

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการเจาะขนาดจุลภาคบนไททาเนียมผสม โดยการเคลือบด้วยฟิล์มคาร์บอนคล้ายเพชร จำนวน 4 ชนิดได้แก่ DLC, H-DLC, Si-O-DLC และ Si-N-DLC ฟิล์มเคลือบทั้งหมดถูกเคลือบบนดอกสว่านทั้งสเตนคาร์ไบด์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ความหนาของฟิล์มเคลือบถูกกำหนดไว้ที่ 500 นาโนเมตร ซึ่งถูกเตรียมด้วยกระบวนการ Plasma based ion implantation ประสิทธิภาพของดอกสว่านที่ถูกเคลือบผิวทดสอบโดยการเจาะบนวัสดุไททาเนียมผสม เกรด Ti6Al4V จำนวน 200 รู ความเร็วรอบและอัตราป้อนถูกกำหนดไว้ที่ 19,200 รอบต่อนาที และ 120 มิลลิเมตรต่อนาทีตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าดอกสว่านที่เคลือบด้วยฟิล์ม H-DLC มีการต้านทานการสึกหรอได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับฟิล์ม 4 ชนิด และแสดงการเพิ่มอายุการใช้งานได้ถึง 2 เท่าเมื่อเทียบกับดอกสว่านที่ไม่ผ่านการเคลือบ ทั้งนี้เนื่องจากมีค่าความแข็งของผิวฟิล์มสูงสุดคือ 12.2 GPa และมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำเท่ากับ 0.11 ที่อุณหภูมิ 400°C นอกจากนี้ ดอกสว่านที่เคลือบด้วยฟิล์ม DLC และ Si-N-DLC แสดงการเพิ่มอายุการใช้งานได้ 1 เท่า และดอกสว่านที่เคลือบด้วยฟิล์ม Si-O-DLC แสดงการเพิ่มอายุการใช้งานได้ 0.5 เท่าเมื่อเทียบกับดอกสว่านที่ไม่ผ่านการเคลือบ

Abstract

This research aims to study the efficiency improvement of micro-drilling on titanium alloys by diamond like carbon films coatings with 4 types of films, DLC, H-DLC, Si-O-DLC and Si-N-DLC films. All films were coated on tungsten carbide drill tool with 1 millimeter diameter. The film thickness was set to 500 nm and prepared by Plasma based ion implantation process. The efficiency of coated drill was tested by drilling Titanium alloys grade Ti6Al4V plate for 200 holes. The speed and feed rate were set to 19,200 rpm and 120 mm/min, respectively. The results indicate that drill coated by H-DLC film shows the best wear resistance among these four films, presenting 2 times longer tool life than the uncoated drill tool. This is due to highest film hardness of 12.2 GPa and low friction coefficient of 0.11 at 400°C temperature. Moreover, drill coated by DLC and Si-N-DLC films shows 1 time longer tool life, and drill coated by Si-O-DLC film shows 0.5 time longer tool life than the uncoated drill tool.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ได้สนับสนุนงบประมาณสำหรับการดำเนินงานวิจัย ซึ่งเป็นทุนวิจัยหมวดเงินอุดหนุนที่ได้รับการจัดสรรจากรัฐ และขอขอบคุณภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้พื้นที่และเครื่องมือต่างๆ สำหรับการศึกษาวิจัย

คณะผู้วิจัย

30 กันยายน 2558

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
รายการตาราง	จ
รายการรูปประกอบ	ฉ
รายการสัญลักษณ์	ช
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ญ
บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์งานวิจัย	2
ขอบเขตงานวิจัย	2
วิธีการดำเนินงานวิจัยโดยสรุป	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
ทฤษฎีที่นำมาใช้ในงานวิจัย	4
สมมุติฐานและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	8
การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	8
วิธีการดำเนินงานวิจัย	12
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	13
การทดสอบความแข็งของฟิล์ม	13
การทดสอบส่วนผสมทางเคมีของฟิล์ม	13
การทดสอบสมบัติทางความร้อนของฟิล์ม	13
การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์ม	17
การทดสอบการเจาะ	21
การวัดการสึกหรอของดอกสว่าน	24
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	29
เอกสารอ้างอิง	31

ผลงานตีพิมพ์	32
ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบการเจาะ	33
ภาคผนวก ข. ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด	40
ภาคผนวก ค. ผลงานตีพิมพ์	46

รายการตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	สมบัติของฟิล์มเคลือบ DLC
ตารางที่ 2	ความแข็งของฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ
ตารางที่ ก.1	ขนาดของดอกสว่านก่อนและหลังการทดสอบเจาะ
ตารางที่ ก.2	ขนาดของรูเจาะตั้งแต่รูที่ 1 ถึงรูที่ 200

รายการรูปประกอบ

		หน้า
รูปที่ 1	Schematic diagram of PBII technique	4
รูปที่ 2	Ternary phase diagram	5
รูปที่ 3	ส่วนประกอบของดอกสว่าน	6
รูปที่ 4	จำนวนของรูเจาะหลังจากดอกสว่านถูกเคลือบด้วยฟิล์ม DLC	9
รูปที่ 5	ดอกสว่านชนิดต่างๆ	9
รูปที่ 6	ลักษณะครีบริ้วที่รูทางออกของดอกสว่านชนิดต่างๆ	10
รูปที่ 7	การยึดติดของ Titanium บนดอกสว่าน	11
รูปที่ 8	การแตกหักของดอกสว่าน	11
รูปที่ 9	การเปรียบเทียบความสูงของครีบริ้วเมื่อมีการระบายความร้อน	11
รูปที่ 10	ส่วนผสมทางเคมีของฟิล์มเคลือบ DLC	10
รูปที่ 11	ส่วนผสมทางเคมีของฟิล์มเคลือบ H-DLC	14
รูปที่ 12	ส่วนผสมทางเคมีของฟิล์มเคลือบ Si-O-DLC	15
รูปที่ 13	ส่วนผสมทางเคมีของฟิล์มเคลือบ Si-N-DLC	16
รูปที่ 14	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของฟิล์มเคลือบ	16
รูปที่ 15	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบที่ไม่ผ่านการอบ	17
รูปที่ 16	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ DLC	18
รูปที่ 17	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ H-DLC	18
รูปที่ 18	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ Si-O-DLC	19
รูปที่ 19	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ Si-N-DLC	20
รูปที่ 20	ลักษณะการสึกหรอที่พบหลังการทดสอบการเจาะ 200 รู	21
รูปที่ 21	ขนาดของดอกสว่านก่อนและหลังการทดสอบการเจาะจำนวน 200 รู	22
รูปที่ 22	ขนาดของรูเจาะหลังการทดสอบการเจาะที่ตำแหน่งต่างๆ	23
รูปที่ 23	ขนาดของดอกสว่านที่เปลี่ยนแปลงหลังจากทำการเจาะ 200 รู	24
รูปที่ 24	ดอกสว่านที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวก่อนการทดสอบการเจาะ	25
รูปที่ 25	ดอกสว่านที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวหลังการทดสอบการเจาะ	25
รูปที่ 26	ดอกสว่านที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวเกิดการเชื่อมติดของเศษโลหะ	26
รูปที่ 27	ธาตุที่พบบริเวณผิวของดอกสว่านที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว	26

รูปที่ 28	ดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบ Si-N-DLC	27
รูปที่ 29	ดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบ Si-N-DLC เกิดการสึกหรอ	27
รูปที่ ก.1	ดอกสว่านที่ไม่ทำการเคลือบผิวก่อนเจาะและหลังเจาะ	35
รูปที่ ก.2	ดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบ DLC ก่อนและหลังเจาะ	35
รูปที่ ก.3	ดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบ H-DLC ก่อนและหลังเจาะ	36
รูปที่ ก.4	ดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบ Si-O-DLC ก่อนและหลังเจาะ	36
รูปที่ ก.5	ดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบ Si-N-DLC ก่อนและหลังเจาะ	37
รูปที่ ก.6	รูเจาะที่ 1 ถึง 200 โดยดอกสว่านที่ไม่ทำการเคลือบผิว	37
รูปที่ ก.7	รูเจาะที่ 1 ถึง 200 โดยดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบ DLC	38
รูปที่ ก.8	รูเจาะที่ 1 ถึง 200 โดยดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบ H-DLC	38
รูปที่ ก.9	รูเจาะที่ 1 ถึง 200 โดยดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบ Si-O-DLC	39
รูปที่ ก.10	รูเจาะที่ 1 ถึง 200 โดยดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบ Si-N-DLC	39
รูปที่ ข.1	ดอกสว่านที่ไม่ทำการเคลือบผิวก่อนเจาะ	41
รูปที่ ข.2	ดอกสว่านที่ไม่ทำการเคลือบผิวหลังทดสอบการเจาะที่ 200 รู	41
รูปที่ ข.3	ดอกสว่านที่ไม่ทำการเคลือบผิวเกิดการเชื่อมติดของโลหะ	42
รูปที่ ข.4	ดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบ DLC หลังทดสอบการเจาะที่ 200 รู	42
รูปที่ ข.5	ดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบ DLC เกิดการเชื่อมติดของโลหะ	43
รูปที่ ข.6	ดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบ H-DLC หลังทดสอบการเจาะที่ 200 รู	43
รูปที่ ข.7	ดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบ Si-O-DLC หลังทดสอบการเจาะที่ 200 รู	44
รูปที่ ข.8	ดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบ Si-O-DLC เกิดการเชื่อมติดของโลหะ	44
รูปที่ ข.9	ดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบ Si-N-DLC หลังทดสอบการเจาะที่ 200 รู	45
รูปที่ ข.10	ดอกสว่านที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มเคลือบ Si-N-DLC เกิดการสึกหรอเนื่องจากการเสียดสี	45

รายการสัญลักษณ์

μm	=	ไมโครเมตร
μs	=	10^{-6} วินาที
a-C	=	ผิวเคลือบ Amorphous Carbon
a-C:H	=	ผิวเคลือบ Hydrogenated Amorphous Carbon
C	=	คาร์บอน
C_2H_2	=	ก๊าซอะซิทีลีน
mm	=	มิลลิเมตร
CNC	=	การควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์
CVD	=	กระบวนการเคลือบผิวโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมี
DLC	=	ผิวเคลือบ Diamond-like Carbon
EDS	=	การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ Energy Dispersive X-ray Spectrometer
GPa	=	10^9 ปาสคาล
H	=	ไฮโดรเจน
H-DLC	=	ผิวเคลือบ Diamond-like Carbon ที่เพิ่มปริมาณ ไฮโดรเจน
HSS	=	เหล็กกล้าความเร็วสูง
Hz	=	ความถี่ในหน่วยรอบต่อวินาที
kV	=	กิโลโวลต์
O	=	ออกซิเจน
O_2	=	ก๊าซออกซิเจน
Pa	=	ปาสคาล
PBII	=	กระบวนการเคลือบผิวด้วยวิธีการฝังไอออนลงไปใน ผิวของชิ้นงาน
PVD	=	กระบวนการเคลือบผิวด้วยไอทางกายภาพ
Ra	=	ค่าความหยาบผิวที่ยอดแหลมของคลื่น
rev	=	จำนวนรอบการหมุน
R max	=	ความลึกสูงสุดของร่องความหยาบ
rpm	=	จำนวนรอบการหมุนต่อนาที
Ry(Rt)	=	ค่าวัดจากสูงสุดไปยังต่ำสุดของผิวงาน

Rz	=	ค่าความหยาบผิวจากการวัดเป็นช่วงเท่า กัน 5 ช่วง
SEM	=	กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด Scanning electron microscope
Si(CH ₃) ₄	=	ก๊าซเตตระเมทิลไซเลน
Si	=	ซิลิคอน
Si-O-DLC	=	ผิวเคลือบ Diamond-like Carbon ที่เพิ่มปริมาณซิลิคอน และออกซิเจน
Si-N-DLC	=	ผิวเคลือบ Diamond-like Carbon ที่เพิ่มปริมาณซิลิคอน และไนโตรเจน
sp ¹	=	ไฮบริดเซชันที่มีโครงสร้างแบบเส้นตรง
sp ²	=	ไฮบริดเซชันที่มีโครงสร้างแบบสามเหลี่ยมแบนราบ
sp ³	=	ไฮบริดเซชันที่มีโครงสร้างแบบทรงสี่หน้า
ta-C	=	ผิวเคลือบแบบ Tetrahedral Amorphous Carbon
ta-C:H	=	ผิวเคลือบแบบ Hydrogenated Tetrahedral Amorphous Carbon
Ti-6Al-4V	=	ไททาเนียมเกรด 5 ที่ใช้ในอุปกรณ์ทางการแพทย์

ประมวลศัพท์และคำย่อ

Amorphous	=	อสัณฐาน
Argon Plasma	=	พลาสมาของอาร์กอน
Bias Voltage	=	กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับชิ้นงานระหว่างการเคลือบ
Calibrate	=	การสอบเทียบเครื่องมือ
Cemented Carbide	=	วัสดุที่ประกอบด้วยคาร์ไบด์ชนิดต่าง ๆ สำหรับใช้ผลิตเป็นเครื่องมือตัด
Chemical Vapor Deposition	=	การเคลือบผิวด้วยไอระเหยทางเคมี
Chisel Edge	=	คมขวาง
Cleaning	=	ขั้นตอนการทำความสะอาด
Cutting Edge	=	คมตัด
Coating	=	การเคลือบ
Conventional Diamond-like Carbon	=	ผิวเคลือบ DLC ที่ไม่มีการเพิ่มธาตุอื่น ๆ เข้าไป
Deposition Layer	=	การเคลือบผิวชั้นนอกสุด
Diamond	=	เพชร
Diamond-like Carbon	=	ผิวเคลือบคาร์บอนที่มีลักษณะคล้ายเพชร
Drill Wear	=	การสึกหรอของดอกสว่าน
Gas Supply System	=	ระบบจ่ายก๊าซ
Hydrogenated	=	มีส่วนผสมของไฮโดรเจน
Immobilization	=	การทำให้กระดูกอยู่นิ่งๆ
Implant	=	วัสดุฝังใน
Land	=	คมเลื่อย
Mechanism	=	กลไก
Mounting	=	การขึ้นเรือนวัสดุเพื่อจับยึดชิ้นงาน
Optical Microscope	=	กล้องจุลทรรศน์
Physical Vapor Deposition	=	การเคลือบผิวด้วยไอระเหยทางกายภาพ
Plasma Based Ion Implantation	=	กระบวนการเคลือบผิวด้วยวิธีการฝังไอออนลงไป ในผิวของชิ้นงาน
Plasma Generator	=	เครื่องสร้างพลาสมา
Reduction	=	การจัดกระดูกให้เข้าที่
Roughness	=	ความหยาบของผิว

Thickness	=	ความหนา
Three-body Abrasion	=	การขัดสีแบบที่เกิดจากการตัดเฉือนของวัสดุ 3 ชนิด
Titanium	=	ธาตุเคมีสัญลักษณ์ Ti
Transition Layer	=	ชั้นของผิวเคลือบที่รองจาก Deposition Layer
Trigonal	=	สามเหลี่ยมแบนราบ
Vacuum Chamber	=	ห้องเคลือบผิวสุญญากาศ
Wavenumber	=	ความยาวคลื่นในหน่วย cm^{-1}
Wire Cut	=	เครื่องตัดโลหะด้วยลวด