

การเคลือบผิวถ้วยรองรับน้ำอย่าง ด้วยพีทีเอฟอีเพื่อลดการเกาะติด

อนุชา วัฒนาภา^{*1,2}, สุทธิพงษ์ ไสภา¹, วิศิษฐ์ศรี วัยะรัตน์¹,
ปรีดี ปิ่นประดับ², และ นราธิป ระวังสุข²

¹ ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ ประเทศไทย 10140

² สาขาเทคโนโลยีโลหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
กรุงเทพฯ ประเทศไทย 10120

E-mail: Anucha.wat@kmtt.ac.th^{*1,2}, Suttipong.sop@kmutt.ac.th¹ and
Wisitsree.wiy@kmutt.ac.th¹

บทคัดย่อ

การวิจัยมีวัตถุประสงค์ศึกษาการเคลือบผิวถ้วยรองรับน้ำอย่างด้วยโพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน (พีทีเอฟอี; PTFE; Teflon) เพื่อลดการเกาะติดของน้ำอย่างจากการศึกษาวิจัยพบว่าถ้วยรองรับน้ำอย่างชนิดถ้วยเซรามิคที่ผ่านการกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก นั้นมีความเหมาะสมต่อการพ่นเคลือบเทปลอนมากที่สุด โดยได้พ่นเคลือบเทปลอนด้วยวิธีอบชุบถ้วย ซึ่งใช้อุณหภูมิอบชุบถ้วยที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นระยะเวลาอบ 5 นาที และนำมาทำการพ่นเคลือบด้วยมือ แล้วทำการอบเคลือบเทปลอนที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นระยะเวลา 6 นาที ทำให้ถ้วยเซรามิคนั้นถูกเคลือบด้วยเทปลอนส่งผลให้ผิวถ้วยเซรามิคนั้นมีความเรียบเฉลี่ย 0.766 μm และมีความหนาของผิวเคลือบเฉลี่ย 46.8 μm และทำให้ผิวถ้วยมีคุณสมบัติที่เรียบลื่น เมื่อผ่านการใช้งานในสภาพการใช้งานจริงในระยะเวลา 30 วัน พบว่ามีอัตราการสึกหรอของของผิวเคลือบเทปลอน 72% เป็นผลเนื่องจากลักษณะใบปาดน้ำอย่างพาราทำจากวัสดุคืออย่างสังเคราะห์ซึ่งมีความแข็งในตัวของตัวเอง และลักษณะการใช้นั้นจะต้องมีการออกแรงเพื่อขูดที่ถ้วยรองรับน้ำอย่าง เพื่อให้ น้ำอย่างที่ถ้วยหลุดออกให้หมด ในส่วนของต้นทุนในการพ่นเคลือบเทปลอนลงบนผิวถ้วยเซรามิคซึ่งคิดต้นทุนเฉพาะจากราคาเทปลอนจะเสียค่าใช้จ่ายในการพ่นเคลือบประมาณ 1 บาทต่อถ้วย

คำสืบค้น

ถ้วยรองรับน้ำอย่าง เทปลอน เคลือบ ลดการเกาะติดของยาง

COATING LATEX CUP WITH PTFE TO DECREASE LATEX ATTACHMENT

Anucha Watanapa^{*1 2}, Suthiphong Sopha¹,
Wisitsree Wiyaratn¹, Predee Pinpradup² and
Naratip Rawungsook²

¹ Department of Production Technology Education School of Industrial Education and Technology King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand 10140

² Metallurgical Technology Division Faculty of Technical Education Rajamangala University of Technology Bangkok, Thailand 10120

E-mail: Anucha.wat@kmutt.ac.th^{*1 2}, Suttipong.sop@kmutt.ac.th¹ and Wisitsree.wiy@kmutt.ac.th¹

ABSTRACT

The objective in this research is to study the surface coating of latex cup for reducing the latex deposition. The experiment is to study the type and the surface of latex cups which is suitable for PTFE coating. The ceramic cup which was selected for etching by hydrofluoric acid, showed the good characters to spray PTFE coating. The optimum condition is to warm the cup at 200 °C for 5 minutes. Then manually sprays PTFE coating, bake the cup at 200 °C for 6 minutes. The ceramic cup then showed the smooth average surface at 0.766 μm , and thickness average at 46.8 μm . PTFE coating surface of ceramic cups provided the smooth property. PTFE coating surface of ceramic cups has been used in rubber gardens for 30 days which was worn 72 % of PTFE surface coating. The reason for this result is to use the hardness material to sweep and scrape off the latex at ceramic cup. The investment cost of PTFE coating at the surface of ceramic cup is based on the price of PTFE.

KEYWORDS

latex cup, PTFE, coating, reducing latex deposition

I. บทนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศและชีวิตความเป็นอยู่ของประชากร [1] -[3] ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติรายใหญ่ของโลก และมีพื้นที่สำหรับปลูกยางทั่วประเทศถึง 12.3 ล้านไร่ นอกจากนั้นประเทศไทยส่งออกยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยทำรายได้เข้าประเทศ นับแสนล้านบาท เช่น ปี 2544 ยาง ผลิตภัณฑ์ยาง และผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพารา ทำรายได้จากการส่งออกให้กับประเทศ คิดเป็น มูลค่าทั้งสิ้น 135,280 ล้านบาท แยกเป็นมูลค่าการส่งออกยางในรูปวัตถุดิบ 58,703 ล้านบาท ผลิตภัณฑ์ยาง 48,496 ล้านบาท และผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา 28,081 ล้านบาท นอกจากนั้นปริมาณการส่งออกยางพาราในช่วงปี 2546 - 2548 มีแนวโน้มสูงขึ้น [4] เนื่องจากกลุ่มประเทศผู้ผลิตน้ำมันยังคงมี นโยบายลดกำลัง การผลิตเพื่อยกระดับราคาน้ำมันให้สูงขึ้น ซึ่งทำให้ราคายางสังเคราะห์อยู่ในระดับสูงเช่นกัน ดังนั้นความต้องการใช้ยางธรรมชาติเพื่อทดแทนยางสังเคราะห์ก็จะเพิ่มขึ้น โดยความต้องการใช้ยางธรรมชาติของโลก คาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 15.027 ล้านตัน ในปี 2578 จากปัจจุบันที่มีความต้องการใช้ประมาณ 8 ล้านตัน และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 15.027 ล้านตัน ในปี 2578 จากปัจจุบันที่มีความต้องการใช้ประมาณ 8 ล้านตัน และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 15.027 ล้านตัน ในปี 2578 อัตราการขยายตัวของปริมาณการผลิตและการใช้ยางธรรมชาติเฉลี่ยร้อยละ 4.09 และ 3.73 ต่อปี ในส่วนยางสังเคราะห์การผลิตและการใช้ขยายตัวในอัตราเฉลี่ยร้อยละ 2.62 และ 2.74 ต่อปี โดยสัดส่วนการส่งออกเป็น ร้อยละ 42.3 ของปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติของโลก ซึ่งสามารถสร้างรายได้ให้ประเทศปีละ 250,000 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 5.51 ของมูลค่าการส่งออกทั้งหมด หรือร้อยละ 3.28 ของ GDP [3]-[5] จึงกล่าวได้ว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญกับอุตสาหกรรมในประเทศไทย อย่างไรก็ตามปัญหาที่สำคัญของอุตสาหกรรมยางไทยในปัจจุบันได้แก่ การผลิตยางพาราทำโดยเกษตรกรรายย่อย ทำให้มีปัญหาด้านผลิตภาพการผลิต (ผลผลิตน้ำยางต่ำ) โดยในขั้นตอนการผลิตน้ำยาง เกษตรกรส่วนมากจะกรีดยางและใช้ถ้วยกะลารองรับน้ำยาง แต่ปัญหาที่พบคือ มีน้ำยางเกาะติดที่ผิวถ้วยกะลารองรับน้ำยาง ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำยาง ส่งผลให้เกษตรกรรายย่อยขาดรายได้ รวมทั้งกระทบกับปริมาณการส่งออกยาง จากการศึกษาข้างต้น พบว่าอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการรองรับน้ำยางดิบนั้นทำจากวัสดุหลักๆ 3 ชนิด คือ ถ้วยกะลา ถ้วยพลาสติก และถ้วยเซรามิกส์ ซึ่งถ้วยรองรับน้ำยางที่เป็นกะลานั้นจะทำให้มีน้ำยางเกาะติดมากที่สุด ส่วนถ้วยรองรับน้ำยางที่มีผิวเรียบที่เป็นพลาสติก และ เซรามิกส์ จะมีน้ำยางเกาะติดน้อยกว่าถ้วยรองรับน้ำยางแบบกะลา เนื่องจากวัสดุมีโครงสร้างผิวที่เรียบ ลื่น ทำให้มีพื้นที่ผิวในการยึดเกาะได้น้อย อย่างไรก็ตามถ้าใช้ถ้วยพลาสติกรองรับน้ำยางเป็นเวลานาน จะทำให้พลาสติกกรอบและแตกหักได้ง่าย ขณะที่ถ้วยเซรามิกส์จะมีราคาแพง ดังนั้นผลการศึกษาดังกล่าวจึงสรุปได้ว่าแนวโน้มต่อไปของการทดลองที่จะทำการแก้ไขปัญหการเกาะติดของน้ำยาง คือต้องศึกษาหาวัสดุที่มีโครงสร้างที่มีผิวเรียบ ความแข็งแรง มีความคงทน และมีความสมบัติเป็นสารที่ไม่มีขั้ว (non polar) หรือ สารที่มีประจุเป็นลบ เพราะจะได้ไม่ยึดเกาะกับน้ำยาง เนื่องจากน้ำยางมีประจุเป็นลบ ในงานวิจัยนี้มีความสนใจ โพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน (PTFE) เนื่องจากมีคุณสมบัติตามที่กล่าวมาข้างต้น โดยจะนำ PTFE ชนิด Ceraflour 996 (Commercial grade) มาพ่นเคลือบผิวด้านในของถ้วยกะลาเพื่อช่วยให้มีสภาพผิววัสดุเคลือบที่ดี เนื่องจากการศึกษาเบื้องต้น ระหว่าง PTFE Commercial grade ชนิด Ceraflour 996 และ Ceraflour 980 พบว่าถ้วยรองรับน้ำยางสดที่เคลือบด้วยถ้วย PTFE ชนิด Ceraflour 966 จะให้การเกาะติดของน้ำยางน้อยกว่าการเคลือบด้วย PTFE ชนิด Ceraflour 980 (ผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์ PTFE จากโรงงาน) ดังนั้นคาดว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีแนวโน้มในการนำมาใช้เป็นถ้วยรองรับน้ำยางที่มี คุณภาพดี ในด้านลดการเกาะติดของน้ำยาง ซึ่งจะทำให้เป็นองค์ความรู้ที่สามารถถ่ายทอดไปสู่เกษตรกรรายย่อยได้ และสามารถนำไปใช้งานได้จริง รวมทั้งสามารถนำไปใช้เป็นการศึกษากับภาชนะรองรับน้ำยางแบบอื่นๆได้ นอกจากนี้งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดการสูญเสียน้ำยาง ในขั้นตอนการเก็บน้ำยางมี

ปริมาณจำกัดทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ดังนั้นผลการศึกษาดังกล่าว จะนำไปเป็นข้อมูลเบื้องต้นอันจะนำไปสู่การพัฒนาการใช้ภาชนะรองน้ำยาง ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางในประเทศต่อไป

II. วิธีการทดลอง

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเคลือบผิวด้วยรองรับน้ำยางด้วย PTFE เพื่อลดการเกาะติดของน้ำยาง ซึ่งงานวิจัยนี้มีสมมุติฐานว่าน้ำยางธรรมชาติมีประจุเป็นลบ ดังนั้นต้องศึกษาหาวัสดุที่รองรับน้ำยางที่มีโครงสร้างผิวเรียบ ความลื่นสูง มีความคงทน และมีคุณสมบัติเป็นสารที่ไม่มีขั้ว (non polar) หรือ สารที่มีประจุเป็นลบ เพราะจะได้ไม่ยึดเกาะกับน้ำยาง และนำไปสู่การลดปัญหาผลผลิตน้ำยางต่ำ

III. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองจากแนวทางในการดำเนินงานวิจัยเพื่อการศึกษาตัวแปรต่างๆในการทดลองได้แก่ อุณหภูมิและเวลา ที่ใช้ในการพ่นลักษณะพื้นผิวของถ้วยก่อนเคลือบ ปริมาณเทปลอนที่ใช้ ความหนาของชั้นเคลือบ และลักษณะพื้นผิวของชั้นเคลือบ โดยได้ทำการออกแบบการวิจัยและขั้นตอนการทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆดังนี้

IV. วิธีการและขั้นตอนการทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรอุณหภูมิ และเวลาอบถ้วยเซรามิคเพื่อทำการพ่นเคลือบเทปลอนด้วยวิธีการพ่นเคลือบด้วยวิธีการอบอุ่นถ้วยเซรามิค

การทดลองเพื่อการศึกษาตัวแปรอุณหภูมิ และเวลาอบถ้วยเซรามิค เป็นการศึกษาหา อุณหภูมิ และเวลาอบถ้วยเซรามิค ที่เหมาะสมต่อการพ่นเคลือบ ตามขอบเขตและแผนการของการทดลองที่ได้กำหนดไว้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ขัดผิวถ้วยเซรามิคด้านในด้วยกระดาษทราย ทำความสะอาดและเป่าลมให้แห้ง
2. ตั้งอุณหภูมิเตาอบที่อุณหภูมิต่างๆ ตามที่กำหนดในขอบเขตการทดลอง (100°C , 150°C , 200°C , 250°C)
3. เมื่ออุณหภูมิเตาอบถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ จากนั้นทำการอุ่นถ้วยเซรามิคโดยนำถ้วยเซรามิคเข้าวางในเตาอบที่อุณหภูมิต่างๆ แล้วทำการอุ่นถ้วยเป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วนำออกจากเตา
4. ทำการพ่นเคลือบเทปลอนลงบนถ้วยเซรามิคให้ทั่วผิวถ้วย ตามรูปแบบตารางการทดลอง (ตารางที่ 1)
5. ปล่อยให้ถ้วยเซรามิคเย็นตัวในอุณหภูมิห้อง
6. ทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลการทดลองจากการดำเนินการทดลองตามแผนทดลองโดยพิจารณาจากลักษณะการเกาะติดของเทปลอนจากการพ่นเคลือบ และความหนาของเทปลอน จากการพ่นเคลือบ ด้วยสายตา

ตารางที่ 1

แผนการทดลองเพื่อศึกษา

ตัวแปร อุณหภูมิ และ

เวลาอบด้วยเซรามิก

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (5 นาที)
100	ผลการทดลอง ลักษณะโดยทั่วไปจากการ พ่นเคลือบ และความหนา ของการพ่นเคลือบเทปลอน
150	
200	
250	

4.1 วิธีการและขั้นตอนการทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรเวลาในการอบเคลือบหลังการพ่นเทปลอน

การทดลองเพื่อทำการศึกษาคำแปรของเวลาที่ใช้ในการอบเคลือบเทปลอนหลังผ่านการพ่นเคลือบเรียบร้อยแล้ว เป็นการศึกษาหาเวลา ที่เหมาะสมต่อการอบเคลือบด้วยเซรามิกตามขอบเขตและแผนการของการทดลองที่ได้กำหนดไว้โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ตั้งอุณหภูมิเตาอบที่อุณหภูมิ 200°C ตามที่กำหนดในขอบเขตการทดลอง
2. นำถ้วยที่ผ่านการพ่นเคลือบจากวิธีการทดลอง จากรูปแบบของตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการพ่นเคลือบ มาทำการอบเคลือบ ที่อุณหภูมิ 200°C โดยใช้ระยะเวลาอบที่แตกต่างกัน เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการอบเคลือบที่เหมาะสมที่สุด ตามรูปแบบตารางการทดลอง (ตารางที่ 2)
3. เมื่ออบเคลือบถ้วยตามระยะเวลาต่างๆแล้ว นำออกจากเตาเพื่อปล่อยให้ถ้วยเซรามิกเย็นตัวในอุณหภูมิห้อง
4. ทำการศึกษาคำแปรและวิเคราะห์ผลการทดลองจากการดำเนินการทดลองตามแผนทดลองโดยพิจารณาจากลักษณะผิวโดยทั่วไปจากการอบเคลือบด้วยสลายตา

ตารางที่ 2

รูปแบบแผนการทดลอง

เพื่อศึกษา ตัวแปร เวลา

อบเคลือบที่เหมาะสม

ที่สุด

อุณหภูมิอบเคลือบ (°C)	ระยะเวลาอบ (นาที)	ลักษณะผิวโดยทั่วไป
200	x	
200	x	
200	x	

4.2 วิธีการและขั้นตอนการทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรลักษณะพื้นผิวของถ้วยก่อนพ่นเคลือบ

การทดลองเพื่อทำการศึกษาคำแปรลักษณะพื้นผิวของถ้วยก่อนพ่นเคลือบ เป็นการศึกษาหาลักษณะของผิวถ้วยเซรามิกที่เหมาะสมต่อการพ่นเคลือบ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมผิวถ้วยเซรามิก โดยการใช้กระดาษทรายเบอร์ 180 ขัดผิวด้านในของถ้วย
2. ล้างทำความสะอาดถ้วยเซรามิกด้วยน้ำสะอาด และนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80°C เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วปล่อยให้เย็นตัว ณ อุณหภูมิห้อง

3. แบ่งถ้วยเซรามิกเป็น 2 ชุด โดยชุดที่ 1 นำไปกัด้วยกรด ไฮโดรฟลูออริก โดยใช้กรด ไฮโดรฟลูออริก 200 มิลลิลิตร ผสมกับเมทานอล 400 มิลลิลิตร โดยการผสมกวดและเทลงในถ้วยเซรามิก ปล่ยให้กรด ไฮโดรฟลูออริก ทำปฏิกิริยากับน้ำยาเคลือบผิว เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นทำความสะอาดถ้วยเซรามิกด้วยน้ำสะอาด และ เมทานอล ส่วนชุดที่ 2 ไม่ต้องทำการกัด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก
4. นำถ้วยเซรามิกที่ผ่านการกัด้วยกรดและทำความสะอาดแล้วไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80°C เป็นระยะเวลา 5 นาที อีกครั้งแล้วปล่ยให้เย็นตัว ณ อุณหภูมิห้อง
5. ทำการพ่นเคลือบถ้วยเซรามิกด้วยวิธีการอบแห้งถ้วยเซรามิก จากรูปแบบของตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลอง
6. ทำการศึกษาและวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลองจากการดำเนินการทดลองตามแผนทดลองโดยพิจารณาจากลักษณะการเกาะติดของเทปลอนจากการพ่นเคลือบ ความหนาของเทปลอนจากการพ่นเคลือบด้วยสายตา น้ำหนักของถ้วยก่อนและหลังการกัด้วยกรด และความเรียบของผิวถ้วยที่ได้จากการอบเคลือบ

4.3 วิธีการและขั้นตอนการทดลองศึกษาปริมาณของเทปลอนที่ใช้ในการพ่นเคลือบ

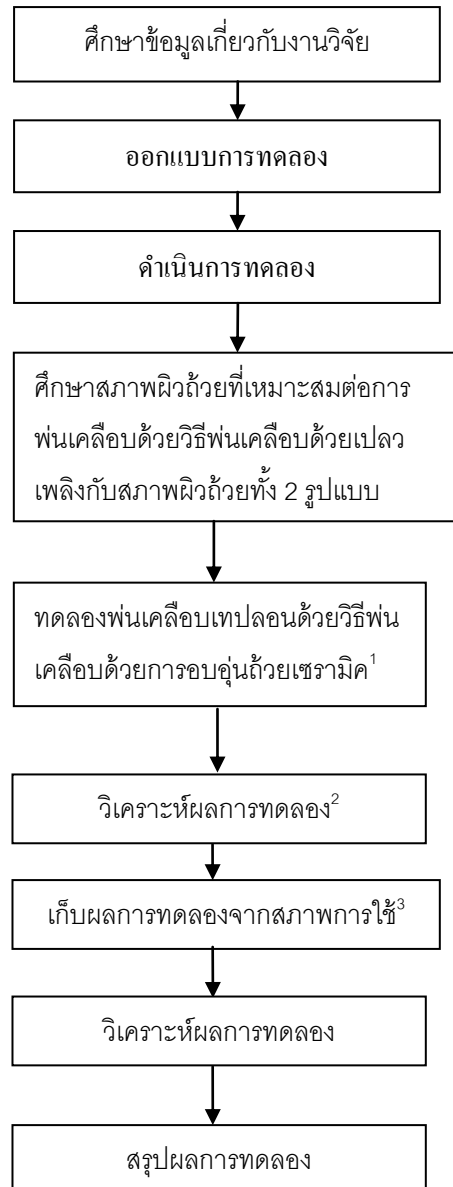
การทดลองเพื่อการศึกษาปริมาณของเทปลอนที่ใช้ในการพ่นเคลือบถ้วยเซรามิก เพื่อเป็นการศึกษาหาปริมาณของเทปลอนที่ใช้ในการพ่นเคลือบต่อถ้วย ซึ่งสามารถนำไปสู่การคำนวณหาต้นทุนในการทำ การพ่นเคลือบถ้วยรองรับน้ำยาเซรามิกต่อถ้วยได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักถ้วยเซรามิกก่อนทำการพ่นเคลือบ
2. ทำการชั่งน้ำหนักถ้วยเซรามิกอีกครั้งหลังจากทำการพ่นเคลือบถ้วยเซรามิก ด้วยวิธีการที่ได้มาจากรูปแบบของตัวแปรที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในการพ่นเคลือบ
3. คำนวณหาปริมาณของเทปลอนที่ใช้ในการพ่นเคลือบโดยการหาผลต่างของน้ำหนักถ้วยเซรามิกระหว่างก่อนทำการพ่นเคลือบ และหลังทำการพ่นเคลือบ ซึ่งจะเป็นน้ำหนักของเทปลอนที่ใช้พ่นเคลือบต่อถ้วย

4.4 วิธีการและขั้นตอนการทดลองศึกษาเปรียบเทียบความเรียบผิวถ้วยเซรามิกหลังการอบเคลือบ

การทดลองศึกษาเปรียบเทียบความเรียบผิวถ้วย เป็นการศึกษาเพื่อหาค่าความเรียบของผิวถ้วยเซรามิก หลังจากทำการอบเคลือบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว และทำการเปรียบเทียบความเรียบผิวถ้วยรองรับน้ำยาที่ใช้ อยู่ปัจจุบัน กับถ้วยรองรับน้ำยาที่ไม่ได้ผ่านการกัด้วยกรด ไฮโดรฟลูออริก ก่อนการพ่นเคลือบ และถ้วยรองรับน้ำยาที่ผ่านการกัด้วยกรด ไฮโดรฟลูออริก ก่อนการพ่นเคลือบเทปลอน โดยถ้วยไปวัดค่าความเรียบอย่างละ 3 ตำแหน่ง และทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลการทดลองจากการดำเนินการทดลอง โดย การวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance-ANOVA) ของค่าความเรียบผิว

แผนภูมิลำดับขั้นตอนการทดลอง



หมายเหตุ

¹ - ศึกษาหา อุณหภูมิ และเวลาอบอุณหภูมิด้วยเซรามิค

- ศึกษาหา เวลาในการอบเคลือบเทปลอน

² - ความเรียบผิวเคลือบเทปลอน

- ความหนาผิวเคลือบเทปลอน

- สภาพผิวเคลือบจากเครื่อง SEM

- การสึกหรอของเทปลอนจากการปาดยาง

- ปริมาณการใช้เทปลอนพ่นเคลือบต่อถ้วย

³ - ความเรียบผิวเคลือบเทปลอนหลังการใช้งานจริง

- ความหนาผิวเคลือบเทปลอนหลังการใช้งานจริง

- สภาพผิวเคลือบจากเครื่อง SEM หลังการใช้งานจริง

- ความสามารถในการลดการเกาะติดน้ำยาง

- ต้นทุน การพ่นเคลือบด้วยน้ำยาง

V. ผลการทดลอง

5.1 ผลการศึกษาความสามารถในการพ่นเคลือบติด

จากการศึกษาความสามารถในการพ่นเคลือบติด ด้วยวิธีการพ่นเคลือบด้วยเปลวเพลิงผลการทดลองพบว่าถ้วยรองรับน้ำย้างทั้ง 3 ชนิด ไม่สามารถทำการพ่นเคลือบเทปลอนให้เกาะติดได้อย่างสมบูรณ์ อันเนื่องมาจากถ้วยพลาสติกและกะลา ไม่สามารถทนความร้อนที่ใช้ในการพ่นเคลือบได้ จึงทำให้เกิดการหลอมละลายสำหรับถ้วยพลาสติกและเกิดเป็นรอยไหม้สำหรับกะลาส่วนถ้วยเซรามิคลักษณะผิวถ้วยไม่มีการเกาะติดของผงเทปลอนเช่นกัน แต่ความมันวาวของผิวถ้วยลดลง จากแนวโน้มข้างต้นความเป็นไปได้สำหรับการพ่นเคลือบเทปลอน ถ้วยเซรามิคจึงมีความเหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปทำการศึกษาสภาพผิวถ้วย ที่เหมาะสมต่อการพ่นเคลือบ เพื่อให้เกิดการเกาะติดของเทปลอนได้ดียิ่งขึ้น

5.2 ผลการศึกษาสภาพผิวถ้วยที่เหมาะสมต่อการพ่นเคลือบ

จากการเลือกถ้วยเซรามิคมาเพื่อทำการพ่นเคลือบ และได้ทำการศึกษาสภาพผิวถ้วยที่เหมาะสมต่อการพ่นเคลือบ เพื่อให้เกิดการพ่นเคลือบติดที่สมบูรณ์ โดยการทดลองพ่นเคลือบด้วยวิธีการพ่นเคลือบด้วยเปลวเพลิงกับสภาพผิวถ้วย 2 รูปแบบพบว่าสภาพผิวถ้วยเซรามิคที่ผ่านการกัดด้วยกรด ไฮโดรฟลูออริก มีความสามารถในการพ่นเคลือบได้ดีที่สุดโดยการพิจารณาจากลักษณะการเกาะติดของเทปลอนด้วยสายตา ดังรูปที่ 1b

5.3 ผลการศึกษา อุณหภูมิ และเวลาอบถ้วยเซรามิค ก่อนการพ่นเคลือบเทปลอน

จากการทดลองตามวิธีการทดลองที่ได้ออกแบบไว้เพื่อทำการศึกษา อุณหภูมิ และเวลาอบถ้วยเซรามิคที่เหมาะสมต่อการพ่นเคลือบด้วย โดยกำหนดขอบเขตการทดลองอุณหภูมิในการอบถ้วยเซรามิคที่ระยะเวลา 5 นาที จำนวน 4 ระดับอุณหภูมิ ได้แก่ 100°C, 150°C, 200°C และ 250°C ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิอบถ้วยรองรับน้ำย้างเซรามิคที่ 200 °C ระยะเวลาอบ 5 นาที เป็นสภาวะอุณหภูมิและเวลาที่มีความเหมาะสมและดีที่สุด เนื่องจากสภาวะปัจจัยดังกล่าวทำให้สามารถทำการพ่นเคลือบเทปลอนให้เกาะติดผิวถ้วยเซรามิคได้เรียบทั่วทั้งผิวถ้วยอย่างสม่ำเสมอ และมีความหนาของผิวเคลือบเทปลอนที่หนา ดังรูปที่ 2



a



b

รูปที่ 1

a,b ลักษณะผิวถ้วยเซรามิคที่ไม่ได้กัดด้วยกรด ไฮโดรฟลูออริกและกัดกรด เมื่อพ่นเคลือบด้วยเปลวเพลิงตามลำดับ

รูปที่ 2

a,b ลักษณะของผิวถ้วย
เซรามิค ที่ผ่านการพ่น
เคลือบด้วยวิธีการอบอุณหภูมิ
ถ้วยเซรามิค ที่อุณหภูมิ
อุณหภูมิ 200 °C
ระยะเวลาเวลา 5 นาที ที่
สังเกตได้จากสายตา



a



b

5.4 ผลการศึกษา เวลาในการอบเคลือบ

จากการทดลองตามวิธีการทดลองที่ได้ออกแบบไว้เพื่อทำการศึกษาเวลาที่ใช้ในการอบเคลือบเทปลอน
หลังผ่านการพ่นเคลือบ โดยกำหนดขอบเขตการทดลองการอบเคลือบถ้วยที่อุณหภูมิ 200°C ที่
ระยะเวลา 1-8 นาที พบว่าระยะเวลาในการอบเคลือบถ้วยเซรามิค ที่อุณหภูมิ 200°C เป็น ระยะเวลา
6 นาที เป็นสภาวะอุณหภูมิและเวลาที่มีความเหมาะสมและดีที่สุดสำหรับการอบเคลือบถ้วยหลัง
พ่นเคลือบ เนื่องจากสภาวะปัจจัยดังกล่าวทำให้ผงเทปลอนที่พ่นเคลือบ มีการเคลือบผิวติดด้วยเซรามิค
อย่างสม่ำเสมอและมีความเรียบทั่วทั้งถ้วย ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3

a,b แสดงลักษณะผิวถ้วย
เซรามิคที่ผ่านการอบ
เคลือบเป็นระยะเวลา 6
นาที



a



b

VI. วิเคราะห์ผลการทดลอง

6.1 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความเรียบผิวถ้วยเซรามิคหลังการอบเคลือบ

จากการดำเนินการทดลองเพื่อหาค่าความเรียบของผิวถ้วยเซรามิคหลังจากทำการอบเคลือบเป็นที่
เรียบร้อยแล้ว ได้ทำการเปรียบเทียบความเรียบผิวถ้วยรองรับน้ำอย่างมาตรฐานที่ใช้อยู่โดยทั่วไป กับถ้วย
รองรับน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกัดด้วยกรด ไฮโดรฟลูออริก ก่อนการพ่นเคลือบ และถ้วยรองรับน้ำที่
ผ่านการกัดด้วยกรด ไฮโดรฟลูออริก ก่อนการพ่นเคลือบโดยทำการวัดความเรียบผิวเฉลี่ย (Roughness
average: R_a) จำนวน 3 ตำแหน่ง ของถ้วยแต่ละแบบซึ่งมีค่าความเรียบผิว R_a ดังค่าในตารางที่ 3 และ
ทำการวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (ANOVA : Analysis of Variance) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของ
ค่าความเรียบผิว R_a ที่วัดค่าได้จากเครื่องวัดความเรียบผิว โดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS
(Statistical Package for the Social Sciences) โดยมีผลดังนี้คือผิวของถ้วยรองรับน้ำที่ผ่านการกัด
ด้วยกรด ไฮโดรฟลูออริก ก่อนการพ่นเคลือบจะมีความเรียบมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับถ้วยรองรับน้ำ
ยี่ห้อทั้ง 2 ชนิด โดยที่มีค่าความเรียบผิวอยู่ที่ $0.766 \mu m$ จากการวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน ข้อ

มูลค่าความเรียบผิว R_a พบว่าค่าความเรียบผิวที่ได้จากการวัดความเรียบของผิวด้วยเซรามิกนั้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

ลักษณะผิวด้วยเซรามิก	ค่าความเรียบผิว [R_a (μm)]			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	เฉลี่ย
ผิวโดยทั่วไป	4.489	5.012	4.671	4.724
ผิวไม่กัดด้วยกรด ฟันเคลือบ	1.767	1.813	2.023	1.865
ผิวกัดด้วยกรด ฟันเคลือบ	0.769	0.817	0.714	0.766

ตารางที่ 3

ค่าความเรียบผิวด้วยเซรามิกหลังการอบเคลือบของถ้วยแต่ละแบบ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	54.116	1	54.116	1757.25	.000
Surface	25.038	2	12.519	406.52	.000
Error	0.185	6	0.031	-	-
Total	79.339	9	-	-	-

ตารางที่ 4

ค่าทางสถิติจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความเรียบผิว R_a จากการทดลอง

จากการวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน ข้อมูลค่าความเรียบผิว R_a พบว่าค่าความเรียบผิวที่ได้จากการวัดความเรียบของผิวด้วยเซรามิกนั้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

6.2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความหนาและสภาพของผิวเคลือบเทปลอน

หลังจากทำการอบเคลือบเทปลอนเป็นที่เรียบร้อยแล้วได้ทำการศึกษาความหนาของผิวเคลือบและสภาพผิวเคลือบเทปลอน ก่อนการปาดยางกับภายหลังทำการหยดน้ำยางลงบนถ้วยและทำการทดลองปาดยาง เพื่อเปรียบเทียบความหนา สภาพผิว และการสึกหรอของผิวเคลือบเทปลอน จากการวัดระยะความหนาของผิวเคลือบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงโดยใช้โปรแกรม Image Analyzer เพื่อเปรียบเทียบความหนาของผิวเคลือบซึ่งได้ผลความหนาของเทปลอนดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5

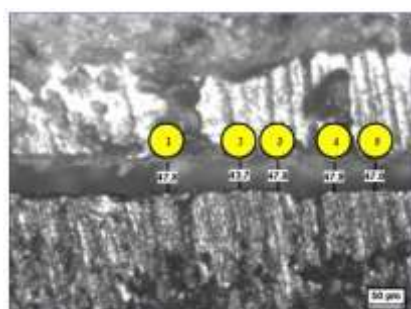
ค่าความหนาของผิวเคลือบเทปลอน

ตำแหน่งที่		1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
ความหนาผิวเคลือบ(μm)	ก่อนปาดน้ำยา	47.8	43.7	47.8	47.8	47.0	46.8
	หลังปาดน้ำยา	46.3	46.6	47.5	47.4	45.7	46.7

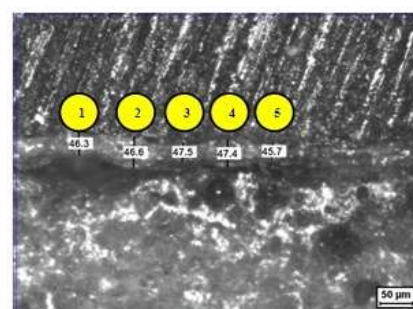
ผลจากการเปรียบเทียบความหนาและสภาพของผิวเคลือบเทปลอนพบว่า หลังจากที่มีการปาดน้ำยาออกจกด้วยแล้วความหนาของผิวเคลือบจะมีค่าความหนาลดลง

รูปที่ 4

a,b ความหนาของผิวเคลือบเทปลอนก่อนและหลังทำการทดลองปาดน้ำยา ตามลำดับ



a

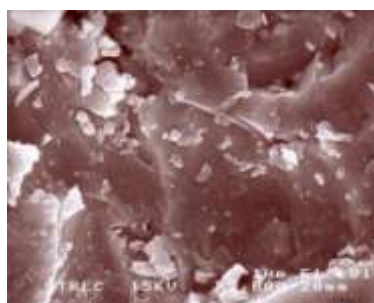


b

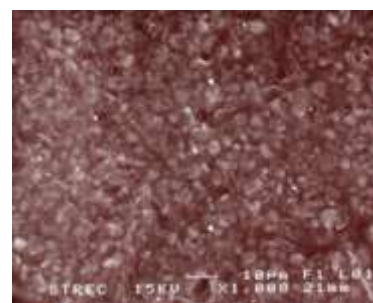
จากการวิเคราะห์สภาพผิวด้วยปกติที่ไม่ได้ทำการพ่นเคลือบ กับผิวด้วยที่ผ่านการเคลือบเทปลอนก่อนทำการปาดน้ำยาจากภาพถ่าย SEM จะเห็นได้ว่าสภาพผิวด้วยปกติที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบเทปลอนนั้นจะมีลักษณะเป็นผิวของเนื้อเซรามิกที่เป็นชั้นมองเห็นเป็นระดับความลึกที่แตกต่างกัน แต่เมื่อทำการพ่นเคลือบด้วยเทปลอนจะสังเกตเห็นได้ว่าเทปลอนจะเกาะตัวกันเป็นเม็ดผลึกแทรกซึมเข้าไปในส่วนที่เป็นช่องว่างของผิวด้วยทำให้ผิวด้วยมีลักษณะเรียบมากยิ่งขึ้น

รูปที่ 5

a,b ภาพถ่าย SEM ของสภาพผิวด้วยปกติที่ไม่ได้ผ่านและผ่านการเคลือบเทปลอน ตามลำดับ

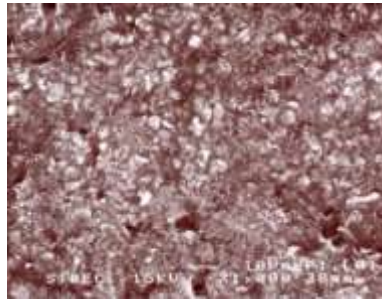


a



b

หลังจากการทดลองหยดน้ำยางลงบนผิวด้วยแล้วทำการปาดยางเพื่อทำการศึกษาสภาพผิวเคลือบเทป
ลอนหลังทำการปาดยางด้วยภาพถ่าย SEM พบว่าสภาพผิวเคลือบยังคงอยู่ในสภาพดี การเกาะตัวของ
เทปลอนยังอยู่ในรูปแบบที่สมบูรณ์ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6

ภาพถ่าย SEM ของสภาพ
ผิวด้วยที่ผ่านการเคลือบ
เทปลอนหลังทดลองปาด
ยาง

6.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเทปลอนที่ใช้ในการพ่นเคลือบ

ปริมาณการใช้เทปลอนในการพ่นเคลือบ เป็นการหาผลต่างของน้ำหนักด้วยเชรามิคก่อนทำการพ่น
เคลือบ และหลังทำการพ่นเคลือบ ซึ่งจะเป็นน้ำหนักของเทปลอนที่ใช้พ่นเคลือบต่อถ้วย ซึ่งจากการ
ทดลองและทำการวิเคราะห์หาปริมาณการใช้เทปลอน จากถ้วยจำนวน 30 ตัวอย่าง พบว่า น้ำหนักถ้วย
ก่อนการพ่นเคลือบนั้นมีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 522.413 กรัม และน้ำหนักถ้วยหลังการพ่นเคลือบมีค่าน้ำหนัก
เฉลี่ย 524.923 กรัม ดังนั้นในการพ่นเคลือบเทปลอนต่อถ้วยจึงใช้ปริมาณเทปลอน 2.51 กรัมต่อถ้วย

6.4 ผลการวิเคราะห์ความเรียบผิวด้วยเชรามิคหลังจากสภาพการใช้งานจริง

จากทำการทดลองใช้ถ้วยเชรามิคที่ผ่านการพ่นเคลือบไปทำการรองรับน้ำยางดิบจากสภาพการใช้งาน
จริงที่สวนยางพารา เป็นระยะเวลา 30 วัน และนำมาทำการวัดค่าความเรียบผิวเคลือบหลังการใช้งาน
จริง โดยทำการวัดความเรียบผิว R_a จำนวน 3 ตำแหน่งมีค่าดังตารางที่ 6

ลักษณะผิวด้วยเชรามิค	ค่าความเรียบผิว [Ra (μm)]			
	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่ง 3	เฉลี่ย
ผิวด้วยหลังสภาพการใช้งานจริง	4.103	4.045	4.001	4.049

ตารางที่ 6

ค่าความเรียบผิวด้วย
เชรามิคหลังการใช้งานใน
สภาพการใช้งานจริง

ไปเปรียบเทียบกับผิวด้วยเชรามิคกัดด้วยกรดและพ่นเคลือบ (ตารางที่ 3) จะเห็นได้ว่าค่าความเรียบผิว
ของถ้วยเชรามิคหลังการใช้งานในสภาพการใช้งานจริง จะมีค่าความเรียบผิวดลดลงอย่างเห็นได้ชัด

6.5 ผลการวิเคราะห์ความหนาและสภาพของผิวเคลือบเทปลอน จากสภาพการใช้งานจริง

ทำการทดลองใช้ถ้วยเซรามิคที่ผ่านการพ่นเคลือบไปทำการลองรับน้ำยางดิบจากสภาพการใช้งานจริงที่สวนยางพารา เป็นระยะเวลา 30 วัน เพื่อศึกษาความหนา สภาพผิว และการสึกหรอของผิวเคลือบเทปลอนจากการใช้งานจริงซึ่งได้ผลความหนาของเทปลอน

ตารางที่ 7

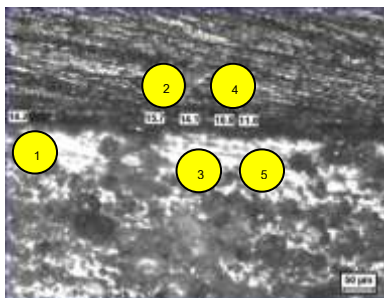
ค่าความหนาของผิวเคลือบเทปลอนหลังการใช้งานในสภาพการใช้งานจริง

ตำแหน่งที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
ความหนาผิวเคลือบเทปลอน (μm)	14.2	15.7	14.1	10.9	11.0	13.18

เมื่อนำค่าความหนาของผิวเคลือบหลังการใช้งานในสภาพการใช้งานจริงไปเปรียบเทียบกับค่าความหนาของผิวเคลือบเทปลอนที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน(ตารางที่ 5) พบว่าค่าความหนาของผิวเคลือบหลังการใช้งานในสภาพการใช้งานจริง จะมีค่าความหนาลดลง

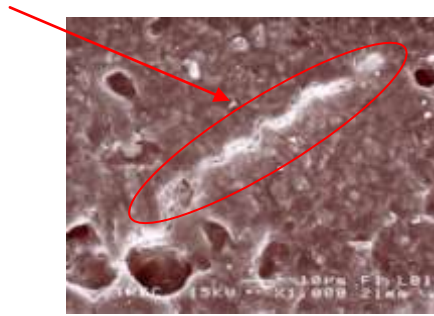
รูปที่ 7

ภาพการวัดความหนาของผิวเคลือบเทปลอนหลังการใช้งานในสภาพการใช้งานจริง



การวิเคราะห์สภาพผิวด้วยหลังการใช้งานในสภาพการใช้งานจริง จากภาพถ่าย SEM จะสังเกตเห็นได้ว่าสภาพผิวเคลือบเทปลอนจะมีการสึกหรอจากการปาดยาง และเกิดรอยแตกร้าวจากการใช้งาน ดังรูปที่ 8 เป็นผลเนื่องจากลักษณะใบปาดน้ำยางพาราทำจากวัสดุคือยางสังเคราะห์ซึ่งมีความแข็งในตัวของวัสดุเอง และลักษณะการใช้นั้นจะต้องมีการออกแรงเพื่อขูดที่ถ้วยรองรับน้ำยาง เพื่อให้น้ำยางที่ถ้วยหลุดออกให้หมด

รอยแตกร้าวของผิวเคลือบเทฟลอน



รูปที่ 8

ภาพถ่าย SEM ของสภาพ
ผิวเคลือบเทฟลอนที่มีรอย
ของการปาดยางปรากฏ

6.6 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการลดการเกาะติดน้ำยาง

การศึกษาความสามารถในการลดการเกาะติดของถ้วยน้ำยางจะเป็นการเปรียบเทียบผลต่างของน้ำหนักถ้วยก่อนการรองรับน้ำยางกับภายหลังการปาดยางออกจากถ้วย ของถ้วยเซรามิกที่ผ่านการเคลือบเทฟลอน กับถ้วยเซรามิกที่ใช้งานโดยทั่วไป จากการทดลองมีค่าดังตารางที่ 8

ชนิดรูปแบบถ้วยเซรามิก ค่า	ผ่านการเคลือบ เทฟลอน	ไม่ผ่านการเคลือบ เทฟลอน
น้ำหนักถ้วยก่อนรองรับน้ำยางเฉลี่ย (กรัม)	524.923	522.413
น้ำหนักถ้วยก่อนเทปาดยางเฉลี่ย (กรัม) *	625.785	621.994
น้ำหนักถ้วยหลังเทปาดน้ำยางเฉลี่ย (กรัม)	522.312	530.641
ผลต่างน้ำหนักถ้วยเฉลี่ย (ปริมาณน้ำยางที่ติดถ้วย) (กรัมต่อถ้วย)	2.611	8.228

ตารางที่ 8

ค่าน้ำหนักของถ้วย
เซรามิกผ่านการเคลือบ
เทฟลอน และไม่ผ่านการ
เคลือบเทฟลอน (จำนวน
30ถ้วยใช้เวลาในการเก็บ
ผล 30 วัน)

หมายเหตุ * หลังจากรับน้ำยางดิบ 1000 กรัม

โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าถ้วยเซรามิกผ่านการเคลือบเทฟลอนสามารถลดการเกาะติดน้ำยางได้ดีกว่าถ้วยเซรามิกที่ไม่ผ่านการเคลือบเทฟลอน

VII. สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัย และได้ทำการทดลอง และวิเคราะห์ผลตามขอบเขตและแผนการทดลองโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเคลือบผิวถ้วยรองรับน้ำยางด้วย เทฟลอนเพื่อลดการเกาะติดของน้ำยาง ซึ่งสามารถสรุปผลการดำเนินงานวิจัยได้ดังนี้

สภาวะปัจจัยที่เหมาะสมต่อการผลเคลือบซึ่งสามารถทำการพ่นเคลือบเทฟลอนเคลือบผิวถ้วยรองรับน้ำยางที่เป็นเซรามิก คือ สภาพผิวถ้วยเซรามิกที่ผ่านการกัดด้วยกรด ไฮโดรฟลูออริก แล้วทำการอบอุณหภูมิ 200 °C เป็นระยะเวลาอบ 5 นาที และนำมาทำการพ่นเคลือบด้วยมือ แล้วทำการอบเคลือบเทฟลอนที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นระยะเวลา 6 นาที ซึ่งจะทำให้ถ้วยเซรามิกนั้นถูกเคลือบด้วยเทฟลอนส่งผลให้ผิวถ้วยเซรามิกนั้นมีความเรียบเฉลี่ย 0.766 μm และมีความหนาของผิวเคลือบเฉลี่ย 46.8 μm เนื่องจากเกิดการหลอมละลายเคลือบของผลิตภัณฑ์เทฟลอนที่พ่นเคลือบลงบนผิวถ้วยเซรามิก จากลักษณะของถ้วยเซรามิกที่ผ่านการพ่นเคลือบ

ด้วยเทปลอนนั้นจึงส่งผลให้ผิวถ้วยมีคุณสมบัติที่เรียบลื่นมากยิ่งขึ้น และเมื่อนำไปใช้ในการรองรับน้ำยางพาราดิบจึงสามารถช่วยลดการเกาะติดของน้ำยางได้ โดยที่ปริมาณน้ำยางที่ติดด้วยเซรามิคที่ไม่ได้ทำการพ่นเคลือบเทปลอนนั้นมีปริมาณการเกาะติดของน้ำยางอยู่ที่ 8.228 กรัมต่อถ้วย ส่วนถ้วยเซรามิคที่ทำการพ่นเคลือบเทปลอนนั้นมีปริมาณการเกาะติดของน้ำยางอยู่ที่ 2.611 กรัมต่อถ้วยซึ่งปริมาณการเกาะติดของน้ำยางน้อยกว่า อัตราการสึกหรอของผิวเคลือบเทปลอนจากข้อมูลสภาพการใช้งานจริงในระยะเวลา 30 วัน จากการวิเคราะห์จากค่าความหนาของผิวเคลือบเทปลอน โดยที่ความหนาของผิวเคลือบก่อนการใช้งานมีความหนาอยู่ที่ 46.8 μm และเมื่อผ่านการใช้งานในสภาพการใช้งานจริงในระยะเวลา 30 วัน พบว่ามีอัตราการสึกหรอของผิวเคลือบเทปลอน 72% เป็นผลเนื่องจากลักษณะใบปาดน้ำยางพาราทำจากวัสดุคือยางสังเคราะห์ซึ่งมีความแข็งในตัวของตัวเอง และลักษณะการใช้งานนั้นจะต้องมีการออกแรงเพื่อขูดที่ถ้วยรองรับน้ำยาง เพื่อให้ น้ำยางที่ถ้วยหลุดออกให้หมด

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ในการสนับสนุนทุนวิจัยครั้งนี้ โดยสัญญาทุนวิจัยเลขที่ RDG5150033 (ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้วิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บรรณานุกรม

- [1] กรมวิชาการเกษตร, *ฐานความรู้เรื่องยาง*, 2007 [Online]. Available: http://www.doa.go.th/pl_data/ORCHID/1STAT/st01.html
- [2] ทิพวรรณ ปะละไทย, จิระศักดิ์ ธาระจักร และ ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, *การศึกษาการเคลือบโพลีเมอร์ลงบนผิวชิ้นงานโลหะโดยกระบวนการพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน (ระยะที่ 1-2)*. กรุงเทพฯ: สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ, คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546-2547.
- [3] ทิพวรรณ สุดประเสริฐ, *อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่อการพ่นโครงสร้างและคุณสมบัติของงาน พ่นเคลือบด้วยเปลวเพลิง*. กรุงเทพฯ: สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2538.
- [4] ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2003. [Online]. Available: <http://www.bot.or.th/BOTHomepage/DataBank/Real Sector/agriculture>
- [5] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, *สารเทปลอน: สารที่ลื่นที่สุด*. 2008. [Online]. Available: <http://www.mtec.or.th>