

ผลของพารามิเตอร์บางประการต่อความหนาชั้นเคลือบที่เคลือบโดยกระบวนการที่อาร์ดี

เรือเอก มหินทร์ ชัยฤทธิ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF SOME PARAMETERS ON COATING THICKNESS COATED BY TRD PROCESS

Lieutenant Mahin Chaiyarit RTN.

**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 2006

Copyright of Chulalongkorn University

492250

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของพารามิเตอร์บางประการต่อความหนาชั้นเคลือบที่เคลือบโดย
กระบวนการทีอาร์ดี

โดย

เรือเอก มหินทร์ ชัยฤทธิ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมโลหการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

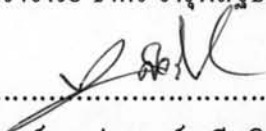
รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย

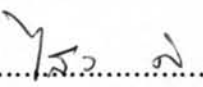
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชاکกร จารุพิสิษฐ)


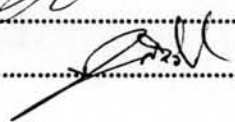

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไสว ค่านชัยวิจิตร)

ร.อ. มหิรินทร์ ชัยฤทธิ์ : ผลของพารามิเตอร์บางประการต่อความหนาชั้นเคลือบที่เคลือบโดยกระบวนการทีอาร์ดี (EFFECT OF SOME PARAMETERS ON COATING THICKNESS COATED BY TRD PROCESS) อ. ที่ปริกษา รศ.ดร. ประสงค์ ศรีเจริญชัย : 78 หน้า.

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้คือศึกษาผลของ โบรอนคาร์ไบด์ต่อความหนาชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นบนเหล็กกล้าเครื่องมือ DC53 เคลือบในเตาเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีบอแรกซ์หลอมเหลวที่สภาวะบรรยากาศโดยกระบวนการทีอาร์ดี ที่อุณหภูมิ 1000°C แปรผันเวลาเคลือบผิวที่ 1 ชั่วโมง ถึง 4 ชั่วโมง ปริมาณ โบรอนคาร์ไบด์แปรผันอยู่ในช่วง 4 ถึง 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตรวจสอบความหนาชั้นเคลือบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด วิเคราะห์ชั้นเคลือบด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน และวัดความแข็งชั้นเคลือบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์

พบว่าความหนาชั้นเคลือบเพิ่มขึ้นตามเวลาเคลือบ โดยมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับรากที่ 2 ของเวลาเคลือบและความหนาของชั้นเคลือบเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ โบรอนคาร์ไบด์ที่เพิ่มขึ้น เมื่อแปรผันความหยาบผิวชิ้นงาน โดยจัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 ถึง ผงอะลูมินาขนาด 1 ไมครอน พบว่าให้ความหนาชั้นเคลือบใกล้เคียงกันและความหยาบผิวเพิ่มขึ้นทุกกรณี ได้แปรผันตำแหน่งชิ้นงานในเตาบอแรกซ์หลอมเหลว กรณีแปรผันตำแหน่งชิ้นงานที่ความลึกเท่ากัน ผลของความหนาชั้นเคลือบบนชิ้นงาน 3 ชั้นหนาใกล้เคียงกัน กรณีแปรผันความลึกพบว่าความหนาชั้นเคลือบที่เกิดขึ้นหนาเกือบเท่ากัน

ภาควิชา.....วิศวกรรมโลหการ..... ลายมือชื่อนิสิต.....ร.อ. 
สาขาวิชา.....วิศวกรรมโลหการ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 
ปีการศึกษา.....2549.....

4770409321 : MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEY WORD:TRD PROCESS/VANADIUM PENTOXIDE/BORON CARBIDE/CARBIDE LAYER

Lt.MAHIN CHAIYARIT: EFFECT OF SOME PARAMETERS ON COATING

THICKNESS COATED BY TRD PROCESS. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF.

PRASONK SRICHAROENCHAI, D.Eng. 78 pp.

The objective of this thesis was to study the effect of boron carbide on the thickness of vanadium carbide coated on DC53 tool steel. The coating was performed in molten borax in stainless steel crucible under ambient atmosphere by TRD process at coating temperature of 1000°C. Coating time was varied between 1 and 4 hours. The boron carbide content was varied in the range of 4-6.7 percents by weight. The thickness of coating layer was investigated by optical microscope and scanning electron microscope. Coating layer was analyzed by XRD. The hardness of coating layer was measured by Micro-Vickers Hardness Testing Machine.

It was found that the thickness of coating layer was linearly increased with square root of soaking time. The thickness of vanadium carbide layer increased with increasing boron carbide. When the surface roughness of specimen was varied by grinding with abrasive paper # 600 to 1 micron alumina, the thickness of coating layer were in the same range and the roughness was increased in all case. The variation of positions and depth of specimen in molten borax salt bath were performed. In case of variation of position at the same depth, result of 3 specimens coating layer thickness was almost similar. In case of depth variation, coating layer thickness was almost the same.

Department:.....Metallurgical Engineering..... Student's Signature :.....*Lt. Mahin Chaiyarit*.....
 Field of Study:.....Metallurgical Engineering..... Advisor's Signature:.....*Prasonk Sricharoenchai*.....
 Academic Year:2006.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือจากหลายๆฝ่าย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำแนวทางที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชากร จารุพิสิฐธร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไสว ด้านชัยวิจิตร ที่ให้ความรู้,คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ปฐมา วิสุทธิพิทักษ์กุล ที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำในการวิเคราะห์ผล XRD ขอขอบพระคุณคณาจารย์ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโลหการทุกท่านที่ให้การสนับสนุนผู้วิจัยในทุกด้านด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณโครงการพัฒนาอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ สถาบันไทย-เยอรมันที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยสำหรับการทดลองต่างๆในงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยเครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือทดสอบตลอดมาจนเสร็จสิ้นงานวิจัยด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา พี่ชายและน้องสาว ของข้าพเจ้า ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้กับข้าพเจ้าตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณกองทัพเรือที่ให้โอกาสในการศึกษาครั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณครูและอาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนข้าพเจ้ามาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องนิสิตทุกท่าน โดยเฉพาะกลุ่มวิจัยทางด้านวิศวกรรมพื้นผิว ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยด้วยดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 บริบทศรัทธาธรรม	4
2.1 การเคลื่อนด้วยกระบวนการ TRD.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง.....	15
3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	15
3.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน.....	15
3.3 เงื่อนไขในการทดลอง.....	16
3.4 ขั้นตอนการเคลือบผิว.....	16
3.4.1 ทดลองในอ่างเกลือ.....	16
3.4.2 ทดลองในน้ำเหล็กกล้าไร้สนิม.....	16

บทที่	หน้า
3.5 ขั้นตอนการวัดความหนา, ตรวจสอบความแข็งและวิเคราะห์ธาตุของชั้นเคลือบ.....	17
4 ผลการทดลองและการอภิปราย.....	20
4.1 ผลของการใช้วานาเดียมเพนทอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกับ B ₄ C ที่แปรผันปริมาณ 4 ,5 และ 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	20
4.1.1 ผลของการใช้วานาเดียมเพนทอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกับ โบรอนคาร์ไบด์ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	20
4.1.2 ผลของการใช้วานาเดียมเพนทอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกับ โบรอนคาร์ไบด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	22
4.1.3 ผลของการใช้วานาเดียมเพนทอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกับ โบรอนคาร์ไบด์ 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	24
4.2 ผลของความหยาบผิวชิ้นงานกับความหนาชั้นเคลือบ.....	30
4.3 ความหยาบผิวชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงหลังการเคลือบผิว.....	32
4.4 ผลของตำแหน่งชิ้นงานในเข้าบอแรกซ์หลอมเหลวต่อความหนาชั้น เคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์บนชิ้นงาน.....	33
4.4.1 แปรผันตำแหน่งของชิ้นงานที่ความลึกเท่ากัน.....	33
4.4.2 แปรผันตำแหน่งของชิ้นงานที่ความลึกต่างกัน.....	36
4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึม (K) ที่ได้จากการทดลอง.....	38
4.6 ค่าความแข็งชั้นเคลือบ.....	39
5 สรุปผลการทดลอง.....	41
รายการอ้างอิง	43
ภาคผนวก	44
ภาคผนวก ก	45
ภาคผนวก ข	57

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ค	62
ภาคผนวก ง	69
ภาคผนวก จ	75
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	79

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความสามารถในการละลายของธาตุที่ใช้ฟอรั่มคาร์ไบด์ในบอแรกซ์หลอมเหลว	9
3.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC 53 (Modified SKD 11).....	16
4.1 ค่าความหยาบผิวที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600, 1200 และ ขัดด้วย ผงอะลูมินาขนาด 1 ไมครอน (ก่อนและหลังเคลือบผิวด้วยวานเนเดียมคาร์ไบด์).....	33
4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึม (K) ที่ได้จากการทดลอง.....	38
ก.1 ความหนาชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากวานเนเดียมเพนทอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกับ โบรอนคาร์ไบด์ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (หน่วยเป็นไมครอน).....	45
ก.2 ความหนาชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากวานเนเดียมเพนทอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกับ โบรอนคาร์ไบด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (หน่วยเป็นไมครอน).....	47
ก.3 ความหนาชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากวานเนเดียมเพนทอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกับ โบรอนคาร์ไบด์ 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (หน่วยเป็นไมครอน).....	49
ก.4 ความหนาชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากการแปรผันความหยาบผิวชิ้นงาน (หน่วยเป็น ไมครอน).....	51
ก.5 ความหนาชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากการแปรผันตำแหน่งใน อ่างเกลือที่ความลึกเท่ากัน (หน่วยเป็น ไมครอน).....	53
ก.6 ความหนาชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากการแปรผันตำแหน่งใน อ่างเกลือที่ความลึกต่างกัน (หน่วยเป็น ไมครอน).....	55
ข.1 ค่าความแข็งของชั้นเคลือบที่ได้จาก วานเนเดียมเพนทอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก กับ อะลูมิเนียมจำนวน 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้ แรงกด 25 gf เป็นเวลา 10 วินาที(วัดความแข็งในแนวภาคตัดขวางชั้นเคลือบ).....	58
ข.2 ค่าความแข็งของชั้นเคลือบที่ได้จาก วานเนเดียมเพนทอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก กับ อะลูมิเนียมจำนวน 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้ แรงกด 25 gf เป็นเวลา 10 วินาที(วัดความแข็งในแนวตั้งฉากกับชั้นเคลือบ).....	59

ตารางที่	หน้า
ข.3 ค่าความแข็งของชั้นเคลือบที่ได้จาก วานเดียมเพนทอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก กับ โบรอนคาร์ไบด์จำนวน 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้ แรงกด 25 gf เป็นเวลา 10 วินาที(วัดความแข็งในแนวภาคตัดขวางชั้นเคลือบ).....	60
ข.4 ค่าความแข็งของชั้นเคลือบที่ได้จาก วานเดียมเพนทอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก กับ โบรอนคาร์ไบด์จำนวน 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้ แรงกด 25 gf เป็นเวลา 10 วินาที(วัดความแข็งในแนวตั้งฉากกับชั้นเคลือบ).....	61
ค.1 ผลการตรวจวิเคราะห์ผิวชิ้นงานที่ได้จากการใช้ วานเดียมเพนทอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก กับ โบรอนคาร์ไบด์จำนวน 6.7 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ด้วย X-ray Diffractometer	62
ค.2 ผลการตรวจวิเคราะห์ผิวชิ้นงานที่ได้จากการใช้ วานเดียมเพนทอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก กับ โบรอนคาร์ไบด์จำนวน 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ด้วย X-ray Diffractometer.....	65
ค.3 Reference pattern: Vanadium Carbide (VC).....	68
ง.1 ส่วนผสมน้ำยากัดผิว.....	69
ง.2 คุณสมบัติของธาตุ.....	69
ง.3 คุณสมบัติของสารประกอบ.....	70
ง.4 Thermodynamics Properties.....	71
ง.5 The constant-pressure molar heat capacities of various substances.....	72
ง.6 ค่าความหยาบผิวก่อนและหลังเคลือบ.....	73

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ขั้นตอนทั่วไปของการอบชุบความร้อนในกระบวนการที่อาร์ดี.....	4
2.2 หลักการของการเกิดชั้นเคลือบคาร์ไบด์บนผิวเหล็กกล้าด้วย กระบวนการที่อาร์ดี.....	5
2.3 อิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาต่อความหนาของชั้นเคลือบ VC ใน เกลือบอบแรกซ์ที่มีผง Fe-V 20 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก บนชิ้นงานเหล็ก กล้าเครื่อง W1.....	7
2.4 ผลของปริมาณคาร์บอนในเนื้อเหล็กกล้าชนิดต่างๆ ต่อความหนาของชั้นเคลือบ VC ในเกลือบอบแรกซ์หลอมเหลวที่มีผง Fe-V 20 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักที่ เวลาเคลือบผิว 4 ชั่วโมง.....	8
2.5 ผลของอุณหภูมิอ่างเกลือและชนิดของเหล็กต่อเวลาในการเคลือบที่ทำให้ได้ชั้น เคลือบ VC หนา 7 และ 4 ไมครอนในอ่างเกลือบอบแรกซ์หลอมเหลว.....	8
2.6 ผลการเปรียบเทียบความหนาชั้นเคลือบระหว่างสารฟอร์มคาร์ไบด์ Fe-V และ V_2O_5 ที่ใช้ Al 5 % โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 1000 °C ที่ช่วงเวลาต่างๆ.....	11
2.7 ผลของปฏิกิริยาที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลา 25 และ 50 ชั่วโมง โดยชิ้น งานเคลือบครั้งละ 5 ชั่วโมง.....	11
2.8 อิทธิพลของปริมาณวานเดียมเพนทอกไซด์ต่อความหนาชั้นเคลือบที่อุณหภูมิ 950 °C ที่ใช้เวลาในการเคลือบ 3, 6 และ 9 ชั่วโมง.....	12
2.9 อิทธิพลของปริมาณอะลูมิเนียมต่อความหนาชั้นเคลือบที่อุณหภูมิ 950 °C ที่ใช้เวลาในการเคลือบ 3, 6 และ 9 ชั่วโมง.....	13
2.10 ผลของปริมาณ V_2O_5 และ Al ที่เปลี่ยนแปลงไปต่อความหนาชั้นเคลือบที่ อุณหภูมิ 950 °C ที่ใช้เวลาในการเคลือบ 3, 6 และ 9 ชั่วโมง (V_2O_5 : Al = 2:1).....	13
3.1 แสดงขั้นตอนการทดลองการเคลือบผิวด้วย V_2O_5 และใช้ Al ตัวรีดิวซ์ ในอ่างเกลือบอบแรกซ์).....	18
3.2 แสดงขั้นตอนการทดลองการเคลือบผิวด้วย V_2O_5 และใช้ B_4C เป็นตัวรีดิวซ์ ในถ้วยเหล็กกล้าไร้สนิม.....	19

รูปที่	หน้า
4.1 ความหนาชั้นเคลือบที่ได้จากการใช้ V_2O_5 , 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กับ B_4C 4 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก บนผิวชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53.....	20
4.2 โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53 เคลือบผิวที่อุณหภูมิ $1000^\circ C$ ในด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมที่เติม V_2O_5 จำนวน 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กับ B_4C จำนวน 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงการเคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 2 ชั่วโมง 15 นาที (ค) 4 ชั่วโมง.....	21
4.3 ความหนาชั้นเคลือบที่ได้จากการใช้ V_2O_5 , 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กับ B_4C 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักบนผิวชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53.....	22
4.4 โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53 เคลือบผิวที่อุณหภูมิ $1000^\circ C$ ในด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมที่เติม V_2O_5 , 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก กับ B_4C 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงการเคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 2 ชั่วโมง 15 นาที และ (ค) 4 ชั่วโมง.....	23
4.5 ผลการตรวจวิเคราะห์สารประกอบด้วย X-ray Diffractometer บนผิวชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53 ที่ได้จากการใช้ V_2O_5 , 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักกับ B_4C 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเคลือบผิวที่ $1000^\circ C$ นาน 4 ชั่วโมง.....	24
4.6 ความหนาชั้นเคลือบที่ได้จากการใช้ V_2O_5 , 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กับ B_4C 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักบนผิวชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53.....	25
4.7 ผลการตรวจวิเคราะห์สารประกอบด้วย X-ray Diffractometer บนผิวชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53 ที่ได้จากการใช้ V_2O_5 , 20 เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนักกับ B_4C 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเคลือบผิวที่ $1000^\circ C$ นาน 4 ชั่วโมง.....	25
4.8 โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53 เคลือบผิวที่อุณหภูมิ $1000^\circ C$ ในด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมที่เติม V_2O_5 , 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กับ B_4C จำนวน 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่กำลัง ขยาย 1000 เท่า แสดงการเคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 2 ชั่วโมง 15 นาที และ (ค) 4 ชั่วโมง.....	26

รูปที่	หน้า
4.9 ความหนาชั้นเคลือบที่ได้จากการใช้ V_2O_5 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กับ B_4C 4, 5 และ 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก บนผิวชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53.....	28
4.10 โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53 เคลือบผิวที่อุณหภูมิ $1000^{\circ}C$ ในถ้วยเหล็กกล้าไร้สนิมที่เติม V_2O_5 จำนวน 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เวลาเคลือบ 4 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงการเคลือบผิวที่ปริมาณ B_4C (ก) 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ข) 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ค) 6.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	29
4.11 ผลของความหยาบผิวต่อความหนาชั้นเคลือบบนเหล็ก DC53 ที่อุณหภูมิ $1000^{\circ}C$ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง.....	30
4.12 โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53 เคลือบผิวที่เวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ $1000^{\circ}C$ ในเบ้าบอแรกซ์ หลอมเหลวที่เติม V_2O_5 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกับ Al 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 200 เท่า ก) ชัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 ข) ชัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1200 ค) ชัดด้วยผงอะลูมินาขนาด 1 ไมครอน.....	31
4.13 ความหยาบผิวก่อนและหลังการเคลือบผิวบนเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53 ที่อุณหภูมิ $1000^{\circ}C$ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง.....	32
4.14 ผลของตำแหน่งชิ้นงานในเบ้าบอแรกซ์หลอมเหลวที่ความลึกเท่ากัน ต่อความหนาชั้นเคลือบ VC.....	34
4.15 โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53 เคลือบผิวที่เวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ $1000^{\circ}C$ ในเบ้าบอแรกซ์ หลอมเหลวที่เติม V_2O_5 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กับ Al 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 200 เท่า ก) ตรงกลางอ่างเกลือ ข) 4 ซม.จากตรงกลางเกลือ ค) 8 ซม.จากตรงกลางเกลือ.....	35
4.16 ผลของความลึกชิ้นงานในเบ้าบอแรกซ์หลอมเหลวต่อความหนาชั้นเคลือบ VC.....	36

รูปที่	หน้า
4.17 โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53 เคลือบผิวเป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 1000 °C เติม V ₂ O ₅ 10เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก กับ Al 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ความลึกจากผิวหน้าบอแรกซ์ ก) 4-5 ซม. ข) 8.2-9.2 ซม. และ ค) 14-15 ซม.....	37
4.18 ค่าความแข็งของชั้นเคลือบที่ได้จาก V ₂ O ₅ 20 wt% กับ B ₄ C 6.7 wt% โดยใช้แรงกด 25 gf เป็นเวลา 10 วินาที.....	39
4.19 ค่าความแข็งของชั้นเคลือบที่ได้จาก V ₂ O ₅ 10 wt% กับ Al 7.5 wt% โดยใช้แรงกด 25 gf เป็นเวลา 10 วินาที	40
4.20 เปรียบเทียบค่าความแข็งของชั้นเคลือบวาเนเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากการใช้ B ₄ C และ Al โดยในแรงกด 25 gf เป็นเวลา 10 วินาที.....	40
จ.1 Equilibrium diagrams.....	75
จ.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานอิสระของธาตุที่เกิดเป็นสารประกอบ และชนิดของชั้นเคลือบ.....	76
จ.3 รูปร่างและปริมาณของสารที่เติมลงในบอแรกซ์หลอมเหลว.....	77
จ.4 รูปแบบของการเกิดชั้นเคลือบและค่าพลังงานอิสระ.....	77
จ.5 ค่าพลังงานอิสระในการรีดิวซ์ออกไซด์โดยการเติมธาตุลงในบอแรกซ์หลอมเหลวที่ อุณหภูมิ 1000 °C.....	78