

ผลของรีดิคเซอร์และวิธีการเติมเฟอร์โรวานเนเดียมต่อชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์
โดยกระบวนกรที่ดี



นายปรัชญา ทิตอร่วม

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ

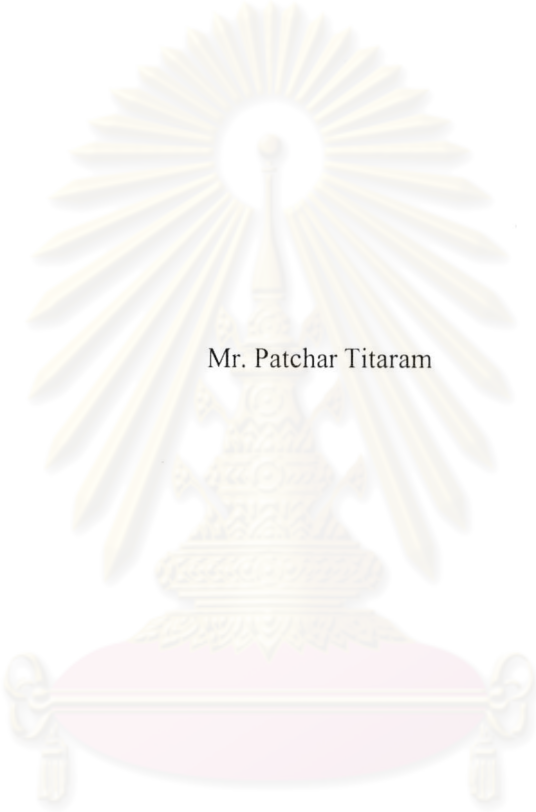
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1687-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF REDUCER AND FERROVANADIUM ON COATING OF STEEL WITH
VANADIUM CARBIDE BY TD PROCESS



Mr. Patchar Titaram

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

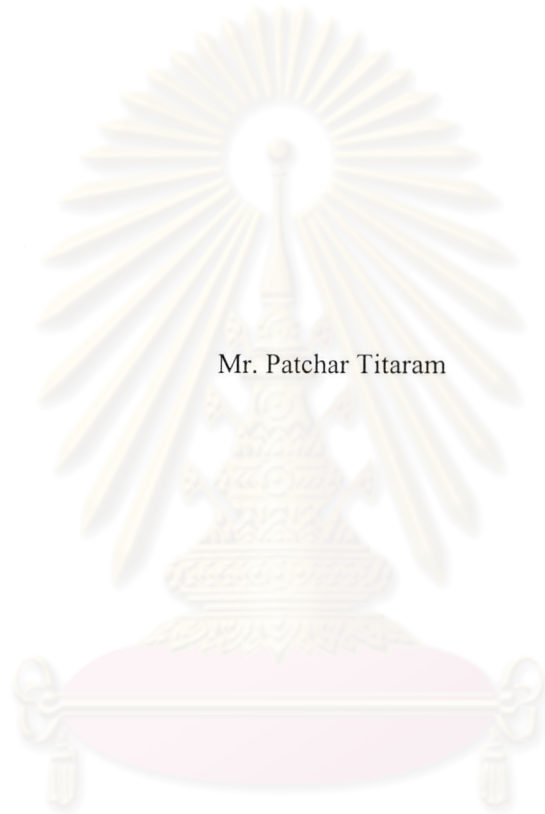
Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-53-1687-3

EFFECT OF REDUCER AND FERROVANADIUM ON COATING OF STEEL WITH
VANADIUM CARBIDE BY TD PROCESS



Mr. Patchar Titaram

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

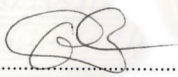
ISBN 974-53-1687-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของรีดิเวเซอร์และวิธีการเติมเฟอร์โรวานเนียมต่อชั้นเคลือบ
วานเนียมคาร์ไบด์โดยกระบวนการที่ดี
โดย นายปรัชญา ทิศจาร่าม
สาขาวิชา วิศวกรรมโลหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย

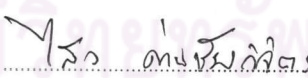
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการสอบ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชاکกร จารุพิติฐกร)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไสว ด่านวิชยวิจิตร)

ศูนย์วิทยานิพนธ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปรัชญา ทิตอร่าม : ผลของรีดิวเซอร์และวิธีการเติมเฟอร์โรวานาเดียมต่อชั้นเคลือบ
 วานาเดียมคาร์ไบด์โดยกระบวนการที่ดี (EFFECT OF REDUCER AND
 FERROVANADIUM ADDITION METHOD ON COATING LAYER OF VANADIUM
 CARBIDE BY TD PROCESS) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย : 59 หน้า.
 ISBN 974-53-1687-3.

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้ คือ การศึกษาผลของรีดิวเซอร์และวิธีการเติมเฟอร์โร
 วานาเดียมต่อการเคลือบผิวเหล็กกล้าเครื่องมือ D2 ในอ่างเคลือบอบแรกซ์หลอมเหลวที่สภาวะ
 บรรยากาศด้วยกระบวนการที่ดี ปริมาณเฟอร์โรวานาเดียมที่ใช้ในการทดลองคือ 15 เปอร์เซ็นต์โดย
 น้ำหนัก รีดิวเซอร์ที่ใช้ในการทดลอง คือ อะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและซิลิคอนโดยที่
 แปรผันปริมาณซิลิคอนอยู่ในช่วง 1 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิเคลือบผิวคือ 1000°C
 และเวลาเคลือบผิวอยู่ในช่วง 1 ถึง 6 ชั่วโมง 15 นาที ความหนาชั้นเคลือบถูกตรวจสอบด้วยกล้อง
 จุลทรรศน์แบบแสง และวัดความหนาชั้นเคลือบด้วยโปรแกรม AxioVision พบว่าการเติมเฟอร์โร
 วานาเดียมในอบแรกซ์หลอมเหลว ทำการกวนเป็นเวลา 5 นาทีจากนั้นเติมรีดิวเซอร์ ได้ชั้นเคลือบ
 วานาเดียมคาร์ไบด์หนาที่สุดในอ่างเคลือบที่มีปริมาณซิลิคอน 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การกวนอบ
 แรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนก่อนเติมเฟอร์โรวานาเดียมสามารถเคลือบผิวชิ้นงานเป็นวานาเดียม
 คาร์ไบด์โดยไม่ต้องเติมรีดิวเซอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโลหการ ลายมือชื่อนิสิต *pk d*
 สาขาวิชา วิศวกรรมโลหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *Poste*
 ปีการศึกษา 2547 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

PATCHAR TIT-A-RAM : (EFFECT OF REDUCER AND FERROVANADIUM ADDITION METHOD ON COATING LAYER OF VANADIUM CARBIDE BY TD PROCESS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PRASONK SRICHAROENCHAI, D.Eng. 59 pp. ISBN 974-53-1687-3.

The objective of this thesis was to study effect of reducer and ferrovanadium on surface coating of D2 tool steel in molten borax salt bath under ambient atmosphere by TD process. The ferrovanadium content for this experiment was 15 percent by weight. The reducers for this experiment were aluminum 1 percent by weight and silicon content of which was varied in the range of 1-10 percent by weight. The coating temperature was 1000°C and the coating time was in the range of 1 hour - 6 hours 15 minutes. Thickness of coating layer was investigated by optical microscope and was measured by AxioVision program. It was found that adding ferrovanadium in molten borax, then stirring 5 minutes and adding reducer resulted in maximum layer thickness of carbide coating layer in the bath containing silicon content of 4 percent by weight. Stirring molten borax as whirlpool before adding ferrovanadium resulted in coating layer of vanadium carbide without reducer addition.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Metallurgical Engineering Student's Signature *pa*
Field of Study Metallurgical Engineering Thesis Advisor's Signature *Prasonk Sricharoenchai*
Academic Year 2004

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2 ปรีทรรศน์วรรณกรรม	3
2.1 การเคลือบด้วยกระบวนการที่ดี	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง	12
3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	12
3.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน	12
3.3 เจือไน้ในการทดลอง	13
3.4 ขั้นตอนการเคลือบผิว	13
3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ชิ้นเคลือบ	15
4 ผลการทดลองและการอภิปราย	17
4.1 อิทธิพลของรีดิวเซอร์ต่อชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์	17
4.2 ผลของวิธีการเติมเฟอร์โรวานาเดียมและอุณหภูมิที่เติมเฟอร์โรวานาเดียม	20
4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึม (K) ที่ได้จากการทดลอง	37
5 สรุปผลการทดลอง	40
รายการอ้างอิง	41
ภาคผนวก	42
ภาคผนวก ก	43

ภาคผนวก ข	56
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	59



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความสามารถในการละลายของธาตุที่ฟอร์มคาร์ไบด์ในบอแรกซ์	8
3.1	ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น D2 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	13
4.1	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึม (K) ที่ได้จากการทดลอง	39
ก.1	ความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากกรณีทำการกวนเกลือบอแรกซ์ หลอมเหลวที่เติมเฟอร์โรวานาเดียมเป็นเวลา 5 นาทีโดยใช้อะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิทเซอร์	43
ก.2	ความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากกรณีทำการกวนเกลือบอแรกซ์ หลอมเหลวที่เติมเฟอร์โรวานาเดียมเป็นเวลา 5 นาทีโดยใช้ซิลิคอน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิทเซอร์	44
ก.3	ความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากกรณีทำการกวนเกลือบอแรกซ์ หลอมเหลวที่เติมเฟอร์โรวานาเดียมเป็นเวลา 5 นาทีโดยใช้ซิลิคอน 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิทเซอร์	46
ก.4	ความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากกรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลว จนเป็นน้ำวนที่ 1000°C เติมเฟอร์โรวานาเดียมและเติมซิลิคอน 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเป็นรีดิทเซอร์	48
ก.5	ความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากกรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลว จนเป็นน้ำวนที่ 900°C เติมเฟอร์โรวานาเดียม แซ่ไว้จนอุณหภูมิถึง 1000°C เติม อะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิทเซอร์	50
ก.6	ความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากกรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลว จนเป็นน้ำวนที่ 900°C เติมเฟอร์โรวานาเดียม แซ่ไว้จนอุณหภูมิถึง 1000°C ใส่ ชี้นงาน ทำการเคลือบผิวเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 15 นาที จึงเติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิทเซอร์.....	52
ก.7	ความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากกรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลว จนเป็นน้ำวนที่ 900°C เติมเฟอร์โรวานาเดียมและใส่ชี้นงาน 2 ชี้น แซ่ไว้จน อุณหภูมิถึง 1000°C ใส่ชี้นงาน 6 ชี้น ทำการเคลือบผิวเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 15 นาที เติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิทเซอร์ ใส่ชี้นงานอีก 4 ชี้น	54

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ขั้นตอนทั่วไปของการอบชุบความร้อนในกระบวนการ TD 3
2.2	หลักการของการเกิดชั้นเคลือบคาร์ไบด์บนชิ้นงานด้วยกระบวนการเคลือบ TD 4
2.3	ผลของอุณหภูมิและเวลา ต่อความหนาของชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ บนเหล็กกล้าเครื่องมือ W1 ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่มีผงเฟอร์โรวานาเดียม 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 5
2.4	ผลของปริมาณคาร์บอนในเนื้อเหล็กกล้าชนิดต่างๆ ต่อความหนาของชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่มีผงเฟอร์โรวานาเดียม 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ใช้เวลาเคลือบผิวนาน 4 ชั่วโมง 6
2.5	ผลของอุณหภูมิอ่างเกลือ และชนิดของเหล็ก ต่อเวลาในการเคลือบที่ทำให้ได้ชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์หนา 7 และ 4 ไมโครเมตร ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว 7
2.6	ผลของการเปลี่ยนแปลงเวลาทำปฏิกิริยาของอ่างเกลือ เป็นเวลา 25 และ 50 ชั่วโมง โดยเคลือบเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 950 °C 8
2.7	ผลของการเปรียบเทียบชนิดของสารฟอร์มคาร์ไบด์ระหว่าง FeV และ V ₂ O ₅ ที่อุณหภูมิ 1000°C 9
2.8	ผลของขนาดของผงต่อความหนาชั้นเคลือบที่อุณหภูมิ 1000°C โดยใช้เวลาเคลือบ 3,6 และ 9 ชั่วโมง 10
3.1	แสดงขั้นตอนการทดลองเคลือบผิว 16
4.1	โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงานกรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลวที่เติมเฟอร์โรวานาเดียมเป็นเวลา 5 นาทีและเติมซิลิคอน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นรีดิวเซอร์ เคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 2 ชั่วโมง 15 นาที และ (ค) 4 ชั่วโมง 18
4.2	โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงานกรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลวที่เติมเฟอร์โรวานาเดียมเป็นเวลา 5 นาทีและเติมซิลิคอน 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นรีดิวเซอร์ เคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 2 ชั่วโมง 15 นาที (ค) 4 ชั่วโมง และ (ง) 6 ชั่วโมง 15 นาที 19

รูปที่	หน้า
4.3	21
4.4	22
4.5	23
4.6	25
4.7	27
4.8	28
4.9	29
4.10	30

รูปที่		
4.11	โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงาน โดยกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900°C แช่ไว้จนอุณหภูมิ 1000°C แล้วใส่ชิ้นงาน เคลือบผิวเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 15 นาที เติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีคิวเซอร์ เคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 4 ชั่วโมง 30 นาที และ (ข) 6 ชั่วโมง 15 นาที และ (ค) 8 ชั่วโมง 30 นาที	31
4.12	โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงาน โดยทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900°C แล้วใส่ชิ้นงาน แช่ทิ้งไว้จนอุณหภูมิถึง 1000°C ใส่ชิ้นงาน ชิ้นงานที่ใส่เมื่ออุณหภูมิ 900°C เคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 2 ชั่วโมง 15 นาที และชิ้นงานที่ใส่เมื่ออุณหภูมิถึง 1000°C เคลือบผิวเป็นเวลา (ค) 1 ชั่วโมง	33
4.13	โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงาน โดยทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900°C แช่ไว้ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 15 นาที จึงเติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีคิวเซอร์ แล้วใส่ชิ้นงาน และเคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 2 ชั่วโมง 15 นาที (ค) 4 ชั่วโมง และ (ง) 6 ชั่วโมง 15 นาที	34
4.14	ความหนาชั้นเคลือบกับรากที่สองของเวลาในการเคลือบผิว ที่ทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900°C จากนั้นเติมเฟอร์โรวานเดียม โดยเปรียบเทียบกรณีเติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และไม่เติมอะลูมิเนียม	35
4.15	ความหนาชั้นเคลือบกับรากที่สองของเวลาในการเคลือบผิวที่ทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900°C จากนั้นเติมเฟอร์โรวานเดียม ซึ่งทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใส่ชิ้นงานและการเติมรีคิวเซอร์	36
ข.1	ผลของความหนาชั้นเคลือบวานเดียมคาร์ไบด์ ที่ทำการกวนเป็นเวลา 5 นาที	56
ข.2	ผลของความหนาชั้นเคลือบวานเดียมคาร์ไบด์ ที่ทำการเปลี่ยนแปลงวิธีการเติมเฟอร์โรวานเดียม และรีคิวเซอร์	57
ข.3	ผลของความหนาชั้นเคลือบวานเดียมคาร์ไบด์ ที่ทำการเปลี่ยนแปลงวิธีการเติมเฟอร์โรวานเดียม, รีคิวเซอร์ และชิ้นงาน	58