสามารถในการละลายของของแข็งในของเหลว	
		ต่ำ	สูง
ความสามารถในการละลายของของเหลวในของแข็ง	ต่ำ	ตัวอย่างระบบนี้ คือ	ตัวอย่างระบบนี้ คือ
	สูง	ตัวอย่างระบบนี้ คือ	ตัวอย่างระบบนี้ คือ

16. (ข้อย่อยละ 1 คะแนน รวมเป็น 10 คะแนน) ให้ตอบคำถามเกี่ยวกับการประยุกต์วิธีการโลหกรรมวัสดุผงในการผลิตชิ้นงานต่างๆ (Powder metallurgy Applications)
- ก) การเลือกวิธีการผลิตแบบ Powder forging จากผงอะลูมิเนียม-อะลูมินา เหมาะสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานอะไร.....
- ข) ให้บอกวิธีการผลิตลึ้นกลอนลูกบิดประตูดู อย่างละเอียด
.....
.....
- ค) การเตรียมสารไฮดรอกซีแอปพาไทต์ (Hydroxyapatite) สามารถเตรียมได้จากอะไรบ้าง บอกมาอย่างน้อย 2 ชนิด.....
- ง) เพราะเหตุใด แบริ่งชนิดหล่อลื่นในตัวเอง (Self-lubricating Bearings) จึงไม่สามารถผลิตโดยกรรมวิธีอื่นๆ ได้.....
- จ) ในการผลิตผ้าเบรกที่ใช้ในรถยนต์ ด้วยกรรมวิธีทางโลหกรรมวัสดุผง นิยมใช้ผงโลหะชนิดใด และด้วยเหตุผลอะไร.....
.....
- ฉ) กระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชุดโลหะตามกระดุกสันหลังที่พัฒนาโดยคนไทย (MTEC) ร่วมกับบริษัทเอกชนของญี่ปุ่น ทำจากโลหะผสมระหว่างอะไรบ้าง.....
- ช) ลักษณะสำคัญของชิ้นส่วนอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ใช้ในการผ่าตัด (clam) มีอะไรบ้าง ให้บอกมา 2 ข้อ และ
.....
- ซ) การอบผืนกึ่งสแตนคาร์ไบด์-โคบอลต์ WC-Co เพื่อนำมาผลิตเป็นเครื่องมือตัด (cutting tool) นิยมทำในบรรยากาศอะไร.....
- ฌ) ผงโลหะที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ประเภท Auto Transmission Sprockets ด้วยกรรมวิธีทางโลหกรรมวัสดุผง คืออะไร.....
- ฎ) ประโยชน์ของใบพัดมอเตอร์คืออะไร
.....
17. (5 คะแนน) จงอธิบายกรรมวิธีการอบผืนด้วยคลื่นไมโครเวฟ พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับวิธีการอบผืนแบบดั้งเดิม รวมถึงข้อดี และข้อจำกัดของการอบผืนด้วยคลื่นไมโครเวฟ

18. (6 คะแนน) ในการอัดขึ้นรูปแบบทิศทางเดียวกับผงทองแดง ชิ้นงานรูปทรงกระบอก โดยใช้ความดันคงที่ที่ 700 MPa ได้กราฟของการกระจายความดันโดยประมาณในชิ้นงาน ที่อัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ ดังนี้คือ 0.42 0.79 และ 1.66 ดังแสดงในรูป ให้อธิบายลักษณะของการกระจายความดันตามอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง พร้อมแสดงเหตุผล



19. (ข้อย่อยละ 2 คะแนน รวมเป็น 14 คะแนน) ให้ตอบคำถามเกี่ยวกับการนำเสนองานของเพื่อนๆ โดยการเติมลงในช่องว่างให้สมบูรณ์

- ก) สุวรรณชัย “การฉีดขึ้นรูปผงทองแดงโดยใช้สารยึดประเภทเทอร์โมพลาสติกที่มีส่วนผสมหลักเป็นซีฟิ่งพาราฟิน” อยากทราบว่าส่วนผสมรองอีกสองชนิดคืออะไรบ้าง
- ข) เสาวลักษณ์ “พฤติกรรมการอบผนึกและสมบัติเชิงกลของผงเซอร์โคเนียฉีดขึ้นรูป” ในการฉีดขึ้นรูปมีการใช้สารยึดประเภทสารอินทรีย์ อยากทราบว่าการทำงานจัดสรรยึดออกจากชิ้นงานภายหลังการฉีดขึ้นรูป ทำอย่างไร
- ช) สิริพร “การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคขณะอบผนึกของผงอะตอมไมซ์ (ด้วยน้ำ/แก๊ส) เหล็กกล้าไร้สนิม 316L ที่ผ่านการฉีดขึ้นรูป” ในงานวิจัยนี้มีการใช้ Dilatometry อยากทราบว่าวิธีการ Dilatometry เป็นอย่างไร มีวัตถุประสงค์เพื่ออะไร

- ค) ทศน์ชพร “ผลกระทบของสารหล่อลื่นผนังแม่พิมพ์ต่อการอัดขึ้นรูปแบบอุณหทางโลหกรรมวัสดุผง”
อยากทราบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารหล่อลื่นเพิ่มขึ้น มีผลต่อความหนาแน่น ความแข็งแรงดึง
และระยะยืดอย่างไร
- ง) สุวาลี “พฤติกรรมการอบผืนึก โครงสร้างจุลภาค และสมบัติของ TiC-FeCr hard alloy” ในการ
ทดลองที่ช่วงอุณหภูมิ 1300-1400 °C เมื่ออุณหภูมิอบผืนึกสูงขึ้นส่งผลต่อความหนาแน่น และ
ความแข็ง อย่างไร
- จ) ชัยยุทธ “การอัดขึ้นรูป การอบผืนึก และสมบัติเชิงกล ของผงอะลูมิเนียม 6061 แบบมีและไม่มี
สารช่วยในการอบผืนึก” จากการทดลองอบผืนึก Al6061 โดยศึกษาผลจากการใส่สารช่วยการ
อบผืนึกสามชนิด คือ ดีบุก ตะกั่ว และเงิน คุณคิดว่าโลหะชนิดใดที่ทำให้ได้ความหนาแน่นของ
Al 6061 หลังอบผืนึกสูงที่สุด
- ฉ) เจนณรงค์ “การเตรียมและพฤติกรรมการอบผืนึกของผงวัสดุผสมอะลูมินา/ไททาเนียขนาดนาโน
โดยการเติมสารเจือ” อยากทราบว่าในการอบผืนึกเซรามิกผสม (อะลูมินา/ไททาเนีย) ผลจาก
การเติมสารเจือ (dopants) ส่งผลกระทบอย่างไรต่ออุณหภูมิอบผืนึกและการแน่นตัว
- ช) สิริพร “การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคขณะอบผืนึกของผงอะตอมไมซ์ (ด้วยน้ำ/แก๊ส)
เหล็กกล้าไร้สนิม 316L ที่ผ่านการฉีดขึ้นรูป” ในงานวิจัยนี้มีการใช้ Dilatometry อยากทราบว่า
วิธีการ Dilatometry เป็นอย่างไร มีวัตถุประสงค์เพื่ออะไร