วารสาร มทร.อีสาน
ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ISSN 1906-215X

การศึกษาวิธีการเคลือบเหล็กละมุนด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์โดยกระบวนการโซล-เจล

A Study of Titanium Dioxide Coatings on Mild Steel Produced by the Sol-Gel Method

วรานนท์ วิเชียรกุล[1*] พิจารณ์ จรเสนาะ[1] และกรุณา ตู้จินดา[2]

Received: August, 2015; Accepted: March, 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความสามารถในการเคลือบผิวของเหล็กละมุนให้มีความสามารถในการป้องกันสิ่งสกปรกด้วยสมบัติไฮโดรโฟบิกของไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยศึกษาการสังเคราะห์สารเคลือบด้วยวิธีโซล-เจล อุณหภูมิในกระบวนการอบชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษามี 4 อุณหภูมิ คือ 250 350 450 และ 550 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะกับการสังเคราะห์สารเคลือบคือ TTIP เอทานอล ไฮโดรคลอริก 6 % และน้ำกลั่น โดยใช้อัตราส่วน 10 30 2 20 ตามลำดับ โดยอุณหภูมิในกระบวนการอบชิ้นงานที่ต่ำกว่า 250 องศาเซลเซียส จะไม่เกิดการยึดเกาะที่แข็งแรงกับชิ้นงาน ส่วนอุณหภูมิในกระบวนการอบชิ้นงานที่สูงกว่า 550 องศาเซลเซียส จะทำให้ผิวเคลือบเกิดการหลุดลอกออกจากผิวชิ้นงาน อุณหภูมิในการอบชิ้นงานที่ดีที่สุดคือ 450 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถทนต่อแรงดึงในการหลุดลอก 50 นิวตัน โดยเหลือผิวเคลือบที่ยังไม่หลุดลอก 42 %

คำสำคัญ : ไทเทเนียมไดออกไซด์; ไฮโดรโฟบิก; โซล-เจล

[1] *คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*
[2] *คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*
[*] *Corresponding Author E - mail Address: waranonkmutt@gmail.com*

Abstract

Hydrophobic titanium dioxide coatings are often used to create self-cleaning surfaces on a variety of materials. The objective of this research was to study the effect of processing conditions of self-cleaning titanium dioxide coatings on mild steel produced by the sol-gel method. Four thermal treatment temperatures, 250, 350, 450 and 550 °C, were studied. The experiments found that the appropriate synthesis rate of TTIP, Ethanol, Hydrochloric (6 % conc.) and distilled water at 10 30 2 20 respectively. The temperature around the sample in the annealing process below 250 °C will make the coated on sample surface weak, while over 550 °C will make the coated to delaminated. It was concluded that the best thermal treatment temperature was 450 °C, which offered an exfoliating force of 50N and left 42 % of the coating on the surface.

Keywords: Titanium Dioxide; Hydrophobic; Sol-Gel

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาการทำความสะอาดสิ่งของต่าง ๆ เช่น เหล็กโครงสร้าง ผนังรถยนต์ เป็นปัญหาอย่างมากในชีวิตประจำวันโดยเฉพาะส่วนประกอบที่นิยมใช้เหล็กเป็นส่วนสำคัญ และสิ่งที่ต้องคำนึงตามมา คือ การทำความสะอาด โดยเฉพาะในบริเวณที่มีฝุ่นละอองมาก หรือเขม่าควันที่มาจากรถยนต์ นอกจากนี้ยังมีคราบสกปรกที่มาจากน้ำมัน หากทิ้งไว้เป็นเวลานานสิ่งสกปรกดังกล่าวจะติดแน่นบนผิวของวัสดุทำให้กำจัดออกได้ยากขึ้น ทั้งอาจก่อให้เกิดสนิม หรือการกัดกร่อนอื่น ๆ ปัญหาเหล่านี้แม้การทำความสะอาดได้ด้วยน้ำยาทำความสะอาด กำจัดพวกคราบน้ำมัน แต่ข้อเสียของการใช้น้ำยาทำความสะอาด คือ ผู้ใช้อาจแพ้ฝุ่นหรือละอองของน้ำยาทำความสะอาดได้ [1] – [2] และยิ่งการทำความสะอาดอาคารขนาดใหญ่คงต้องเสียค่าใช้จ่ายไม่น้อยในการทำความสะอาดแต่ละครั้ง และยังอาจเกิดอันตรายเมื่ออยู่ในที่สูงภายนอกอาคาร ซึ่งปัจจุบันการปรับปรุงวัสดุที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ หรือทำความสะอาดได้ง่าย [1] – [2] ไม่สิ้นเปลืองแรงงาน เวลา และค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาด กระบวนการที่ว่านั้นก็คือ การเคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่มีสมบัติโฟโตคะตะไลติก (Photocatalytic) และสมบัติไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic Property) ซึ่งหนึ่งในสารที่มีสมบัตินั้นก็คือไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) โดยปกติไทเทเนียมไดออกไซด์ที่บริสุทธิ์นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมผลิตสีขาวและกระดาษ [3] ไทเทเนียมไดออกไซด์มีความเสถียร ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี และไม่เป็นสารพิษ หรือก่ออันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ผลจากสมบัติโฟโตคะตะไลติกของไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถทำลายและสลายสารอินทรีย์ (Organic Compounds) หรือสารอนินทรีย์ (Inorganic Compounds) บางชนิดได้ ได้แก่ สารที่ก่อให้เกิดมลภาวะ สารพิษที่อยู่ในน้ำ อากาศ หรือในดิน ตลอดจนสามารถฆ่าแบคทีเรีย ไวรัสที่เกาะอยู่บนผิวได้ โดยไม่ปล่อยสารพิษหรืออันตรายจากปฏิกิริยา ส่วนสมบัติพื้นผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์อีกอย่างเรียกว่า ไฮโดรโฟบิกหรือหมายถึงวัสดุไม่ชอบน้ำ

ทำให้น้ำไม่เกาะที่ผิว หากมีฝุ่นผงหรือสิ่งสกปรกติดอยู่บนวัสดุ เมื่อหยดน้ำตกลงมา หยดน้ำจะกลิ้งพาสิ่งเหล่านั้นไปกับหยดน้ำ เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างหยดน้ำกับสิ่งสกปรกมีค่าสูงกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสิ่งสกปรกกับวัสดุ จึงทำให้วัสดุสะอาดอยู่เสมอ ผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีสมบัติไฮโดรโฟบิกดังกล่าวสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้จากสมบัติดังกล่าวข้างต้นช่วยให้การทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทำได้ง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพ โดยสิ่งสกปรกจำพวกสารอินทรีย์ต่าง ๆ จะถูกชะล้างด้วยสมบัติไฮโดรโฟบิกเมื่อมีหยดน้ำมาสัมผัส [4] - [6]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เลือกสารเคลือบที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบเพื่อให้เกิดสมบัติด้านไฮโดรโฟบิก ซึ่งทำให้เกิดประสิทธิภาพการทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ง่าย สะดวก และเป็นไปได้สูงสุด โดยใช้วิธีเคลือบด้วยกระบวนการโซลเจลเป็นวิธีสังเคราะห์สารตั้งต้น เพื่อทำให้นำไปใช้เคลือบได้สะดวก รวดเร็ว และค่าใช้จ่ายน้อยเมื่อเทียบกับวิธีการเคลือบผิวด้วยวิธีอื่น [1] - [2]

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษากระบวนการเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ เนื่องจากวัสดุที่ถูกนำมาเคลือบในงานวิจัยชุดนี้เป็นเหล็กละมุน กระบวนการเตรียมสารเคลือบและวิธีเคลือบจึงแตกต่างจากงานวิจัยที่มีอยู่ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ [1] - [2], [7] ซึ่งต้องมีการศึกษากระบวนการเคลือบโดยการดำเนินงานในงานวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนการวิจัยหลัก ๆ คือ

1. **ศึกษาอิทธิพลของวิธีการเตรียมสารละลายสำหรับ Sol-Gel**

1.1 ศึกษาการสังเคราะห์และเตรียมสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีโซล-เจล โดยอ้างอิงส่วนผสมจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [1] แล้วนำมาปรับปรุงให้เข้ากับงานวิจัยนี้เล็กน้อย

1.2 ศึกษาการเคลือบด้วยวิธีการพ่นเคลือบ โดยใช้อุปกรณ์พ่นสารละลายที่ต่อเข้ากับปั๊มลมพ่นสารเคลือบผิวลงบนชิ้นงานที่เป็นเหล็กละมุนเกรด SS400 แล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อน

1.3 ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้อบชิ้นงานตั้งแต่ที่อุณหภูมิ 250 350 450 และ 550 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบเพื่อหาสมบัติทางกล สมบัติทางเคมี และสมบัติความไม่ชอบน้ำของฟิล์ม วิเคราะห์ตัวแปรและปรับปรุงผิวเคลือบ

2. **ศึกษาอิทธิพลของตัวแปร อุณหภูมิ เวลาที่ใช้เคลือบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น**

2.1 ศึกษาการสังเคราะห์และเตรียมสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีโซล-เจล โดยใช้วิธีการบ่ม

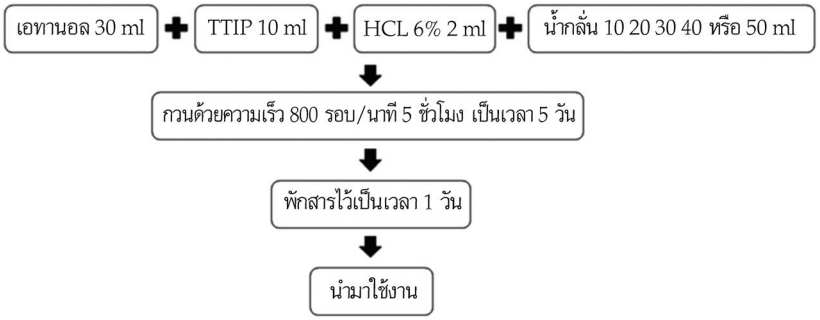
2.2 ศึกษาการเคลือบด้วยวิธีการพ่นเคลือบ

2.3 ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้อบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 250 350 450 และ 550 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ผลของการเคลือบ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้เคลือบ ตรวจสอบสมบัติทางกลและทางเคมีของผิวเคลือบ ศึกษาสมบัติไฮโดรโฟบิกและโฟโตคะตะไลติกของผิวเคลือบ สรุปผลการทดลองและเปรียบเทียบความสามารถในการเคลือบผิว

ผลการวิจัย

1. ผลการเตรียมสารเคลือบผิวไทเทเนียมไดออกไซด์

การศึกษาวิธีการเตรียมสารที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้จะศึกษาปริมาณของน้ำกลั่นที่แตกต่างกันตั้งแต่ 10 20 30 40 และ 50 ml มีอัตราส่วนผสมอย่างอื่นคงที่ที่เอทานอล 30 ml TTIP 10 ml และ HCl 2 ml และเติมน้ำเป็นลำดับสุดท้าย ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 1

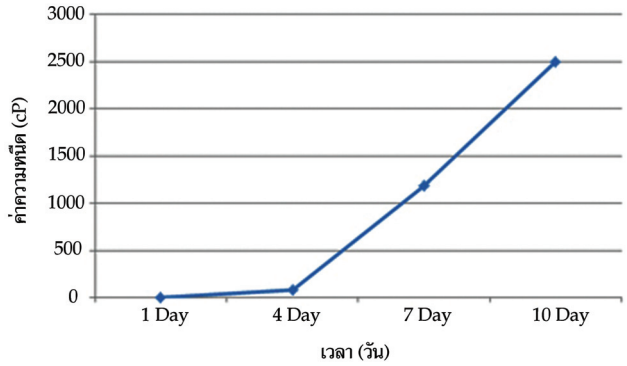


รูปที่ 1 ขั้นตอนการผสมสารเคลือบ

เมื่อผสมเสร็จแล้วจึงทำการกวนด้วยความเร็ว 800 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทิ้งไว้ 1 วัน แล้วกวนอีกเป็นเวลา 5 ชั่วโมง จนครบ 4 วัน จากนั้นพักสารไว้เป็นเวลา 1 วัน จึงนำสารที่ได้ในวันที่ 6 มาใช้ในการเคลือบชิ้นงาน รวมแล้วใช้เวลาในการเตรียมสารทั้งหมด 5 วัน อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บและเตรียมสารที่อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ 60 - 70 % จากการศึกษาสรุปได้ว่าที่ปริมาณของน้ำกลั่น 20 ml เป็นอัตราส่วนผสมของสารเคลือบที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากปริมาณของน้ำกลั่นที่ 10 ml สาร TTIP ยังละลายไม่หมด ส่วนที่ปริมาณที่ 30 40 และ 50 ml สารที่ผสมได้จะเกิดการแยกชั้นจนมีลักษณะเป็นสารแขวนลอย และปริมาณของน้ำกลั่นที่มากขึ้นจะทำให้เกิดสนิมมากขึ้นตามไปด้วย จึงควรใช้ในอัตราส่วนที่น้อยที่สุดเพื่อสร้างพันธะกับ TTIP เท่านั้น อัตราส่วนของเอทานอลที่มากขึ้นจะเพิ่มความสามารถในการทำละลาย TTIP แต่ต้องเพิ่มเวลาในการบ่ม ส่วนไฮโดรคลอริกใช้เพื่อสลายพันธะและเร่งปฏิกิริยาของสารละลายเท่านั้นจึงควรใช้ในปริมาณที่น้อยที่สุดเพราะปริมาณที่มากจะทำให้เกิดการกัดกร่อนกับชิ้นงาน

2. อิทธิพลของเวลาต่อค่าความหนืดของสารเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์

สารเคลือบที่ผสมเสร็จแล้วจะถูกนำมาวัดค่าความหนืดเพื่อศึกษาอิทธิพลของความหนืดซึ่งส่งผลต่อความยากง่ายในการเคลือบผิวและหาค่าความหนืดที่ส่งผลดีที่สุดต่อการเคลือบ โดยวัดความหนืดสารเคลือบผิวครั้งแรกเมื่อสารพร้อมใช้งานหรือสารเคลือบทำปฏิกิริยาจนเป็นสารเนื้อเดียวแล้ววัดความหนืดของสารเคลือบทุก ๆ 3 วัน จนกว่าสารเคลือบจะมีความหนืดที่ไม่สามารถวัดได้ โดยความหนืดของสารเคลือบที่สูงขึ้นจะส่งผลต่อความสามารถในการเคลือบผิว ยิ่งสารมีความหนืดมากขึ้นยิ่งทำให้การเคลือบมีความยุ่งยากมากขึ้น เพราะความหนืดที่สูงทำให้อัตราการเคลื่อนที่ของสารเคลือบให้ทั่วบริเวณผิวชิ้นงานทำได้ช้า และความหนืดยังส่งผลให้ความหนาของผิวเคลือบมีความหนามากขึ้นด้วย ซึ่งก่อให้เกิดการแตกของผิวเคลือบเมื่อได้รับความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟค่าความหนืดของไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อเทียบกับเวลาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ค่าความหนืดของสารเคลือบผิวของวันแรกที่พร้อมใช้งานโดยวัดที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส มีค่า 3.2 cP ความหนืดในวันที่ 4 มีค่าความหนืด 79 cP ในวันที่ 7 มีค่าความหนืด 1,190 cP และในวันที่ 10 พบว่าสารเคลือบมีลักษณะแห้งและมีความหนืดที่ไม่สามารถวัดได้ ลักษณะของความหนืดที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมาจากสารเคลือบผิวทำปฏิกิริยากับอากาศและส่วนประกอบที่เป็นเอทานอลเกิดการระเหย ทำให้สารเคลือบมีความหนืดสูงขึ้นเมื่ออยู่ในระบบเปิด ทั้งนี้สามารถเก็บสารเคลือบไว้ในระบบปิดเพื่อรักษาค่าความหนืดของสารเคลือบให้คงที่ได้ ซึ่งค่าความหนืดที่เหมาะสมในการเคลือบที่เลือกใช้คือ 3.2 cP เพราะเป็นค่าความหนืดของสารเคลือบที่สามารถทำได้

3. **การศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการอบชิ้นงาน**

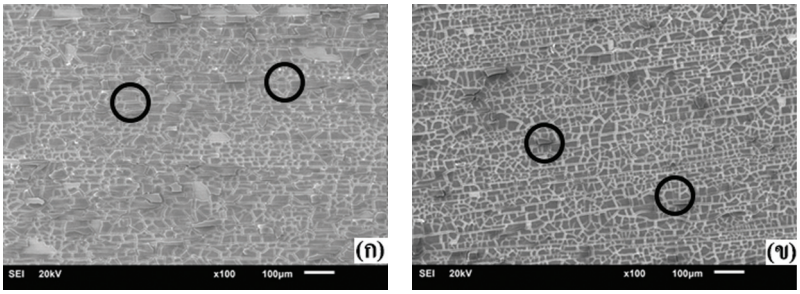
หลังจากพ่นเคลือบชิ้นงานแล้วจากนั้นจึงศึกษาผลของอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษามี 250 350 450 และ 550 องศาเซลเซียส ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะของการพ่นเคลือบกับอุณหภูมิในการอบชิ้นงาน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ภาพลักษณะผิวเคลือบ	ลักษณะผิวเคลือบ
250		ผิวเคลือบไม่เกาะกับชิ้นงาน
350		ผิวออกมาสม่ำเสมอ
450		ผิวออกมาสม่ำเสมอ มีสีเข้มกว่าที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส
550		ผิวเคลือบหลุดและแตกออกจากชิ้นงาน

ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ชิ้นงานไม่เกิดผิวเคลือบหรือไม่มีความสามารถในการยึดเกาะ ซึ่งเป็นผลมาจากที่อุณหภูมินี้สารเคลือบไม่เกิดการฟอร์มตัวเป็นผิวเคลือบที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ชิ้นงานเกิดผิวเคลือบที่มีการยึดเกาะกับชิ้นงานได้ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ชิ้นงานเกิดผิวเคลือบที่มีลักษณะสีดำและเข้มกว่าที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส และมีการยึดเกาะกับชิ้นงานได้ ส่วนที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ผิวเคลือบเกิดการหลุดลอกออกจากชิ้นงานซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่สูงมากเกินไป ทำให้ผิวเคลือบเกิดการหลุดลอกออกจากชิ้นงาน อุณหภูมิที่ใช้ในการอบชิ้นงานที่ทำให้ผิวเคลือบเกิดการยึดเกาะกับชิ้นงานได้ คือ 350 และ 450 องศาเซลเซียส ซึ่งจะนำทั้ง 2 อุณหภูมินี้มาศึกษาสมบัติต่าง ๆ เพิ่มเติม

เมื่อนำชิ้นงานที่อบที่อุณหภูมิ 350 และ 450 องศาเซลเซียส มาทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทำให้ได้ภาพที่แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งภาพชิ้นงานที่อบที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 3 (ก) และชิ้นงานที่อบที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 3 (ข) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงขนาดของรอยแตกที่แตกต่างกัน



(ก) อบที่ 350 องศาเซลเซียส (ข) อบที่ 450 องศาเซลเซียส

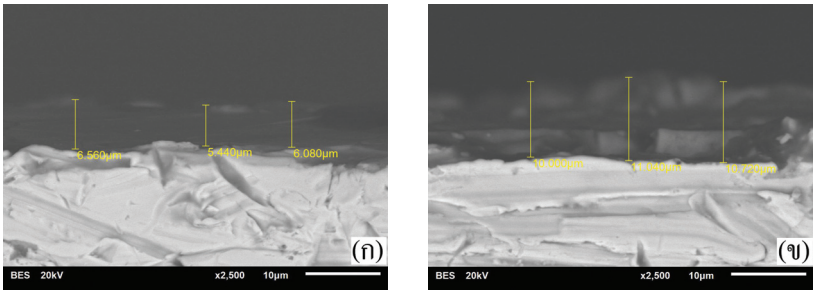
รูปที่ 3 ลักษณะผิวเคลือบ TiO_2 ที่ผ่านการปรับปรุงการเคลือบแล้ว

ลักษณะผิวเคลือบมีการแตกโดยเกิดจากความร้อนทำให้น้ำระเหยออกจากผิวเคลือบเกิดแรงตึงผิวจนหดตัว ทำให้ผิวเคลือบมีความแข็งแรงในการยึดเกาะกับชิ้นงานมากยิ่งขึ้น ซึ่งเมื่อตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค EDS ของชิ้นงานที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณธาตุ Ti 11 % และชิ้นงานที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณธาตุ Ti 14 % ดังในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผล EDS ของผิวที่ผ่านการพ่นเคลือบและผ่านการอบที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

ธาตุ	ปริมาณธาตุ (%) ที่อุณหภูมิ 350 ℃	ปริมาณธาตุ (%) ที่อุณหภูมิ 450 ℃
Ti	11	14
Fe	52	51
C	7	6
O	30	29

เมื่อทำการตรวจสอบภาพตัดขวางของชิ้นงานเพื่อดูความหนาของผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ จะได้ดังรูปที่ 4 ทำให้เห็นชั้นความหนาของชิ้นงานที่ผ่านความร้อนที่ 350 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4 (ก) และความหนาของชิ้นงานที่ผ่านความร้อนที่ 450 องศาเซลเซียสแสดงดังรูปที่ 4 (ข)



(ก) 350 องศาเซลเซียส (ข) 450 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4 ลักษณะความหนาของชั้นฟิล์ม

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ได้พบความหนาของชั้นฟิล์ม โดยชิ้นงานที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 4 (ก) มีความหนาเท่ากับ 6.03 ไมโครเมตร ส่วนชิ้นงานที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 4 (ข) คือ มีความหนาเท่ากับ 10.59 ไมโครเมตร ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสมีความหนามากกว่าซึ่งเกิดจากการเพิ่มอุณหภูมิที่สูงกว่าในเวลาที่เท่ากัน จะทำให้สารที่เคลือบอยู่บนชิ้นงานเกิดการระเหยได้เร็วกว่าแล้วเกิดการแตกของผิวเร็วขึ้น

4. ผลการตรวจสอบค่าความหยาบผิว

จากผลการวิเคราะห์ที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าที่อุณหภูมิในการอบชิ้นงานที่เหมาะสม คือ 350 และ 450 องศาเซลเซียส จึงนำอุณหภูมิทั้งสองมาศึกษาลักษณะความเรียบของผิวเคลือบ โดยเปรียบเทียบความเรียบผิวของชิ้นงานก่อนทำการเคลือบผิวและหลังทำการเคลือบผิว เพื่อศึกษาความสม่ำเสมอของผิวเคลือบที่เกิดขึ้น โดยทดสอบชิ้นงาน 5 ชิ้น ชิ้นละ 1 ตำแหน่ง และตัดค่าสูงสุดกับต่ำสุดออกจนเหลือ 3 ค่า ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยค่ามุมสัมผัสเป็นค่าที่แสดงองศาของหยดน้ำกลั่นที่ทำมุมบนผิวของชิ้นงาน

ตารางที่ 3 ค่าความหยาบผิวหลังการอบเคลือบผิว

ชิ้นงาน	ค่าความหยาบผิว Ra (μm)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
Non-coating	0.1579	0.1687	0.1734	0.1636	0.1697	0.1667
350 °C	0.3357	0.2885	0.3291	0.3022	0.3335	0.3178
450 °C	0.2860	0.2243	0.2745	0.2573	0.2658	0.2616

ผลจากการวัดค่าความเรียบผิวที่ได้พบว่าผิวเคลือบชิ้นงานก่อนนำไปเคลือบผิวมีค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) เท่ากับ 0.1667 μm เมื่อนำชิ้นงานไปทำการเคลือบผิวไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเป็น 0.3178 μm ชิ้นงานที่ทำการเคลือบผิว

ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเท่ากับ 0.2616 μm ซึ่งมีค่าความหยาบมากกว่าชิ้นงานตอนที่ยังไม่เคลือบผิวที่มีหยาบผิวเฉลี่ย 0.1667 μm แต่มีความเรียบมากกว่าชิ้นงานที่ทำการเคลือบที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

5. ผลของมุมสัมผัสของน้ำ

การวัดมุมสัมผัสเป็นการศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ของวัสดุ ซึ่งช่วยให้น้ำไม่เกาะกับชิ้นงาน โดยหากมุมสัมผัสของน้ำมีค่ามากจะแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวมีความไม่ชอบน้ำมากขึ้นไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 4

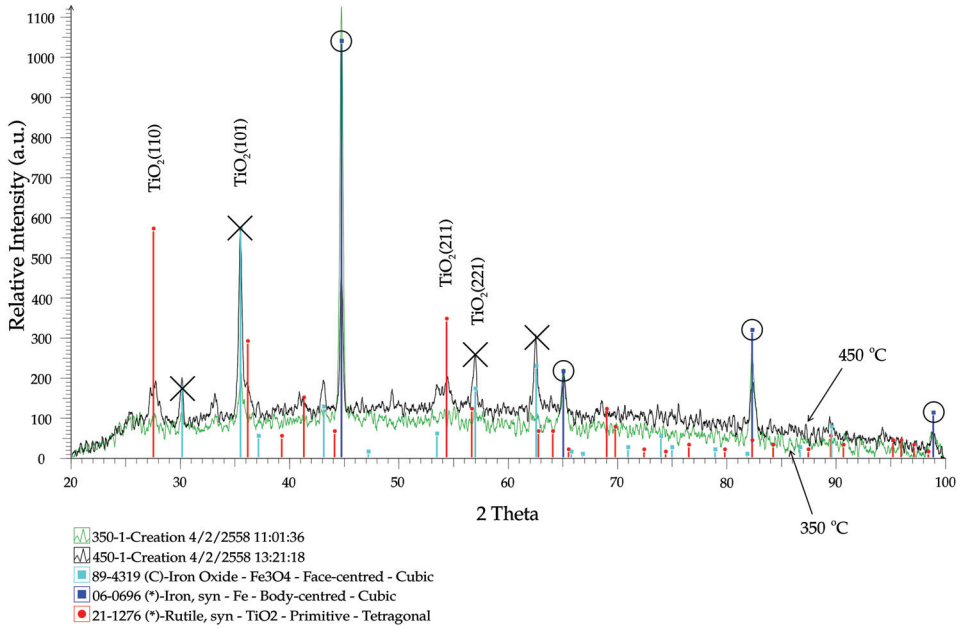
ตารางที่ 4 มุมสัมผัสของผิวเคลือบ

ชิ้นงาน	ค่ามุมสัมผัส (องศา)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
Non-coating	95	96	90	95	94	94
350 °C	118	120	122	121	120	120
450 °C	116	118	118	116	117	117

ชิ้นงานที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่ามุมสัมผัสเฉลี่ยเท่ากับ 94 องศา ซึ่งอยู่กึ่งกลางของความเป็นไฮโดรโฟบิก (ไม่ชอบน้ำ) และไฮโดรฟิลิก (ชอบน้ำ) มุมสัมผัสของชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 120 องศา และชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มีมุมสัมผัสเท่ากับ 117 องศา เมื่อนำข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [3] ซึ่งกล่าวว่าเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 420 องศาเซลเซียส จะเกิดโครงสร้างรูไทล์ (Rutile) เพิ่มมากขึ้นจะเป็นผลให้สมบัติไฮโดรโฟบิกลดลง จึงให้เหตุผลสอดคล้องกับข้อมูลที่ว่าที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส มีองศาของมุมสัมผัสสูงกว่าที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส

6. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ใช้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผิวเคลือบ และโครงสร้างผลึกของผิวเคลือบ เพื่ออธิบายสมบัติของความเป็นไฮโดรโฟบิกเพิ่มเติม ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD

จากผลการวิเคราะห์พบว่าชิ้นงานที่ผ่านความร้อนที่ 350 องศาเซลเซียส (กราฟเส้นล่าง) แสดงผลของการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในองศาต่าง ๆ ที่ต่ำกว่าชิ้นงานที่ผ่านความร้อนที่ 450 องศาเซลเซียส (กราฟเส้นบน) โดยมีพีคความสูงที่เท่ากันคือ ส่วนขององศาการเลี้ยวเบนในตำแหน่งที่ 45 65 82 และ 99 (2Theta) ซึ่งเป็นองศาการเลี้ยวเบนที่แสดงถึงองค์ประกอบทางเคมีของเหล็ก (วงกลม) ส่วนชิ้นงานที่ผ่านความร้อนที่ 450 องศาเซลเซียส มีพีคบางส่วนที่แตกต่างออกไป โดยมีลักษณะพีคที่สูงกว่าอย่างชัดเจนที่องศาการเลี้ยวเบนที่ 30 35 57 และ 63 (2Theta) ซึ่งเป็นองศาการเลี้ยวเบนที่แสดงถึงองค์ประกอบทางเคมีของเหล็กออกไซด์ (กากบาท) และอีกชุดพีคที่องศาการเลี้ยวเบนที่ 28 36 41 และ 54 (2Theta) ซึ่งเป็นองศาการเลี้ยวเบนที่แสดงถึงองค์ประกอบทางเคมีของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เป็นโครงสร้างรูไทล์ จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานที่ผ่านความร้อนที่ 450 องศาเซลเซียส เกิดโครงสร้างรูไทล์ที่สูงกว่าชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่ 350 องศาเซลเซียส ทำให้สอดคล้องกับผลของมุมสัมผัสที่บ่งบอกว่าที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส จะเกิดโครงสร้างรูไทล์ที่มากกว่าจึงส่งผลให้สมบัติของความเป็นไฮโดรโฟบิกลดลง

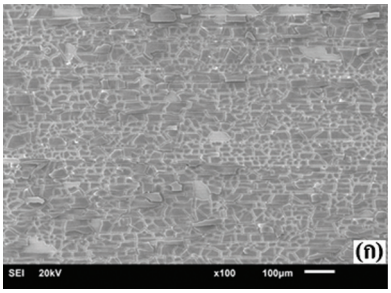
7. ผลจากการทดสอบการหลุดลอก

การทดสอบการหลุดลอกของผิวเคลือบใช้หาความแข็งแรงของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ยึดเกาะกับชิ้นงาน ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงโดยใช้เทปผ้าติดกับชิ้นงานทดสอบแล้วใช้แรงดึงขึ้นในแนวดิ่ง ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่เท่ากับ 20 มิลลิเมตรต่อนาที แล้ววิเคราะห์แรงดึงที่สามารถทำให้ผิวเคลือบเกิดการหลุดลอกออกจากผิวชิ้นงานได้ ค่าที่ได้แสดงในตารางที่ 5

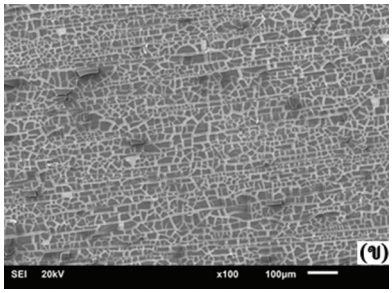
ตารางที่ 5 ผลของการหลุดลอก

ชิ้นงาน	ค่าแรงดึง (นิวตัน)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
350 °C	1	1	1	1	1	1
450 °C	50	47	48	49	46	48

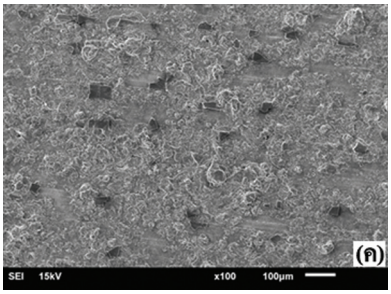
ผลของการทดสอบแรงดึงพบว่าชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เกิดการหลุดลอกอย่างง่ายดายเมื่อทำการทดสอบโดยแรงที่ทำให้เกิดการหลุดลอกมีค่า 1 นิวตัน ซึ่งชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มีค่าแรงดึงเท่ากับ 48 นิวตัน เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วพบว่าที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส จะทำให้ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์มีความแข็งแรงที่มากกว่า เนื่องจากผลของอุณหภูมิทำให้เกิดโครงสร้างรูไทล์ที่มากกว่าทำให้มีความแข็งแรงมากกว่า ชิ้นงานที่ถูกทดสอบแรงดึงแล้วจะถูกนำไปตรวจสอบปริมาณที่หลุดลอกโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเพื่อศึกษาปริมาณที่ผิวหลุดลอกดังแสดงในรูปที่ 6



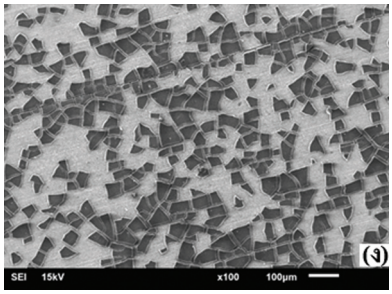
(ก) 350 องศาเซลเซียส ก่อนทดสอบแรงดึง



(ข) 450 องศาเซลเซียส ก่อนทดสอบแรงดึง



(ค) 350 องศาเซลเซียส หลังทดสอบแรงดึง



(ง) 450 องศาเซลเซียส หลังทดสอบแรงดึง

รูปที่ 6 การเปรียบเทียบการหลุดลอก

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงให้เห็นถึงการหลุดลอกจากแรงดึงโดยรูปที่ 6 (ก) และ 6 (ข) คือชิ้นงานก่อนทำการทดสอบแรงดึง โดยรูปที่ 6 (ก) คือชิ้นงานที่ผ่านความร้อนที่ 350 องศาเซลเซียส ซึ่งมีปริมาณของผิวเคลือบเกาะอยู่ 72 % และรูปที่ 6 (ข) คือชิ้นงานที่ผ่านความร้อนที่ 450 องศาเซลเซียส มีปริมาณของผิวเคลือบเกาะอยู่ 72 % เช่นกัน ส่วนชิ้นงานที่ผ่านความร้อนที่

350 องศาเซลเซียส แล้วทำการทดสอบแรงดึงพบว่าเหลือปริมาณผิวเคลือบเกาะอยู่ 19 % ดังรูปที่ 6 (ค) และส่วนชิ้นงานที่ผ่านความร้อนที่ 450 องศาเซลเซียส แล้วทำการทดสอบแรงดึงพบว่าเหลือปริมาณผิวเคลือบเกาะอยู่ 42 % ดังรูปที่ 6 (ง) แสดงให้เห็นว่าผิวเคลือบของชิ้นงานที่ผ่านความร้อนที่ 450 องศาเซลเซียส มีความแข็งแรงมากกว่าชิ้นงานที่ผ่านความร้อนที่ 350 องศาเซลเซียส

บทสรุป

การสังเคราะห์สารเคลือบผิวไทเทเนียมไดออกไซด์โดยอัตราส่วนของส่วนผสมที่ใช้มีผลอย่างมากในการเคลือบผิวเพื่อให้เกิดเป็นผิวเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งอัตราส่วนผสมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ไทเทเนียมไอโซโพรพรอกไซด์ (TTIP) ที่ 10 ml ปริมาณเอทานอล 30 ml น้ำกลั่น 20 ml และกรดไฮโดรคลอริก 6 % ที่ปริมาณ 2 ml ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมกับงานชิ้นนี้ที่สุด และความหนืดของสารเคลือบควรมีค่าเท่ากับ 3.2 cP

ความหยาบผิวของผิวเคลือบจะขึ้นอยู่กับการเตรียมชิ้นงาน เมื่อผิวชิ้นงานมีความขรุขระผิวน้อย ความสามารถในการยึดเกาะของสารเคลือบผิวจะน้อยลง ซึ่งจำเป็นต้องเตรียมชิ้นงานให้มีความขรุขระมาก เพื่อให้ผิวชิ้นงานมีความสามารถในการยึดเกาะกับสารเคลือบผิวสูง และการพักชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบแล้วจะช่วยให้แอลกอฮอล์ที่ยังหลงเหลืออยู่ในสารเคลือบค่อย ๆ ระเหยออกทำให้ผิวชิ้นงานกับสารเคลือบทำปฏิกิริยาและเกิดการยึดเกาะได้ดีมากขึ้น

อุณหภูมิในการอบชิ้นงานที่เคลือบแล้วที่ทำให้ผิวเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์มีประสิทธิภาพมี 2 อุณหภูมิ คือที่ 350 และ 450 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส มีค่ามุมสัมผัสที่ 120 องศา ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มีค่ามุมสัมผัสที่ 117 องศา ซึ่งแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่ค่าความแข็งแรงของชิ้นงานที่อบที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มีค่าทนทานต่อการหลุดลอกอยู่ที่ 50 นิวตัน และเหลือผิวที่ไม่หลุดลอก 42 % ส่วนชิ้นงานที่อบที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส มีค่าทนทานต่อแรงดึงเพียงแค่ 1 นิวตัน เหลือผิวเคลือบที่ไม่หลุดลอก 19 %

ด้านการตรวจสอบความหนาของชิ้นงานที่อบที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส มีความหนาที่ 6.03 ไมโครเมตร มีธาตุ Ti 11 % ซึ่งน้อยกว่าและพบธาตุ Ti น้อยกว่าชิ้นงานที่อบที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความหนา 10.59 ไมโครเมตร และมีปริมาณ Ti 14 % ส่วนเรื่องการวิเคราะห์โครงสร้างพบว่าชิ้นงานที่อบที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มีโครงสร้างรูไทล์ของไทเทเนียมไดออกไซด์สูงกว่า จึงสรุปได้ว่าชิ้นงานที่อบที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพด้านต่าง ๆ สูงกว่าชิ้นงานที่อบที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

จากผลโดยรวมของการทดสอบที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการเคลือบผิวด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ ความแข็งแรงของฟิล์มช่วยป้องกันผิวหน้าของเหล็กละมุนไม่ให้สัมผัสกับอากาศและการขีดข่วนโดยตรง ซึ่งช่วยเพิ่มอายุการได้นานขึ้น

References

[1] Natthapong, M. (2011). **Development of Nano TiO_2 Coating Materials on Stainless Steel**. M. Eng. Materials Engineering Prince of Songkla University. pp. 4-17 (in Thai)

[2] Jiraporn, D. (2008). **The Development of Nano Coating Material of $TiO_2/SnO_2/X$**. M.Eng. Materials Engineering Prince of Songkla University. pp. 4-14 (in Thai)

[3] Lee, M., Lee, G.D. and Hong S.S. (2003). A Systhesis of Titanium Dioxides Prepare by Reverse Microemulsion Method Using Nonionic Surfactant with Different Hydrophilic Group and their Photocatalytic Activity. **Industy Engineering Chemistry**. Vol. 9. No. 4. pp. 412-418

[4] Wang, Y.M., Liu, S.W., Lu, M.k., Wang, S.F., Gu, F., Gai, X.Z., Cui, P. and Pan, J. (2004). Preparation and Photocatalytic Properties of Zr4±doped TiO2 Nanocrystals. **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**. Vol. 215. Number 1. pp. 137-142

[5] Wang, W.H. (2004). **Fluorescent Lamp Device Capable of Cleaning Air**. US. Patent, No. 0226813.

[6] Misook Kang, M., Choi, D.H. and Choung, S.J. (2005). Methyl Orange Removal in Aliquid Photo System with Nanometer Sized V/TiO2 particle. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. Vol. 11. No. 2. pp. 240-247

[7] Li, Y., Li, X., Li, J. and Yin, J. (2005). TiO2-Coated Active Carbon Composites with Increased Photocatalytic Activity Prepared by a Properly Controlled Sol-Gel Method. **Materials Letters**. Vol. 59. No. 21. pp. 2659-2663