ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247104

การศึกษาการนำกรอบและความแข็งแกร่งต่อแรงกระแทกของวัสดุผสมพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ชนิดต่างๆ

นายธนภูมิ ศรีภูมิวิเศษ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

b 00252439

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247104

การศึกษาการสึกหรอและความเป็นพิษต่อเซลล์สิ่งมีชีวิตของชิ้นงานไทเทเนียมอัลลอย หลังการเคลือบผิวชิ้นงานด้วยไทเทเนียมอลูมิเนียมวานาเดียมคาร์โบไนไตรด์

นายสุทธิชัย ศรีพุฒินิพนธ์ ค.อ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ผศ.ดร. กุศล พร้อมมูล)

..... กรรมการสอบและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผศ.ดร.ไชยา ดำคำ)

..... กรรมการสอบและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม)
(ดร.ไพบูลย์ ช่วงทอง)

..... กรรมการ
(ดร.โอภาส ตรีทวีศักดิ์)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการสึกหรอและความเป็นพิษต่อเซลล์สิ่งมีชีวิตของชิ้นงานไทเทเนียมอัลลอย หลังการเคลือบผิวชิ้นงานด้วยไทเทเนียมอลูมิเนียมวานาเดียมคาร์โบไนไตรด์
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นายสุทธิชัย ศรีพุฒินิพนธ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ไชยา ดำคำ
	ดร.ไพบูลย์ ช่วงทอง
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมระบบการผลิต
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2554

บทคัดย่อ

247104

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณอัตราการไหลของก๊าซมีเทน ที่มีผลกระทบในคุณสมบัติด้านกายภาพ เคมี และทางชีวภาพของฟิล์มเคลือบ ในกระบวนการเคลือบผิวไทเทเนียมอลูมิเนียมวานาเดียมคาร์โบไนไตรด์ ($TiAlVC_xN_y$) บนโลหะผสมไทเทเนียมเกรด Ti-6AL-4V ด้วยวิธีการเคลือบผิวด้วยไอทางกายภาพแบบ DC unbalance magnetron Sputtering โดยใช้สภาวะการเคลือบผิวที่ใช้ปริมาณของก๊าซอาร์กอน และไนโตรเจน คงที่ ส่วนปริมาณก๊าซมีเทนมีความแตกต่างกัน 3 ระดับ 0.3, 0.5 และ 0.7 sccm หลังเสร็จจากการเคลือบผิว จึงนำชิ้นงานไปวัดความเรียบผิว วัดความหนา ดูการจัดเรียงตัวของผลึก วัดความแข็ง วัดสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ทดสอบปริมาตรการสึกหรอ วัดการกระจายตัวของของเหลว และทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์สิ่งมีชีวิตด้วยวิธีทดสอบทางอ้อมแบบ MTT cytotoxicity assay ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ที่ปริมาณอัตราการไหลของก๊าซมีเทน 0.7 sccm ให้ผิวเคลือบที่มีคุณสมบัติดีที่สุดในทุกๆด้าน

คำสำคัญ : ไทเทเนียมอลูมิเนียมวานาเดียมคาร์โบไนไตรด์ /ไอทางกายภาพ /การสึกหรอ / ความเป็นพิษต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต

Thesis Title	Study of Wear and Cytotoxicity of Titanium Alloy (Ti-6Al-4V) after coating by Titanium Aluminium Vanadium Carbonitride ($TiAlVC_xN_y$)
Thesis Credits	12
Candidate	Mr. Suttichai Sribuddthinipon
Thesis Advisors	Asst. Prof. Dr. Chaiya Dumkum
	Dr. -Ing. Paiboon Choungthong
Program	Master of Engineering
Field of Study	Manufacturing Systems Engineering
Department	Production Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2554

Abstract

247104

The aim of this research is to study the effects of methane gas flow rate on the physical, chemical and biological properties of titanium aluminum vanadium carbonitride ($TiAlVC_xN_y$) coating on the Titanium alloy grade Ti-6Al-4V. The coating process was done by using DC unbalance magnetron sputtering technique. During the coating process, the Argon (Ar) and Nitrogen (N_2) gas flow rate, including other coating parameters, were maintained constantly, whereas the gas flow rate of Methane (CH_4) was varied in differently 3 levels, since 0.3, 0.5 and 0.7 sccm. After finishing the coating process, All coating specimens were investigated their properties, such as surface roughness, surface morphology, film thickness, crystal structure, surface hardness, friction coefficient, wettability, wear volume and MTT cytotoxicity assay. The result has been shown that the methane gas flow rate play an important role for the coating film performance.

Keywords : Titanium Aluminium Vanadium Carbonitride / PVD / Wear / Cytotoxicity

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ ผู้เขียนต้องขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ไชยา ดำคำ และ ดร.ไพบูลย์ ช่วงทอง อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยนี้ ที่ได้ให้คำปรึกษาและชี้แนะ แนวทางความรู้ แนวทางการดำเนินการวิจัย และวิธีในการแก้ไขปัญหาด้วยความเอาใจใส่ตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัยนี้ รวมทั้ง รศ.ดร.สุรสิงห์ ไชยคุณ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง ผศ.ดร.กุศล พร้อมมูล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.โอภาส ตรีทวีศักดิ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และเพื่อนๆ น้องๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงทุกคน ที่มีส่วนช่วยเหลือและสนับสนุนในการทำงานวิจัยนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดาและอาจารย์ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาอันยิ่งใหญ่ จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ซ
รายการรูปประกอบ	ฌ
รายการสัญลักษณ์	ฐ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฒ

บทที่

1.	**บทนำ**	**1**
	1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
	1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
	1.4 ขั้นตอนดำเนินการ	2
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2.	**ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	**4**
	2.1 วัสดุไทเทเนียม	4
	2.2 การเคลือบฟิล์มบาง	4
	2.3 การก่อเกิดฟิล์มบาง	6
	2.4 โครงสร้างของฟิล์มบาง	8
	2.5 กระบวนการสปัตเตอริง	9

2.6 ระบบเคลือบผิวแบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง 11

2.7 ระบบเคลือบผิวแบบอันบาลานซ์แมกนีตรอนสปัตเตอริง 12

2.8 ความเรียบผิว 13

2.9 การวัดความหนาของผิวเคลือบ โครงสร้างจุลภาค และส่วนผสมทางเคมี 14

2.10 เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ 15

2.11 ความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ 17

2.12 ความเสียดทาน 18

2.13 การสึกหรอ 23

2.14 Wettability 29

2.15 การทดสอบทางชีวภาพ 30

2.16 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32

3. การดำเนินการวิจัย 36

3.1 การเตรียมชิ้นงาน 36

3.2 การปรับปรุงสภาพผิวด้วยวิธีไอทางกายภาพ 36

3.3 การวัดความเรียบผิว 38

3.4 การศึกษาโครงสร้างจุลภาค ส่วนผสมทางเคมี และวัดความหนาของผิวเคลือบ 39

3.5 การศึกษาการจัดเรียงตัวของผลึกด้วยเทคนิค XRD 40

3.6 การวัดความแข็ง 41

3.7 การวัดสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 42

3.8 การทดสอบการสึกหรอ 42

3.9 การวัดมุมการกระจายตัวของของเหลวด้วยวิธีทดสอบแบบ Contact angle 43

3.10 การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์สิ่งมีชีวิตด้วยวิธีทดสอบทางอ้อมแบบ MTT cytotoxicity assay 44

4. ผลการทดลอง 46

4.1 ความเรียบผิว 46

4.2 โครงสร้างจุลภาค ความหนาของชั้นผิวเคลือบ และส่วนผสมทางเคมี 48
4.3 การจัดเรียงตัวของผลึกด้วยเทคนิค XRD 52
4.4 ความแข็ง 54
4.5 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 55
4.6 ปริมาตรการสึกหรอ 57
4.7 การวัดมุมการกระจายตัวของของเหลวด้วยวิธีทดสอบแบบ Contact angle 61
4.8 การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์สิ่งมีชีวิตด้วยวิธีทดสอบทางอ้อมแบบ MTT cytotoxicity assay 64

5. อภิปรายผลการทดลอง 67
5.1 ความแข็ง 67
5.2 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 68
5.3 การสึกหรอ 69
5.4 การกระจายตัวของของเหลว 72
5.5 ความเป็นพิษต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต 74

6. สรุปผลการทดลอง 75
6.1 สรุปผลการทดลอง 75
6.2 ข้อเสนอแนะ 76

เอกสารอ้างอิง 77

ภาคผนวก 80
ก โลหะผสมไททาเนียมอัลลอย 80
ข ฐานข้อมูล JCPDS-ICDD # 00-038-1420, JCPDS-ICDD # 00-005-0682 และ JCPDS-ICDD # 04-002-5934 82
ค แสดงสัญลักษณ์และค่าพารามิเตอร์ของการศึกษาการจัดเรียงตัวของผลึก 86

ประวัติผู้วิจัย 89

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
3.1	แสดงพารามิเตอร์ในการเคลือบผิว	37
3.2	พารามิเตอร์ของเครื่อง Scanning electron microscope/SEM	39
3.3	พารามิเตอร์ของเครื่อง X-ray Diffraction/XRD	40
3.4	พารามิเตอร์ของเครื่อง Fretting wear test machine	42
4.1	ผลการวัดค่าความเรียบผิวของชิ้นงานที่ไม่มีการเคลือบผิว และชิ้นงานที่มีการเคลือบผิวด้วย $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.3, 0.5 และ 0.7 sccm	47
4.2	ผลการวัดความหนาผิวของผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.3, 0.5 และ 0.7 sscm	49
4.3	แสดงส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานที่ไม่มีการเคลือบผิว และชิ้นงานที่มีการเคลือบผิวด้วย $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.3, 0.5 และ 0.7 sccm	50
4.4	ผลการวัดความแข็ง	54
4.5	ผลการวัดสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	55
4.6	ผลการวัดปริมาตรการสึกหรอ	58
4.7	ผลการวัดมุมการกระจายตัวของของเหลวบนชิ้นงาน	61
4.8	ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต	64
6.1	แสดงสรุปภาพรวมของชิ้นงานที่ไม่มีการเคลือบผิวและชิ้นงานที่มีการเคลือบผิวด้วยด้วย $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.3, 0.5 และ 0.7 sccm	76
ก.1	แสดงส่วนผสมทางเคมี สมบัติทางกล และการใช้งานของโลหะผสมไทเทเนียมอัลลอย	81
ข.1	ฐานข้อมูล JCPDS-ICDD # 00-038-1420	83
ข.2	ฐานข้อมูล JCPDS-ICDD # 00-005-0682	84
ข.3	ฐานข้อมูล JCPDS-ICDD # 04-002-5934	85
ค.1	แสดงสัญลักษณ์และค่าพารามิเตอร์ของการศึกษาการจัดเรียงตัวของผลึก	87

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	แสดงการก่อเกิดฟิล์มบาง	7
2.2	แสดงโครงสร้างการเกิดฟิล์มในรูปแบบต่างๆ	9
2.3	แสดงอันตรกิริยาระหว่างไอออนกับพื้นผิววัสดุ	10
2.4	แสดงการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก	12
2.5	แสดงลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กของระบบอันบาลานซ์แมกนีตรอนสปัตเตอริง	13
2.6	แสดงเส้นขอบของพื้นผิวและความเรียบ	14
2.7	แสดง X-Ray Diffractometer	16
2.8	แสดง Intensity Peak ที่แสดงถึงระนาบผลึกของวัสดุในตำแหน่งที่มีการสะท้อนรังสี	17
2.9	แสดงการทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์	18
2.10	แสดงแผนภูมิประเภทของความเสียดทาน	18
2.11	แสดงความเสียดทานลื่น	19
2.12	แสดงความเสียดทานกลิ้งยืดหยุ่น	19
2.13	แสดงความเสียดทานกลิ้งลื่น	20
2.14	แสดงสภาวะความเสียดทาน	20
2.15	แสดงความเสียดทานวัตถุแข็ง	21
2.16	แสดงการเสียดทานจนเกิดแรงแอดฮีชัน (Adhesion)	21
2.17	แสดงการเสียดทานแอบราชันเกิดการปาดผิวจุลภาค	21
2.18	แสดงการเสียดทานล้าตัว	22
2.19	แสดงความเสียดทานของไหล	22
2.20	แสดงความเสียดทานขอบเขต	22
2.21	แสดงความเสียดทานผสม	23
2.22	แสดงการสึกหรอในกลุ่ม Abrasion	26
2.23	แสดงการสึกหรอในกลุ่ม Erosive Wear	27

2.24	แสดงแบบการสึกหรอในกลุ่ม Adhesive Wear	28
2.25	แสดงมุมสัมผัส (Contact angle)	30
3.1	แสดงขนาดของตัวอย่างชิ้นงาน	36
3.2	(a) การเคลือบผิวแบบ DC Unbalance magnetron sputtering (b) Diagram ของ DC Unbalance magnetron sputtering	38
3.3	เครื่อง 3D measuring laser microscope ยี่ห้อ Olympus OLS 4000	39
3.4	เครื่อง Scanning electron microscope ยี่ห้อ Hitachi S4700 FE-SEM	40
3.5	เครื่อง X-ray Diffraction/XRD ยี่ห้อ Rigaku TTRAX III	41
3.6	เครื่อง Nano indentation tester ยี่ห้อ CSM	41
3.7	เครื่อง Micro scratch tester ยี่ห้อ CSM	42
3.8	เครื่อง Fretting wear test machine	43
3.9	เครื่องวัดมุม Contact angle ยี่ห้อ Dataphysics OCA-20	44
3.10	แสดง Plate การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต	45
3.11	เครื่อง Microplate reader ยี่ห้อ ASYS UVM 340	45
4.1	แสดงการหลุดร่อนของผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ที่ปริมาณอัตราการไหลของก๊าซมีเทน 1 sccm	46
4.2	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเรียบผิวของชิ้นงานที่ไม่มีการเคลือบผิว และชิ้นงานที่มีการเคลือบผิวด้วย $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.3, 0.5 และ 0.7 sccm	47
4.3	(a) แสดงโครงสร้างจุลภาค (b) แสดงความหนาโดยภาพตัดขวางผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหล CH_4 ที่ 0.3 sccm	48
4.4	(a) แสดงโครงสร้างจุลภาค (b) แสดงความหนาโดยภาพตัดขวางผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหล CH_4 ที่ 0.5 sccm	48
4.5	(a) แสดงโครงสร้างจุลภาค (b) แสดงความหนาโดยภาพตัดขวางผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหล CH_4 ที่ 0.7 sccm	49
4.6	แสดงสเปกตรัมจาก (SEM/EDS) ของชิ้นงาน Ti-6Al-4V	50
4.7	แสดงสเปกตรัมจาก (SEM/EDS) ของผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.3 sccm	51
4.8	แสดงสเปกตรัมจาก (SEM/EDS) ของผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.5 sccm	51

4.9	แสดงสเปกตรัมจาก (SEM/EDS) ของผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.7 sccm	52
4.10	แสดงการจัดเรียงตัวของผลึกของชิ้นงานที่ไม่มีการเคลือบผิว และชิ้นงานที่มีการเคลือบผิวด้วย $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.3, 0.5 และ 0.7 sccm	53
4.11	แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็ง	54
4.12	แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	55
4.13	(a) แสดงจุดเริ่ม (b) แสดงจุดสิ้นสุด ของการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของชิ้นงาน Ti-6Al-4V	56
4.14	(a) แสดงจุดเริ่ม (b) แสดงจุดสิ้นสุด ของการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดของผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณ อัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.3 sccm	56
4.15	(a) แสดงจุดเริ่ม (b) แสดงจุดสิ้นสุด ของการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดของผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณ อัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.5 sccm	56
4.16	(a) แสดงจุดเริ่ม (b) แสดงจุดสิ้นสุด ของการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดของผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณ อัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.7 sccm	57
4.17	แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาตรการสึกหรอ	58
4.18	แสดง Wear scar ของชิ้นงาน Ti-6Al-4V	59
4.19	แสดง Wear scar ของผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.3 sccm	59
4.20	แสดง Wear scar ของผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.5 sccm	60
4.21	แสดง Wear scar ของผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.7 sccm	60
4.22	แสดงการเปรียบเทียบมุมสัมผัส (Contact angle)	61
4.23	แสดงมุมสัมผัส (Contact angle) ของชิ้นงาน Ti-6Al-4V	62
4.24	แสดงมุมสัมผัส (Contact angle) ของผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.3 sccm	62
4.25	แสดงมุมสัมผัส (Contact angle) ของผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.5 sccm	62
4.26	แสดงมุมสัมผัส (Contact angle) ของผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.7 sccm	63
4.27	(a) แสดงเซลล์ก่อนการทดสอบ (b) แสดงเซลล์หลังการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต ของชิ้นงาน Ti-6Al-4V	65

4.28	(a) แสดงเซลล์ก่อนการทดสอบ (b) แสดงเซลล์หลังการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต ของผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.3 sccm	65
4.29	(a) แสดงเซลล์ก่อนการทดสอบ (b) แสดงเซลล์หลังการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต ของผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.5 sccm	66
4.30	(a) แสดงเซลล์ก่อนการทดสอบ (b) แสดงเซลล์หลังการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต ของผิวเคลือบ $TiAlVC_xN_y$ ปริมาณอัตราการไหลของ CH_4 ที่ 0.7 sccm	66
5.1	แสดงอิทธิพลของคาร์บอนที่มีผลต่อความแข็ง	67
5.2	แสดงอิทธิพลของขนาด Lattice ที่มีผลต่อความแข็ง	68
5.3	แสดงอิทธิพลของคาร์บอนที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	69
5.4	แสดงอิทธิพลของความเรียบผิวที่มีผลต่อปริมาตรการสึกหรอ	70
5.5	แสดงอิทธิพลของความแข็งที่มีผลต่อปริมาตรการสึกหรอ	71
5.6	แสดงอิทธิพลของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่มีผลต่อปริมาตรการสึกหรอ	72
5.7	แสดงอิทธิพลของความเรียบผิวที่มีผลต่อมุมสัมผัสของของเหลว	73
5.8	แสดงอิทธิพลของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่มีผลต่อมุมสัมผัสของของเหลว	73
5.9	แสดงอิทธิพลของคาร์บอนที่มีผลต่อ % Viability	74

รายการสัญลักษณ์

$2d_{hkl}$	=	ระยะห่างระหว่างระนาบของแลททิซ
a	=	ค่าคงที่แลตทิซ
Ra	=	ค่าความเรียบผิว
S	=	ค่ายีลด์ของสปัตเตอริง
θ	=	มุมสะท้อนจากระนาบแบรกก์ของรังสีเอ็กซ์
λ	=	ความยาวคลื่น
μ	=	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

ประมวลศัพท์และคำย่อ

CH_4	=	มีเทน
CVD	=	Chemical vapour deposition
DMSO	=	ไดเมธิลซัลฟอกไซด์
EDS	=	Energy-dispersive x-ray spectrometer
HCP	=	Hexagonal close packed
ICDD	=	International Centre for Diffraction Data
JCPDS	=	Joint Committee on Powder Diffraction Standards
MEM	=	Eagles Minimum Essentail medium
MTT	=	3-(4,5-Dimethylthiazol-2-yl)-2,5-Diphenyltetrazoliumbromide
OD	=	Optical density
PVD	=	Physical vapour deposition
TiAlN	=	ไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์
TiAlCN	=	ไทเทเนียมอลูมิเนียมคาร์โบไนไตรด์
$TiCl_4$	=	ไทเทเนียมเตตระคลอไรด์
TiN	=	ไทเทเนียมไนไตรด์
TiO_2	=	ไทเทเนียมไดออกไซด์
SEM	=	Scanning electron microscope
XRD	=	X-ray Diffraction
ZDEC	=	ซิงก์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต