ผลของวาเนเดียมที่ละลายในบอแรกซ์หลอมเหลวต่อการเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์
โดยกระบวนการ ทีดี

นาย ชัยวัฒน์ จงประสิทธิผล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6556-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I22038981

EFFECT OF SOLUBLE VANADIUM IN FUSED BORAX ON VANADIUM CARBIDE COATING BY TD PROCESS

Mr. Chaiwat Chongprasitipol

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2004

ISBN 974-17-6556-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของวาเนเดียมที่ละลายในบอแรกซ์หลอมเหลวต่อการเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์โดยกระบวนการ ทีดี
โดย	นายชัยวัฒน์ จงประสิทธิผล
สาขาวิชา	วิศวกรรมโลหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชาคร จารุพิสิฐธร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย)

..... กรรมการ

(อาจารย์ สุวันชัย พงษ์สุกิจวัฒน์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชัยวัฒน์ จงประสิทธิผล : ผลของวาเนเดียมที่ละลายในบอแรกซ์หลอมเหลวต่อการเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์โดยกระบวนการ ทีดี (EFFECT OF SOLUBLE VANADIUM IN FUSED BORAX ON VANADIUM CARBIDE COATING BY TD PROCESS)
อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย : 64 หน้า. ISBN 974-17-6556-8.

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้ คือ ศึกษาผลของวาเนเดียมที่ละลายในบอแรกซ์หลอมเหลวต่อความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์บนผิวเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่สภาวะบรรยากาศด้วยกระบวนการ ทีดี ปริมาณเฟอร์โรวาเนเดียมที่ใช้ในการทดลองคือ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก รีดิวเซอร์ที่ใช้ในการทดลอง คือ อะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การทดลองแปรผันเวลาการกวนเฟอร์โรวาเนเดียมในบอแรกซ์หลอมเหลวระหว่าง 1 ถึง 4 ชั่วโมง หรือ แช่เฟอร์โรวาเนเดียมในบอแรกซ์หลอมเหลวโดยไม่กวนเป็นเวลา 1 ถึง 3 ชั่วโมง อุณหภูมิที่ใช้ในการเคลือบผิวคือ 1000°C และเวลาในการเคลือบผิวอยู่ในช่วง 1 ถึง 4 ชั่วโมง ความหนาชั้นเคลือบถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง และวัดความหนาชั้นเคลือบด้วยโปรแกรม AxioVision วิเคราะห์บอแรกซ์ด้วยวิธี XRD พบว่าการกวนและการแช่เฟอร์โรวาเนเดียมในบอแรกซ์หลอมเหลว ก่อนที่จะเติมอะลูมิเนียมมีผลต่อความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ การกวนนานขึ้นจะทำให้ความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์มากขึ้น การกวนเฟอร์โรวาเนเดียมในบอแรกซ์หลอมเหลว 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ได้ความหนาชั้นเคลือบเพิ่มขึ้นตามลำดับ การแช่เฟอร์โรวาเนเดียมในบอแรกซ์หลอมเหลวได้ความหนาชั้นเคลือบน้อยกว่าการกวนที่เวลาเท่ากัน แช่ 3 ชั่วโมงโดยไม่กวน ได้ความหนาชั้นเคลือบใกล้เคียงกับความหนาชั้นเคลือบที่ได้จากการกวนเฟอร์โรวาเนเดียมในบอแรกซ์หลอมเหลวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แต่การกวนร่วมกับแช่มีผลต่อความหนาชั้นเคลือบมากที่สุดโดยกวน 5 นาทีร่วมกับแช่ 1 ชั่วโมง ได้ความหนาชั้นเคลือบใกล้เคียงกับความหนาชั้นเคลือบที่ได้จากการกวนเฟอร์โรวาเนเดียมในบอแรกซ์หลอมเหลวเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโลหการ ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมโลหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2547 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4470272321 : MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEY WORD: TD PROCESS / VANADIUM CARBIDE / BORAX SALT BATH / FERROVANADIUM

CHAIWAT CHONGPRASITIPOL : EFFECT OF SOLUBLE VANADIUM IN FUSED BORAX ON VANADIUM CARBIDE COATING BY TD PROCESS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PRASONK SRICHAROENCHAI, D.Eng., 64 pp. ISBN 974-17-6556-8.

The objective of this thesis was to study effect of soluble vanadium in fused borax on vanadium carbide coating layer of D2 steel in molten borax salt bath under ambient atmosphere by TD process. The ferrovanadium content for this experiment was 15 weight percent. The reducer for this experiment was aluminum and this content was 1 weight percent. This experiment varied stirring time between 1 - 4 hours or varied holding time with out stirring for 1 -3 hours. The coating temperature was 1000°C. The coating time was varied in range of 1 - 4 hours. Thickness of coating layer was investigated by optical microscope and was measured by program AxioVision. The borax was analyzed by XRD. It was found that stirring and soaking ferrovanadium inside molten borax bath before adding aluminum affected coating carbide layer thickness. Coating layer thickness of specimens in bath increase when stirring time increase. Coating layer thickness of specimens in stirring molten borax bath for 1, 2 and 3 hour was increasing respectively. Coating layer thickness of specimens soaking in molten borax bath was less than that in bath stirring molten borax for the equal treatment time. Coating layer thickness of specimens soaking in molten borax bath for 3 hour was nearly that in bath stirring for 1 hour. Stirring together with soaking in molten borax bath has most effect on layer thickness. Coating layer thickness of specimens in stirring molten borax bath for 5 minutes together with soaking in molten borax for 1 hour was nearly that in bath stirring for 3 hour

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department....Metallurgical engineering....Student's signature....Chaiwat Chongprasitipol....

Field of study..Metallurgical engineering....Advisor's signature....Prasonk Sricharoenchai....

Academic year.....2004.....Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยด้วยดีมาตลอด ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชาคร จารุพิสิฐธร อาจารย์ สุวันชัย พงษ์สุกิจวัฒน์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยและการทำงานด้วยดีมาตลอด ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ชิ้นงานการวิจัย

ท้ายนี้ ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และครอบครัว ซึ่งสนับสนุนในด้านต่างๆ ด้วยดีเสมอมาและให้กำลังใจแก่ผู้เขียนด้วยดีมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณครูและอาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนผู้เขียนมาตลอดตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และผู้เขียนขอขอบคุณ เพื่อนๆ ที่เป็นทั้งแรงกายและแรงใจแก่ผู้เขียนด้วยดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญ		ช
สารบัญตาราง		ฌ
สารบัญรูป		ญ
บทที่		
1	บทนำ	1
	1.1 ความสำคัญของงานวิจัย	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
	1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2	ปริทรรศน์วรรณกรรม	4
3	ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง	13
	3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	13
	3.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน	13
	3.3 เงื่อนไขในการทดลอง	14
	3.4 ขั้นตอนการเคลือบผิว	14
	3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์เกลือบอแรกซ์	15

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	ผลการทดลองและการอภิปราย	17
	4.1 อิทธิพลของการกวนต่อชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์	17
	4.1.1 อิทธิพลของเวลาการกวนเฟอร์โรวาเนเดียม ต่อชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์	17
	4.1.2 อิทธิพลของการกวน และการแช่เฟอร์โรวาเนเดียมต่อชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์	25
	4.1.3 อิทธิพลของการกวนร่วมกับการแช่เฟอร์โรวาเนเดียมต่อชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์	29
	4.1.4 อิทธิพลของการกวนร่วมกับการแช่ และการกวนเฟอร์โรวาเนเดียมเป็นระยะๆต่อชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์	33
	4.2 อิทธิพลของเวลาต่อชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์	37
	4.3 อิทธิพลของการเติมรีดิวเซอร์ต่อชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์	38
5	สรุปผลการทดลอง	46
รายการอ้างอิง		47
ภาคผนวก		48
ภาคผนวก ก.		49
ภาคผนวก ข.		58
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์		64

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความสามารถในการละลายของธาตุที่ฟอร์มคาร์ไบด์ในบอแรกซ์	9
3.1	ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น D2 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	14
4.1	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึม (K) ที่ได้จากการทดลอง	38
ก.1	ความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากการเคลือบผิวเหล็กกล้า D2 ที่อุณหภูมิ 1000 °C โดยทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวเป็นเวลา 1 ชั่วโมง	49
ก.2	ความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากการเคลือบผิวเหล็กกล้า D2 ที่อุณหภูมิ 1000 °C โดยทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวเป็นเวลา 2 ชั่วโมง	50
ก.3	ความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากการเคลือบผิวเหล็กกล้า D2 ที่อุณหภูมิ 1000 °C โดยทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวเป็นเวลา 3 ชั่วโมง	51
ก.4	ความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากการเคลือบผิวเหล็กกล้า D2 ที่อุณหภูมิ 1000 °C โดยทำการแช่บอแรกซ์หลอมเหลวเป็นเวลา 3 ชั่วโมง	52
ก.5	ความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากการเคลือบผิวเหล็กกล้า D2 ที่อุณหภูมิ 1000 °C โดยทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวเป็นเวลา 5 นาทีและแช่ 1 ชั่วโมง	53
ก.6	ความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากการเคลือบผิวเหล็กกล้า D2 ที่อุณหภูมิ 1000 °C โดยทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวเป็นเวลา 5 นาทีทุกๆ 30 นาที	54

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ขั้นตอนทั่วไปของการอบชุบความร้อนในกระบวนการ TD	4
2.2	หลักการของการเกิดชั้นเคลือบคาร์ไบด์บนชิ้นงานด้วยกระบวนการเคลือบ TD	5
2.3	ผลของอุณหภูมิและเวลา ต่อความหนาของชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ บนเหล็กกล้าเครื่องมือ W1 ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่มีผงเฟอร์โรวาเนเดียม 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก	6
2.4	ผลของปริมาณคาร์บอนในเนื้อเหล็กกล้าชนิดต่างๆ ต่อความหนาของชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่มีผงเฟอร์โรวาเนเดียม 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเคลือบผิวนาน 4 ชั่วโมง	7
2.5	ผลของอุณหภูมิอ่างเกลือ และชนิดของเหล็ก ต่อเวลาในการเคลือบที่ทำ ให้ได้ชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์หนา 7 และ 4 ไมโครเมตรในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว	8
2.6	ผลของการเปลี่ยนแปลงเวลาทำปฏิกิริยาของอ่างเกลือ เป็นเวลา 25 และ 50 ชั่วโมง โดยเคลือบเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 950°C	10
2.7	ผลของการเปรียบเทียบชนิดของสารฟอร์มคาร์ไบด์ระหว่าง FeV และ V_2O_5 ที่อุณหภูมิ 1000°C	10
2.8	ผลของขนาดของผงต่อความหนาชั้นเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C โดยใช้เวลาเคลือบ 3,6 และ 9 ชั่วโมง	11
3.1	เครื่องกวนความเร็ว 35.6 รอบต่อนาทีและใบกวนสเตนเลส	13
3.2	แสดงขั้นตอนการทดลองการเคลือบผิว	16
4.1	ผลของความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ ของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวที่อุณหภูมิ 1000°C ในอ่างเกลือบอแรกซ์ที่ ทำการกวนเป็นเวลา 1 ถึง 3 ชั่วโมง	18

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.2	รูปโครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงานของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่เคลือบผิวที่อุณหภูมิ 1000°C ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่เติม Fe-V 15% และ Al 1%โดยน้ำหนัก ทำการกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1, (ข) 2.25 และ (ค) 4 ชั่วโมง	19
4.3	รูปโครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงานของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่เคลือบผิวที่อุณหภูมิ 1000°C ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่เติม Fe-V 15% และ Al 1% โดยน้ำหนัก ทำการกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1, (ข) 2.25, (ค) 4 และ (ง) 6.25 ชั่วโมง	20
4.4	รูปโครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงานของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่เคลือบผิวที่อุณหภูมิ 1000°C ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่เติม Fe-V 15% และ Al 1% โดยน้ำหนัก ทำการกวนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และเคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1, (ข) 2.25 และ (ค) 4 ชั่วโมง	21
4.5	แสดงรูปแบบพีค XRD ของบอแรกซ์ที่ผ่านการกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่เติมเฟอร์โรวาเนเดียม 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 1000°C	23
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่ 2 ของเวลาการเคลือบผิว และความหนาชั้นเคลือบของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวโดยกวน Fe-V 15 %ในบอแรกซ์หลอมเหลว 1, 2 และ 3 ชั่วโมง และเติม Al 1 %โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 1000°C	24
4.7	ผลของความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ ของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวที่อุณหภูมิ 1000°C ในอ่างเกลือบอแรกซ์ที่ทำการกวน เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หรือ แช่เป็นเวลา 3 ชั่วโมง	26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.8	รูปโครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงานของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่เคลือบผิวที่อุณหภูมิ 1000°C ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่เติม Fe-V 15% และ Al 1% โดยน้ำหนัก ทำการแช่เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และเคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1, (ข) 2.25, (ค) 4 และ (ง) 6.25 ชั่วโมง	27
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่ 2 ของเวลาการเคลือบผิว และความหนาชั้นเคลือบของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวโดยกวน หรือ แช่ Fe-V 15% ในบอแรกซ์หลอมเหลวเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และเติม Al 1% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 1000°C	28
4.10	ผลของความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ ของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวที่อุณหภูมิ 1000°C ในอ่างเกลือบอแรกซ์ที่ ทำการกวน เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หรือ กวน 5 นาทีและแช่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	30
4.11	รูปโครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงานของเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น D2 ที่เคลือบผิวที่อุณหภูมิ 1000°C ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่เติม Fe-V 15% และ Al 1% โดยน้ำหนัก ทำการกวนเป็นเวลา 5 นาทีแล้วแช่ต่อเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1, (ข) 2.25 และ (ค) 4 ชั่วโมง	31
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่ 2 ของเวลาการเคลือบผิว และความหนาชั้นเคลือบของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวโดยกวน Fe-V 15% เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หรือ กวน 5 นาทีและแช่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในบอแรกซ์หลอมเหลว และเติม Al 1% โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 1000°C	32
4.13	ผลของความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ ของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวที่อุณหภูมิ 1000°C ในอ่างเกลือบอแรกซ์ที่ ทำการ กวน 5 นาทีและแช่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือ กวน 5 นาทีทุกๆ 30 นาที	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.14	รูปโครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงานของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่เคลือบผิวที่อุณหภูมิ 1000°C ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่เติม Fe-V 15% และ Al 1% โดยน้ำหนัก ทำการกวนเป็นเวลา 5 นาทีทุก 30 นาที และเคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1, (ข) 2.25, (ค) 4 และ (ง) 6.25 ชั่วโมง	35
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่ 2 ของเวลาการเคลือบผิว และความหนาชั้นเคลือบของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวโดยกวน Fe-V 5 นาทีและแช่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือ กวน Fe-V 5 นาทีทุกๆ 30 นาที ในบอแรกซ์หลอมเหลว และเติม Al 1% โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 1000°C	36
4.16	ผลของความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ ของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวที่อุณหภูมิ 1000°C ในอ่างเกลือบอแรกซ์ที่ ทำการกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง	39
4.17	ผลของความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ ของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวที่อุณหภูมิ 1000°C ในอ่างเกลือบอแรกซ์ที่ ทำการกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง	40
4.18	ผลของความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ ของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวที่อุณหภูมิ 1000°C ในอ่างเกลือบอแรกซ์ที่ ทำการกวนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง	41
4.19	ผลของความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ ของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวที่อุณหภูมิ 1000°C ในอ่างเกลือบอแรกซ์ที่ ทำการแช่เป็นเวลา 3 ชั่วโมง	42
4.20	ผลของความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ ของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวที่อุณหภูมิ 1000°C ในอ่างเกลือบอแรกซ์ที่ ทำการกวนเป็นเวลา 5 นาทีและแช่ 1 ชั่วโมง	43
4.21	ผลของความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ ของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวที่อุณหภูมิ 1000°C ในอ่างเกลือบอแรกซ์ที่ ทำการกวนเป็นเวลา 5 นาทีทุกๆ 30 นาที	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.22	รูปโครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงานของเหล็กกล้าเครื่องมือD2 ที่เคลือบผิวที่อุณหภูมิ 1000°C ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่เติม Fe-V 15% โดยน้ำหนัก ทำการกวนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง และเคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1, (ข) 2.25 และ (ค) 4 ชั่วโมง	45
ข.1	ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่ 2 ของเวลาการเคลือบผิวและความหนาชั้นเคลือบของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวโดยกวน Fe-V 15 %ในบอแรกซ์หลอมเหลว 1 ชั่วโมง และเติม Al 1 %โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 1000°C	58
ข.2	ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่ 2 ของเวลาการเคลือบผิวและความหนาชั้นเคลือบของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวโดยกวน Fe-V 15 %ในบอแรกซ์หลอมเหลว 2 ชั่วโมง และเติม Al 1 %โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 1000°C	59
ข.3	ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่ 2 ของเวลาการเคลือบผิวและความหนาชั้นเคลือบของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวโดยกวน Fe-V 15 %ในบอแรกซ์หลอมเหลว 3 ชั่วโมง และเติม Al 1 %โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 1000°C	60
ข.4	ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่ 2 ของเวลาการเคลือบผิวและความหนาชั้นเคลือบของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวโดยแช่ Fe-V 15 %ในบอแรกซ์หลอมเหลว 3 ชั่วโมง และเติม Al 1 %โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 1000°C	61
ข.5	ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่ 2 ของเวลาการเคลือบผิวและความหนาชั้นเคลือบของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวโดยกวน Fe-V 15 % เป็นเวลา 5 นาทีและแช่ 1 ชั่วโมงในบอแรกซ์หลอมเหลว และเติม Al 1 %โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 1000°C	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ข.6	ความสัมพันธ์ระหว่างรากที่ 2 ของเวลาการเคลือบผิวและความหนาชั้นเคลือบของเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ที่ทำการเคลือบผิวโดยกวน Fe-V 15 %ในบอแรกซ์หลอมเหลว 5 นาที ทุกๆ 30 นาที และเติม Al 1 % โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 1000°C	63

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย