การเคลือบชั้นวาเนเดียมไนโอเบียมคาร์ไบด์โดยกระบวนการทีอาร์ดี

นาย ดนุพล เอื้ออภิสิทธิ์วงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COATING OF VANADIUM-NIOBIUM CARBIDE LAYER BY TRD PROCESS

Mr. Dhanupol Uaapisitwong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Metallurgical Engineering

Department of Metallurgical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

501541

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเคลือบชั้นวาเนเดียมไนโอเบียมคาร์ไบด์โดยกระบวนการทีอาร์ดี
โดย	นาย ดนุพล เอื้ออภิสิทธิ์วงศ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโลหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชาคร จารุพิสิฐธร)

ดนุพล เอื้ออภิสิทธิ์วงศ์ : การเคลือบชั้นวาเนเดียมไนโอเบียมคาร์ไบด์โดยกระบวนการทีอาร์ดี. (COATING OF VANADIUM-NIOBIUM CARBIDE LAYER BY TRD PROCESS) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. ประสงค์ ศรีเจริญชัย, 59 หน้า.

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้คือ ศึกษาผลของอัตราส่วนวาเนเดียมเพนทอกไซด์ และไนโอเบียมเพนทอกไซด์ ต่อชั้นเคลือบวาเนเดียม-ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ทำการเคลือบผิวที่เกิดขึ้นบนเหล็กกล้าเครื่องมือ DC53 ในเบ้าเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีบอแรกซ์หลอมเหลวที่สภาวะบรรยากาศโดยกระบวนการทีอาร์ดี ที่อุณหภูมิ 1000^{o}C แปรผันเวลาเคลือบผิวที่ 1 ชั่วโมง ถึง 6 ชั่วโมง 15 นาที ตรวจสอบความหนาชั้นเคลือบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง และกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกวาด, วิเคราะห์ปริมาณธาตุในชั้นเคลือบด้วยเครื่อง Electron Probe Micro Analyzer (EPMA), ทดสอบความแข็งชั้นเคลือบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ และศึกษาผลของความต้านทานการสึกหรอของชิ้นงานของชั้นเคลือบ

พบว่าความหนาชั้นเคลือบเพิ่มขึ้นตามเวลาเคลือบโดยมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับรากที่ 2 ของเวลาเคลือบ กรณีแปรผันอัตราส่วนวาเนเดียมเพนทอกไซด์ และ ไนโอเบียมเพนทอกไซด์ ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว พบว่าให้ความหนาชั้นเคลือบไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และปริมาณธาตุไนโอเบียมจะมีมากในชั้นเคลือบบริเวณที่อยู่ติดกับชิ้นงาน และธาตุวาเนเดียมมีความหนาแน่นสูงอยู่บริเวณผิวหน้าด้านนอกในชั้นเคลือบวาเนเดียม-ไนโอเบียมคาร์ไบด์ ความแข็งชั้นเคลือบของชิ้นงานที่มีผิวเคลือบเป็น วาเนเดียม-ไนโอเบียมคาร์ไบด์ มีค่าอยู่ที่ระหว่าง 3027 และ 3898 วิกเกอร์ ในการทดสอบการสึกหรอ ชิ้นงานที่เคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ และชิ้นงานที่เคลือบวาเนเดียม-ไนโอเบียมคาร์ไบด์ มีความต้านทานการสึกหรอมากกว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว

ภาควิชา.....วิศวกรรมโลหการ..... ลายมือชื่อนิสิต.....ดนุพล เอื้ออภิสิทธิ์วงศ์.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมโลหการ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2550.....

4870663421 : MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING
KEY WORD:TRD PROCESS/VANADIUM-NIOBIUM CARBIDE

DHANUPOL UAAPISITWONG: COATING OF VANADIUM-NIOBIUM CARBIDE LAYER BY TRD PROCESS. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF. PRASONK SRICHAROENCHAI, D.Eng, 59 pp.

The objective of this thesis was to study the effect of vanadium pentoxide and niobium pentoxide mass ratio on vanadium-niobium carbide layer coated on DC53 tool steel. The coating was done in molten borax in stainless steel bath under ambient atmosphere by TRD process at coating temperature of 1000^{o}C. Coating time was varied between 1 and 6 hours 15 minutes. The thickness of coating layer was investigated by optical microscope and scanning electron microscope. Coating layer was identified by EPMA. The hardness of coating layer was measured by Micro-Vickers Hardness Testing Machine. This thesis was also to study the effect of coating layer on adhesive wear.

It was found that the thickness of coating layer was linearly increased with square root of immersion time. When the Vanadium pentoxide and Niobium pentoxide mass ratio of bath coating was varied the thicknesses of coating layer were in the same range. Niobium content in the carbide layer was high in region closed to substrate and Vanadium content was high in outer region of carbide layer. Hardness of Vanadium-Niobium carbide layer was in range at the hardness value of 3027 HV and 3898 HV. In wear test, vanadium carbide coated and vanadium-niobium carbide coated specimens had more wear resistance than no-coated specimen.

Department:.....Metallurgical Engineering. Student's Signature :.....Dhanupol Uaapisitwong
Field of Study:..Metallurgical Engineering.. Advisor's Signature:.....Prasonk Sricharoenchai
Academic Year: .....2007.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือจากหลายๆฝ่าย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำแนวทางที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชาคร จารุพิสิฐธร ที่ให้ความรู้, คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ปฐมา วิสุทธิพิทักษ์กุล ที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำในการวิเคราะห์ธาตุ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโลหการทุกท่านที่ให้การสนับสนุนผู้วิจัยในทุกด้านด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ ขอขอบพระคุณ Thai Parkerizing Co., Ltd. ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือทดสอบการสึกหรอ และ วิเคราะห์ธาตุด้วยเครื่อง Electron Probe Micro Analyzer (EPMA) ขอขอบพระคุณ บริษัท UI Engineering Co., Ltd. ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์มาจนเสร็จสิ้นงานวิจัยด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา พี่สาว ของข้าพเจ้า ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้กับข้าพเจ้าตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา ขอกราบขอบพระคุณ คุณครูและอาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนข้าพเจ้ามาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องนิสิตทุกท่านโดยเฉพาะกลุ่มวิจัยทางด้านวิศวกรรมพื้นผิว ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยด้วยดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2 ปริทรรศน์วรรณกรรม 4

2.1 การเคลือบด้วยกระบวนการ TRD 4

2.2 การสึกหรอแบบเกาะติด 6

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง 12

3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 12

3.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน 12

3.3 เงื่อนไขในการทดลอง 14

3.4 ขั้นตอนการเคลือบผิว 14

3.5 ขั้นตอนการวัดความหนา, ตรวจสอบความแข็งและวิเคราะห์ธาตุของชั้นเคลือบ 14

4 ผลการทดลองและการอภิปราย 16

บทที่ หน้า

4.1 ความหนาชั้นเคลือบ 16

4.1.1 ไนโอเบียมเพนทอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล 16

4.1.2 ไนโอเบียมเพนทอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวล 18

4.1.3 ไนโอเบียมเพนทอกไซด์ 15 เปอร์เซ็นต์โดยมวล 20

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุของชั้นเคลือบด้วยเครื่อง EPMA 23

4.3 ความแข็งชั้นเคลือบกับสัดส่วนของสารที่ให้ธาตุฟอร์มคาร์ไบด์ 29

4.4 ผลการทดสอบการสึกหรอ 31

5 สรุปผลการทดลอง 38

รายการอ้างอิง 39

ภาคผนวก 40

ภาคผนวก ก 41

ภาคผนวก ข 44

ภาคผนวก ค 47

ภาคผนวก ง 50

ภาคผนวก จ 54

ภาคผนวก ฉ 55

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 59

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53 (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)..... 13
ก.1 ความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียม-ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ได้จาก ไนโอเบียมเพนทอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล (หน่วยเป็นไมครอน)..... 41
ก.2 ความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียม-ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ได้จาก ไนโอเบียมเพนทอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวล (หน่วยเป็นไมครอน)..... 42
ก.3 ความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียม-ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ได้จาก ไนโอเบียมเพนทอกไซด์ 15 เปอร์เซ็นต์โดยมวล (หน่วยเป็นไมครอน)..... 43
ค.1 ค่าความแข็งของชั้นเคลือบที่ได้จาก ไนโอเบียมเพนทอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยมวล โดยใช้แรงกด 25 gf เป็นเวลา 10 วินาที..... 48
ค.2 ค่าความแข็งของชั้นเคลือบที่ได้จาก ไนโอเบียมเพนทอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยมวล โดยใช้แรงกด 25 gf เป็นเวลา 10 วินาที..... 48
ค.3 ค่าความแข็งของชั้นเคลือบที่ได้จาก ไนโอเบียมเพนทอกไซด์ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยมวล โดยใช้แรงกด 25 gf เป็นเวลา 10 วินาที..... 49
จ.1 ส่วนผสมน้ำยากัดผิว..... 54
จ.2 คุณสมบัติของธาตุ..... 54

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 ขั้นตอนทั่วไปของการอบชุบความร้อนในกระบวนการทีอาร์ดี..... 4
2.2 หลักการของการเกิดชั้นเคลือบคาร์ไบด์บนชิ้นงานด้วยกระบวนการเคลือบทีอาร์ดี..... 5
2.3 หลักการของการเกิดการสึกหรอแบบเกาะติด..... 6
2.4 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาต่อความหนาของชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่มีผงเฟอร์โรวาเนเดียม 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักบนชิ้นงานเหล็กกล้า เครื่องมือ W1..... 8
2.5 ผลของปริมาณคาร์บอนในเนื้อเหล็กกล้าชนิดต่างๆ ต่อความหนาของชั้นเคลือบ VC ในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่มีผง Fe-V 20เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่เวลาเคลือบผิว 4 ชั่วโมง..... 9
2.6 ผลของอุณหภูมิอ่างเกลือและชนิดของเหล็กต่อเวลาในการเคลือบที่ทำให้ได้ชั้นเคลือบ VC หนา 7 และ 4 ไมครอนในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว..... 9

3.1 ลักษณะชิ้นงานที่จะทำการทดสอบการขัดสี โดยมีความหนา 5 มิลลิเมตร..... 13
3.2 แสดงขั้นตอนการทดลองการเคลือบผิวในเบ้าเหล็กกล้าไร้สนิม..... 15

4.1 Relationship of coating layer thickness and immersion time from bath coating Nb_2O_5 5 mass%..... 16
4.2 Effect of immersion time on layer thickness from bath coating Nb_2O_5 5 mass% for (a) 1 hour (b) 2 hours 15 minutes (c) 4 hours and (d) 6 hours 15 minutes..... 17
4.3 Relationship of coating layer thickness and immersion time from bath coating Nb_2O_5 10 mass%..... 18
4.4 Effect of immersion time on layer thickness from bath coating Nb2O5 10 mass% for (a) 1 hour (b) 2 hours 15 minutes (c) 4 hours and (d) 6 hours 15 minutes..... 19
4.5 Relationship of coating layer thickness and immersion time from bath coating Nb_2O_5 15 mass%..... 20
4.6 Effect of immersion time on layer thickness from bath coating Nb2O5 15 mass% for (a) 1 hour (b) 2 hours 15 minutes (c) 4 hours and (d) 6 hours 15 minutes..... 21
4.7 Relationship of coating layer thickness and immersion time..... 22
4.8 Niobium content detected by EPMA of coated specimen in Nb_2O_5 5 mass% salt bath composition..... 24

ภาพที่ หน้า

4.9 Vanadium content detected by EPMA of coated specimen in Nb_2O_5 5 mass% salt bath composition..... 24

4.10 Niobium content detected by EPMA of coated specimen in Nb_2O_5 10 mass% salt bath composition..... 26

4.11 Vanadium content detected by EPMA of coated specimen in Nb_2O_5 10 mass% salt bath composition..... 26

4.12 Niobium content detected by EPMA of coated specimen in Nb_2O_5 15 mass% salt bath composition..... 28

4.13 Vanadium content detected by EPMA of coated specimen in Nb_2O_5 15 mass% salt bath composition..... 28

4.14 Hardness of Vanadium-Niobium carbide layer..... 30

4.15 Hardness of Vanadium carbide layer..... 30

4.16 Coefficient of friction of no coat Quench and tempered, (V,Nb)C coating and VC coating specimens..... 32

4.17 Quenched and tempered disc after wear test..... 35

4.18 VC coated disc after wear test..... 35

4.19 (V,Nb)C coated disc after wear test..... 36

4.20 SEM micrograph of galling area after wear test of quenched and tempered disc..... 37

ข.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ ของชั้นเคลือบที่ได้จาก ไนโอเบียมเพนทอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ด้วยเครื่อง Electron Probe Micro Analyzer..... 45

ข.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ ของชั้นเคลือบที่ได้จาก ไนโอเบียมเพนทอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ด้วยเครื่อง Electron Probe Micro Analyzer..... 46

ข.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ ของชั้นเคลือบที่ได้จาก ไนโอเบียมเพนทอกไซด์ 15 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ด้วยเครื่อง Electron Probe Micro Analyzer..... 47

ง.1 ผลการทดสอบการสึกหรอ ของชิ้นงานที่ชุบแข็ง และอบคืนตัวแล้วไม่ผ่านการเคลือบผิว..... 51

ง.2 ผลการทดสอบการสึกหรอ ของชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยวาเนเดียมคาร์ไบด์..... 52

ง.3 ผลการทดสอบการสึกหรอ ของชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย ไนโอเบียม-วาเนเดียมคาร์ไบด์..... 53

ภาพที่ หน้า

ฉ.1 Equilibrium diagrams..... 55
ฉ.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานอิสระของธาตุที่เกิดเป็นสารประกอบ
และชนิดของชั้นเคลือบ..... 56
ฉ.3 รูปร่างและปริมาณของสารที่เติมลงในบอแรกซ์หลอมเหลว..... 57
ฉ.4 รูปแบบของการเกิดชั้นเคลือบและค่าพลังงานอิสระ..... 57
ฉ.5 ค่าพลังงานอิสระในการรีดิวซ์ออกไซด์โดยการเติมธาตุลงในบอแรกซ์หลอมเหลวที่
อุณหภูมิ 1000°C..... 58