การแทรกซึมและการเผาประสานแบบเฟสของเหลวของผงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ด้วยทองแดง

นางสาวอรมณี คูวัฒนาชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2525-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I2104403X

INFILTRATION AND LIQUID PHASE SINTERING OF STAINLESS STEEL POWDER TYPE AISI 409L WITH COPPER

Miss Ornmanee Coovattanachai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Metallurgical Engineering

Department of Metallurgical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2525-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแทรกซึมและการเผาประสานแบบเฟสของเหลวของผงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ด้วยทองแดง
โดย	นางสาวอรมณี คูวัฒนาชัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมโลหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไสว ด่านชัยวิจิตร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. เรืองเดช ธงศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศรีเจริญชัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไสว ด่านชัยวิจิตร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร. เรืองเดช ธงศรี)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ)

อรมณี คูวัฒนาชัย : การแทรกซึมและการเผาประสานแบบเฟสของเหลวของผงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ด้วยทองแดง. (Infiltration and Liquid Phase Sintering of Stainless Steel Powder Type AISI 409L with Copper) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ไสว ด่านชัยวิจิตร, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร. เรืองเดช ธงศรี 72หน้า. ISBN 974-17-2525-6

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบการแทรกซึมและการเผาประสานแบบเฟสของเหลวในชิ้นงานที่ขึ้นรูปจากผงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ด้วยกระบวนการทางโลหะผง โดยเริ่มจากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเผาประสานชิ้นงาน แล้วใช้สภาวะดังกล่าวศึกษาการแทรกซึมด้วยทองแดงและการเผาประสานแบบเฟสของเหลวด้วยทองแดงโดยใช้ทองแดงปริมาณ 2, 4, 6, และ 8% ของน้ำหนักชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม จากนั้นทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และความต้านทานการกัดกร่อนของชิ้นงานที่ได้ จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเผาประสานชิ้นงานที่ขึ้นรูปจากผงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจนคือที่อุณหภูมิ 1350 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 45 นาที จากการแทรกซึมและการเผาประสานแบบเฟสของเหลวพบว่าเมื่อปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้น ชิ้นงานมีความแข็งแรง ณ จุดคราก ความต้านทานแรงดึง และความแข็งดีขึ้น และสำหรับชิ้นงานที่ผ่านการแทรกซึมจะมีความหนาแน่นและความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนมากขึ้น แต่ชิ้นงานที่ผ่านการเผาประสานแบบเฟสของเหลวจะมีความหนาแน่นและความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนลดลงเมื่อปริมาณทองแดงเพิ่มสูงขึ้น จากการทดลองสรุปได้ว่าการแทรกซึมเป็นวิธีที่มีประสิทธิผลกว่าการเผาประสานแบบเฟสของเหลวในการปรับปรุงสมบัติต่างๆของชิ้นงานในงานวิจัยนี้

ภาควิชา.....วิศวกรรมโลหการ..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโลหการ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2545... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4270650721 : MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEY WORD: FERRITIC / STAINLESS STEEL POWDER / 409L / INFILTRATION / LIQUID PHASE SINTERING

ORNMANEE COOVATTANACHAI : THESIS TITLE. (INFILTRATION AND LIQUID PHASE SINTERING OF STAINLESS STEEL POWDER TYPE AISI 409L WITH COPPER) THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. DR. SAWAI DANCHAIVIJIT, THESIS COADVISOR : DR. RUANGDAJ TONGSRI, 72 pp. ISBN 974-17-2525-6

In this research, infiltration and liquid phase sintering processes for densification of 409L stainless steel powders were performed and compared. Optimum condition for sintering the P/M parts made from 409L stainless steel powders was determined. This condition was employed for infiltration and liquid phase sintering using 2, 4, 6, and 8w/o copper as an infiltrant and liquid phase forming powders respectively. Physical and mechanical properties and corrosion resistance of the sintered parts were tested. Experimental results showed that the optimum condition for sintering of P/M parts from 409L stainless steel powders was 1350°C for 45 minutes under pure hydrogen atmosphere. The yield strength, tensile strength and hardness were increased with increasing copper content for both infiltrated and liquid phase sintered parts. With increasing copper content, the density and corrosion resistance increased for the infiltrated parts but decreased for the liquid phase sintered parts. As a result, infiltration process was more promising than liquid phase sintering for this study.

Department.....Metallurgical Engineering..... Student's signature.....

Field of study...Metallurgical Engineering.... Advisor's signature.....

Academic year.....2002..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือและความกรุณาจาก ผศ.ดร. ไสว ด่านชัยวิจิตร อาจารย์ที่ปรึกษา และ ดร. เรืองเดช ธงศรี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงกำลังใจอันมีค่ายิ่งในการฝ่าฟันอุปสรรคต่างๆที่เกิดขึ้น ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งใจเป็นอย่างมากและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนในด้านเงินทุนและเครื่องมือต่างๆ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงนักวิจัยและผู้ช่วยนักวิจัยท่านอื่นๆที่มิได้เอ่ยนาม ณ ที่นี้ที่ได้ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจให้สามารถดำเนินงานสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆและน้องๆในโปรแกรมวัสดุผง (PMP) ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำการทดลองและการทำงานด้านอื่นๆ ตลอดจนเป็นกำลังใจให้สามารถทำวิจัยได้ต่อเนื่องและราบรื่นตลอดมา

ขอขอบคุณท่านอาจารย์และเจ้าหน้าที่ รวมถึงเพื่อนๆและพี่ๆที่ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในทุกๆด้านตลอด 4 ปีที่ผ่านมา ทำให้ผู้เขียนได้รับรู้ถึงความห่วงใยและความผูกพันธ์ที่มีต่อกันในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งถือได้ว่าเป็นช่วงเวลาที่ดีช่วงหนึ่งในชีวิตการศึกษาเลยทีเดียว

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดาที่ได้เลี้ยงดูและอบรมสั่งสอนในทุกๆด้าน ตลอดจนช่วยเหลือและสนับสนุนในทุกๆอย่างจนผู้เขียนสามารถสำเร็จการศึกษาได้ในวันนี้ และขอขอบคุณญาติพี่น้องทุกคนที่ช่วยเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฎ
สารบัญรูปภาพ.....ฎ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

2.1 เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L.....4
2.2 การผลิตชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยกระบวนการทางโลหะผง.....6
2.2.1 การผสมผง.....8
2.2.2 การอัดขึ้นรูป.....8
2.2.3 การเผาไล่ตัวประสาน.....8
2.2.4 การเผาประสาน.....9
2.3 เทคนิคการแทรกซึม.....10
2.4 การเผาประสานแบบเฟสของเหลว.....14

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....20
3.1.1 วัสดุผง.....20
3.1.2 แผ่นทองแดง.....22
3.1.3 ก๊าซ (บรรยากาศที่ใช้ในการเผาประสาน).....22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 22
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....23
3.3.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการเผาประสานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L.....23
3.3.2 การแทรกซึมเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L ด้วยทองแดง.....24
3.3.2.1 การแทรกซึมแบบ 2 ขั้นตอน.....24
3.3.2.2 การแทรกซึมแบบขั้นตอนเดียว.....25
3.3.3 การเผาประสานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L แบบเฟสของเหลว.....27

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเผาประสานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L.....28
4.1.1 ผลการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาประสานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L.....28
4.1.2 ผลการหาเวลาที่เหมาะสมในการเผาประสานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L.....32
4.2 ผลการแทรกซึมชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L ด้วยทองแดง.....35
4.2.1 ผลการแทรกซึมแบบ 2 ขั้นตอน.....35
4.2.2 ผลการแทรกซึมแบบขั้นตอนเดียว.....36
4.3 ผลการเผาประสานชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L แบบเฟสของเหลว.....44

บทที่ 5 อภิปรายผลการทดลอง

5.1 ผลของทองแดงในกระบวนการแทรกซึม.....48
5.1.1 ผลต่อสมบัติทางกายภาพ.....48
5.1.2 ผลต่อสมบัติทางกล.....48
5.2 ผลของทองแดงต่อการเผาประสานแบบเฟสของเหลว.....49
5.2.1 ผลต่อสมบัติทางกายภาพ.....49
5.2.2 การต่อสมบัติทางกล.....50
5.3 ผลของทองแดงต่อการเกิดการกัดกร่อน.....50
5.3.1 ผลของทองแดงในการแทรกซึม.....50
5.3.2 ผลของทองแดงต่อการเผาประสานแบบเฟสของเหลว.....51

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง.....52

6.2 ข้อเสนอแนะ.....53

รายการอ้างอิง.....54

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก Stress-Strain Curve.....55

ภาคผนวก ข Polarization Curve.....66

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....72

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 การจับคู่ระหว่างโลหะที่ใช้เป็นตัวแทรกซึมกับโลหะที่เป็นชิ้นงานหลัก.....12

2.2 ผลของความสามารถในการละลายต่อการหดตัวและขยายตัวของชิ้นงานที่ผ่านการเผาประสานแบบเฟสของเหลว.....17

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของชิ้นงานหลังการเผาประสานแบบเฟสของเหลว.....18

3.1 ส่วนประกอบทางเคมี (w/o) ของผงเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L (Hoganas).....20

3.2 สมบัติอื่นๆของผงเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L (Hoganas).....21

3.3 ส่วนประกอบทางเคมีของผงทองแดง (OMG).....21

3.4 สมบัติอื่นๆของผงทองแดง (OMG).....21

4.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นและสมบัติทางกลของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L ที่ผ่านการเผาประสานที่อุณหภูมิต่างๆ.....28

4.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นและสมบัติทางกลของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L ที่ผ่านการเผาประสานที่เวลาต่างๆ.....32

4.3 ผลการทดสอบความหนาแน่นและสมบัติทางกลของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L ที่ผ่านการแทรกซึมด้วยทองแดงแบบต่างๆ.....41

4.4 อัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L ที่ผ่านการแทรกซึมด้วยทองแดงแบบผงทองแดงผสม H-WACHS และแบบแผ่น.....44

4.5 ผลการทดสอบความหนาแน่นและสมบัติทางกลของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L ผสมทองแดงที่ผ่านการเผาประสานแบบเฟสของเหลว.....45

4.6 อัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L ที่ผ่านการเผาประสานแบบเฟสของเหลว.....45

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 แผนภาพแสดงระบบไอเสียรถยนต์ด้านร้อน (Hot end).....5

2.2 แผนภาพแสดงระบบไอเสียรถยนต์ด้านเย็น (Cold end).....6

2.3 ตัวอย่างการใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L.....6

2.4 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการผลิตชิ้นงานด้วยกระบวนการ P/M.....7

2.5 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการเกิดการแทรกซึม.....10

2.6 แผนภาพแสดงวิธีการแทรกซึมแบบต่างๆ.....11

2.7 ลักษณะการเปียกของโลหะหลอมเหลวบนผิวชิ้นงานหลักและมุมสัมผัส.....13

2.8 แผนภาพแสดงกลไกการเผาประสานแบบเฟสของเหลว.....15

2.9 แบบจำลองกลไกการเกิดการเผาประสานแบบเฟสของเหลว.....16

2.10 ผลของการละลายต่อการหดและการขยายตัวของชิ้นงาน.....17

3.1 ภาพถ่ายผงเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L (Hoganas) (SEM, x150).....20

3.2 ชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E 8-96.....23

3.3 แผนภูมิการเผาประสานชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L.....24

3.4 ลักษณะของทองแดงที่ใช้เป็นตัวแทรกซึม.....26

3.5 ลักษณะการวางทองแดง (Infiltrant) บนชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมในการแทรกซึม.....26

4.1 กราฟแสดงผลการทดสอบชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L ที่ผ่านการเผาประสานภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจนเป็นเวลา 45 นาทีที่อุณหภูมิ 1250, 1300, 1350, 1400 และ 1450°C.....29

4.2 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านการเผาประสานภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจนเป็นเวลา 45 นาทีที่อุณหภูมิ 1250, 1300, 1350, 1400 และ 1450°C.....30

4.3 กราฟแสดงผลการทดสอบชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L ที่ผ่านการเผาประสานภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 30, 45 และ 60 นาที.....33

4.4 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านการเผาประสานภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 1350°C เป็นเวลา 30, 45 และ 60 นาที.....34

4.5 ชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L ที่ผ่านการแทรกซึมด้วยทองแดงปริมาณ 6% แบบ 2 ขั้นตอน.....35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

4.6 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานในรูปที่ 4.5.....36

4.7 ลักษณะการแตกของตัวแทรกซึมที่เตรียมจากผงทองแดงไม่ผสมตัวประสาน.....37

4.8 กราฟแสดงจุดหลอมเหลวของ H-WACHS.....39

4.9 กราฟแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของ H-WACHS 39

4.10 ชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L ที่ผ่านการแทรกซึมแบบขั้นตอนเดียวจากตัวแทรกซึมทั้ง 3 แบบ.....40

4.11 กราฟแสดงผลการทดสอบชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L ที่ผ่านการแทรกซึมด้วยทองแดง 2 แบบที่ปริมาณ 2%, 4%, 6% และ 8% 42

4.12 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านการแทรกซึมด้วยทองแดงปริมาณต่างๆ.....43

4.13 ชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L ผสมทองแดง 2%, 4%, 6% และ 8% ที่ผ่านการเผาประสานแบบเฟสของเหลว.....44

4.14 กราฟแสดงผลการทดสอบชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L ที่ผ่านการเผาประสานแบบเฟสของเหลว.....46

4.15 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านการเผาประสานแบบเฟสของเหลว.....47