

## การปรับปรุงผิวชิ้นงานเหล็กเครื่องมือด้วยเครื่องกัดอาร์คทางไฟฟ้า Surface Modification of Tool Steel with Electrical Discharge Machine

อภิวัฒน์ มุฑามาระ<sup>1\*</sup>, วารุณี บวรเกียรติแก้ว<sup>2</sup>, อนุพงษ์ พรพิจิตร<sup>3</sup>, สงกรานต์ นวลชม<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.ธรรมศาสตร์

ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

<sup>2,3,4</sup> ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย

ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

\*ติดต่อ: mapiwat@engr.tu.ac.th, โทร. 02-564-3002 ต่อ 3189, โทรสาร. 02-564-3017

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอผลการศึกษาการใช้เครื่องกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า (EDM) ในการเคลือบชั้นผิวด้วยไททาเนียมในน้ำยูเรียบนชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 การทดลองได้ใช้ค่าปัจจัย คือ กระแสไฟฟ้า 25 แอมแปร์ ค่าความต่างศักย์ 250 โวลต์ ระยะเวลาเปิด และระยะเวลาปิด 250 ไมโครวินาที ผลการศึกษาพบว่าชั้นไททาเนียมไนไตรด์สามารถสร้างขึ้นที่มีความหนา 15 ไมครอน บนชั้นหลอมทั้งหมดที่มีความหนา 30 ไมครอน ความแข็งระดับจุลภาคของชั้นไททาเนียมไนไตรด์มีค่า 760 HV

**คำหลัก:** เครื่องกัดอาร์คโลหะด้วยไฟฟ้า ; อี ดี เอ็ม ; ไททาเนียมไนไตรด์ ; ยูเรีย ; เคลือบผิว

### Abstract

The surface modification by a titanium electrode onto a tool steel SKD11 surface by electrical discharge machining (EDM) was studied. The experiment was carried out with current 25 A, open load voltage 250 volts, on time 250  $\mu$ s and off time 250  $\mu$ s. An analysis of the chemical composition using energy dispersive spectroscopy (EDS) revealed that a titanium coating layer was formed on the workpiece. The structure phrase was evaluated using XRD. The results show that TiN layer can be generated with 15  $\mu$ m on a white layer 30  $\mu$ m. The micro vicker hardness of the TiN layer can be reached 760 HV.

**Keywords:** Electrical Discharge machine ; EDM ; Titanium nitride ; Urea ; Coating

### 1. บทนำ

ปัจจุบัน เครื่อง EDM (Electrical Discharge Machine) ได้มีการใช้อย่างแพร่หลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ เมื่อทำการ EDM จะเกิดชั้นหลอมสีขาวบนผิวของชิ้นงาน ชั้นหลอมสีขาวนี้จะมีลักษณะแข็งกว่าชิ้นงานปกติเนื่องจากเป็นชั้นที่หลอมกลับมาจากใหม่หลังการสปาร์คและได้ผสมกับคาร์บอน ซึ่ง

อยู่ในน้ำมัน EDM เนื่องจากมีความแข็งมากบางครั้งจะพบรอยแตกกร้าวบนชั้นหลอมนี้ และจะส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งาน ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการศึกษาและปรับปรุงพื้นผิวเพื่อยืดอายุการใช้งานของชิ้นงาน ซึ่งการเคลือบผิววัสดุเป็นหนึ่งในวิธีการปรับปรุงผิวของวัสดุวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเคลือบด้วยไนไตรด์ของธาตุสองชนิด (binary nitride) เช่น

## AMM-149

ไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) ซึ่งมีการนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา เนื่องจากเป็นชั้นเคลือบที่มีความแข็งสูงมาก อีกทั้งยังมีความทนทานทนทานรวมทั้งมีอายุการใช้งานยาวนาน

งานวิจัยเกี่ยวกับการกัดสปาร์คด้วยไฟฟ้า(EDM) ส่วนใหญ่จะศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของชั้นหลอมหลังกระบวนการกัดสปาร์ค[1] Mohri และคณะ N. Mohri และคณะ[2] ได้สังเกตว่าความแข็งของชั้นสีขาวน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการเคลือบผิวซึ่งต่อมาได้มีการนำเอาผงไทเทเนียมผสมในน้ำมันไฮโดรคาร์บอนเพื่อให้ได้ชั้นสีขาวเป็นไททาเนียมคาร์ไบด์ โดยคาร์ไบด์มาจากคาร์บอนในน้ำมันตัวกลาง [3] การเคลือบผิวสามารถเคลือบผิวทั้งสแตนคาร์ไบด์เพื่อลดรอยแตกกร้าวและยังเพิ่มความแข็งที่ชั้นเคลือบด้วย [4] การศึกษาชั้นสีขาวได้ทดลองในของเหลวตัวกลางที่ไม่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบ เช่นน้ำ ซึ่งผิวที่ได้จะเป็นสารประกอบออกไซด์ ซึ่งจะเกิดสนิม [5] การศึกษาโครงสร้างของชั้นหลอมสีขาวในน้ำมัน พบว่าโครงสร้างมาร์เทนไซต์ของชั้นหลอมสีขาวมีผลต่อความแข็ง และความเค้นที่ตกค้างเป็นแบบดิ่ง ลักษณะโครงสร้างเปลี่ยนไปเนื่องจากปัจจัยตัวแปรของการ EDM [6] การทดลองได้ลองของเหลวตัวกลางที่ไม่มีคาร์บอนและหลีกเลี่ยงออกซิเจน ซึ่งคือน้ำยูเรีย การศึกษาได้กัดสปาร์คบนไททาเนียมอัลลอยด์ ซึ่งพบสารประกอบไททาเนียมไนไตรด์บนชั้นเคลือบ[7] และสามารถอธิบายได้ด้วย

ในงานวิจัยนี้ได้นำชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 มาทำการกัดสปาร์คด้วยไฟฟ้า (EDM) ในน้ำยูเรียด้วยอิเล็กโตรดไททาเนียมอัลลอยด์ เพื่อให้ได้ชั้นสีขาวปกคลุมบนชิ้นงานเพื่อช่วยให้ชิ้นงานมีความแข็งแรง ทนทานต่อการสึกกร่อน

### 2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษา ลักษณะของ พื้นผิว ของ ชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือ หลังการกัดสปาร์คด้วยเครื่องกัด

อาร์คด้วยไฟฟ้าด้วยอิเล็กโตรดไททาเนียมอัลลอยด์ในของเหลวตัวกลางน้ำยูเรีย

ลักษณะผิวงานหลังจากการกัดสปาร์ค ประเมินจากชั้นความหนาของชั้นหลอมขาว (White layer) ธาตุที่เกิดขึ้นบนชั้นหลอมขาว เฟสโครงสร้าง และความแข็งแรง

### 3. วิธีดำเนินการทดลอง

ชิ้นงาน คือ เหล็กเครื่องมือ SKD-11 ใช้อิเล็กโตรด คือ ไททาเนียมอัลลอยด์ (Ti-6Al-4V) เส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ซึ่งมีส่วนผสมตามตารางที่ 1 ของเหลวตัวกลางที่ใช้ในการทดลองคือน้ำยูเรีย ซึ่งเตรียมจากน้ำเปลาธรรมชาติผสมกับผงยูเรียความเข้มข้น 10 กรัม / ลิตร ตัวแปรที่ใช้ในการสปาร์คอ้างอิงจาก งานวิจัย Biing Hwa Yan [7] ดูได้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของ (Ti-6Al-4V) [8]

Component	Wt. %
Al	6
Fe	Max 0.25
O	Max 0.2
Ti	90
V	4

ตารางที่ 2 ค่าของตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ใช้
กระแสไฟฟ้า(แอมแปร์)	25
ความต่างศักย์ (โวลท์)	250
เวลาเปิด(ไมโครวินาที)	250
ปัจจัยประสิทธิภาพ	50%
ขั้วอิเล็กโตรด(polarity)	ขั้วลบ

### 4. ผลการทดลองและการอภิปราย

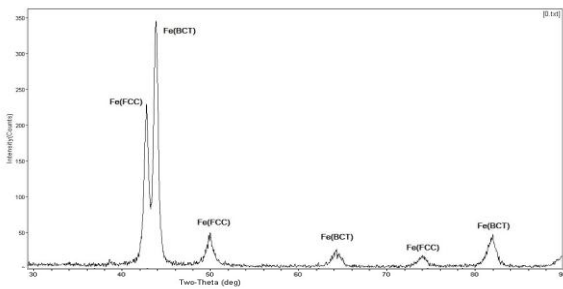
รูปที่ 1 แสดงรูปถ่ายพื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ



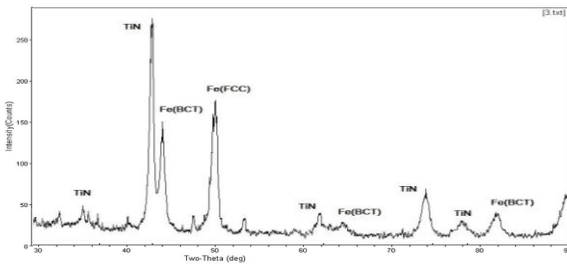
## AMM-149

โครงสร้างผลึกของชิ้นงานที่เกิดจากความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการสปาร์ค รูปที่ 3 ก) แสดงรูปแบบองค์ประกอบเฟสของชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 ที่ยังไม่ผ่านการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้า ซึ่งพบว่าโครงสร้างผลึกหลักคือ ออสเทนไนต์ (FCC) และ มาเทนไซต์ (BCT) ส่วนรูปที่ 3 ข) แสดงรูปแบบโครงสร้างผลึกของชิ้นงานที่ผ่านการกัดอาร์ค พบว่ามีโครงสร้างผลึกที่แตกต่างไปจากวัสดุชิ้นงานก่อนการกัดสปาร์ค กล่าวคือ จะมีเฟสของไททาเนียมไนไตรด์ (TiN) เกิดขึ้น ในขณะที่โครงสร้างผลึกหลักมาเทนไซต์ (BCT) จะมีปริมาณลดลงเนื่องจากการอบคืนตัวระหว่างการสปาร์คเรียงตัวเปลี่ยนเป็นเฟอร์ไรต์ (BCC) ในปริมาณที่มากขึ้น [9]

### ก) ก่อนการสปาร์ค



### ข) หลังการสปาร์ค

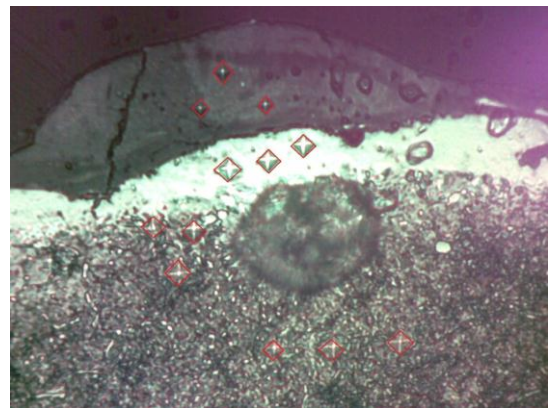


รูปที่ 3 ผล XRD ของชิ้นงาน ก) ก่อนการสปาร์ค และ ข) หลังการสปาร์ค

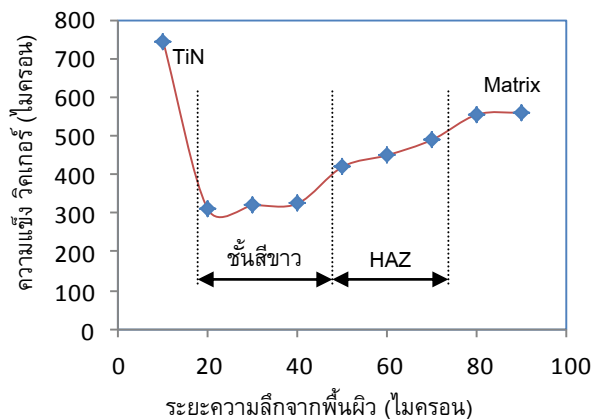
## 4.2 การวัดความแข็งของชั้นที่ศึกษาและชิ้นงาน

การวัดความแข็งของชิ้นงานภาคตัดขวางเป็นการยืนยันสารประกอบบนชิ้นงานและกระบวนการทางความร้อนที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างผลึก [9] รูปที่ 4 แสดงภาพตัดขวางของชิ้นงาน ซึ่งจะเห็นว่าชั้นไท

ทาเนียมไนไตรด์ที่เกิดขึ้นมี 2 ส่วน คือชั้นสีดำ และชั้นสีขาว และรูปที่ 5 แสดงค่าความแข็งวิกเกอร์ในระดับจุลภาคบนชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 ด้วยภาระน้ำหนักกด (Load) 10 กรัม ผลค่าความแข็งบนผิวหน้าพื้นที่ภาคตัดขวาง พบว่าความแข็งบริเวณที่เป็นชั้นสีดำด้านบนสุดของผิว หรือชั้นไททาเนียมไนไตรด์ (TiN) มีค่าความแข็งมากที่สุด คือ 760 HV และชั้นสีขาวที่ประกอบด้วย Ti แต่ไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าเช่นกันแต่มีปริมาณน้อย(จากผล EDS) มีความแข็งน้อยกว่า ชั้น TiN, HAZ และ ชั้นวัสดุพื้นฐาน เป็นผลเนื่องมาจากโครงสร้างที่เปลี่ยนไปจากเดิม คือโครงสร้างเดิมเป็นมาเทนไซต์ แต่เมื่อผ่านการ EDM เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นเฟอร์ไรต์ และออสเทนไนต์ สังเกตได้จากค่าความแข็งของชั้นลอมที่แตกต่างจากวัสดุพื้นฐาน



รูปที่ 4 ภาพชิ้นงานภาคตัดขวางที่ทำการวัดความแข็ง



รูปที่ 5 ค่าความแข็งวิกเกอร์ภาคตัดขวางของชิ้นงาน



## AMM-149

### 5. สรุปผลการทดลอง

การดำเนินงานวิจัยเพื่อศึกษาชั้นไททาเนียมใน  
ไตรต์ที่ปกคลุมบนพื้นผิวชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือ  
SKD11 เมื่อสปาร์คในน้ำยูเรียด้วยอิเล็กโตรดไททา  
เนียม สรุปผลได้ดังนี้

1. เมื่อทำการ EDM โดยใช้อิเล็กโตรดไททาเนียมอัล  
ลอยด์ ในน้ำยูเรียจะทำให้เกิดชั้นหลอมไททาเนียมใน  
ไตรต์บริเวณด้านบนสุดของพื้นผิวชิ้นงาน
2. ชั้นหลอมหลังจากการสปาร์คจะแบ่งเป็น ชั้น  
ประกอบด้วยไททาเนียมในไตรต์ซึ่งอยู่ด้านบนสุด และ  
ชั้นหลอมที่มีไททาเนียม
3. ผลการศึกษาพบว่าชั้นไททาเนียมในไตรต์  
สามารถสร้างขึ้นที่ความหนา 15 ไมครอนบนชั้นหลอม  
ทั้งหมดที่ความหนา 30 ไมครอน
4. ความแข็งระดับจุลภาคเฉลี่ยของชั้นไททาเนียมใน  
ไตรต์มีค่า 760 HV และความแข็งระดับจุลภาคเฉลี่ย  
ของชั้นหลอมไททาเนียมมีค่า 338.4 HV

### 6. ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลอง XRD ที่ได้ไททาเนียมในไตรต์  
บนชั้นสีขาวแต่ไม่พบไนโตรเจนในผลการทดลองEDS  
อาจเป็นเพราะน้ำยูเรียไม่มีความเข้มข้นเพียงพอ  
ดังนั้นจึงควรทำการทดลองที่ความเข้มข้นของน้ำยูเรีย  
ต่างๆกัน

### 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
ที่สนับสนุนงานวิจัยชิ้นนี้

### 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] J.P. Kruth, In-process alloying of the white  
layer of a workpiece machine by die-sinking EDM,  
International Journal electrical machining 3,  
(1998), pp. 33–38.
- [2] N. Mohri, N. Saito, Y. Tsunekawa, Metal  
surface modification by electrical discharge

machining with composite electrode, Annals of  
the CIRP 42, (1993), pp. 219–222.

[3] Q.Y. Ming, L.Y. He, Powder-suspension  
dielectric fluid for EDM, Journal of Material  
Processing Technology 52, (1995), pp.44–54.

[4] Pichai Janmanee, Apiwat Muttamara, 2012,  
Surface modification of tungsten carbide by  
electrical discharge coating (EDC) using a  
titanium powder suspension Original Research  
Article Applied Surface Science, Volume 258,  
Issue 19, pp. 7255-7265.

[5] Kruth, J.P., Stevens, L., Froyen, L., Lauwers,  
B. and Leuven, K.U: Study of the white layer of a  
surface machined by die-sinking electro-discharge  
Machining. Ann. CIRP,(1995) 44:pp. 169-172.

[6] Cusanelli, G., Hessler-Wyser, A., Bobard, F.,  
Demellayer, R., Perez, R., & Flükiger, R. (2004).  
Microstructure at submicron scale of the white  
layer produced by EDM technique. Journal of  
Materials Processing Technology, 149(1-3), pp.  
289-295.

[7] Biing Hwa Yan, Hsien Chung Tsai, Fuang  
Yuan Huang, 2005, The effect in EDM of a  
dielectric of a urea solution in water on modifying  
the surface of titanium, International Journal of  
Machine Tools & Manufacture 45, pp. 194-200.

[8] Titanium Ti-6Al-4v (Grade5), by C.R.P.  
Technology s.r.l., <http://www.crptechnology.com>,  
access on 05/04/2014.

[9] Ekmekci, B. (2009). White Layer Composition,  
Heat Treatment, and Crack Formation in Electric  
Discharge Machining Process. Metallurgical and  
Materials Transactions B, 40(1), pp. 70-81.

**AMM-149**

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28  
15-17 ตุลาคม 2557 จังหวัดขอนแก่น

