

เครื่องทดสอบการสึกกร่อน

Slurry Jet Erosion Tester

Patent application no. 071452 (Thailand)

Silver medal award, International exhibition of Inventions of Geneva, April 2003

พิกามาศ แซ่หว่าง

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ปทุมธานี 12120

โทร 0-25646500 ต่อ 4226 โทรสาร 0-25646447 E-mail: pakamas@mtec.or.th

Pakamard Saewong

National Metal and Materials Technology Center

114 Thailand Science Park, Paholyothin Road, Pathumthani 12120, Thailand

Tel: 0-25646500 Ext. 4226 Fax: 0-25646447 E-mail: pakamas@mtec.or.th

บทคัดย่อ

เครื่องทดสอบการสึกกร่อนพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ทดสอบความทนต่อการสึกกร่อนของวัสดุที่ต้องสัมผัสกับของผสมระหว่างน้ำกับของแข็ง เช่น ระบบท่อลำเลียงผงเปียก เครื่องนี้สามารถใช้ทดสอบวัสดุได้หลากหลาย และสามารถปรับเงื่อนไขตัวแปรสำหรับการทดสอบให้ใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานจริงได้ เงื่อนไขและตัวแปรต่างๆ สำหรับการทดสอบสามารถปรับค่าได้ตามต้องการ ความเข้มข้นผงสามารถปรับได้จาก 1 - 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และสามารถควบคุมให้คงที่ได้ตลอดช่วงของการทดสอบ อัตราเร็วเฉลี่ยในการชนปรับได้ในช่วง 1.8-4.2 เมตรต่อวินาที และมุมในการชนปรับได้จาก 30- 90 องศา เครื่องทดสอบนี้จะช่วยให้สามารถเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมที่เกิดการสึกกร่อนได้ง่าย

Abstract

A slurry jet erosion tester has been developed to determine erosion resistance of the materials for slurry conveying systems. It is capable of testing a wide range of materials with erosion variables adjustable to simulate different service conditions. The data from such testing assists in materials selection and development for these types of application. The slurry solid content can be varied between 1-20 wt% on impact during the whole test duration with slurry flow rate adjustable from 8 to 33 litres/hr. impact speed can be varied from 1.8- 5.3 m/s and the impact angle from 30-90 degrees. For material selection purpose, candidate

materials are tested individually under the same test conditions for comparison using mass loss per unit time.

1. บทนำ

การสึกกร่อนจากการเซาะ (erosion) ของเป็นการหลุดของผิววัสดุทีละน้อยๆ ซึ่งเป็นผลสะสมจากการที่ผิวถูกชนแต่ละครั้งด้วยอนุภาคและ/หรือของไหล ตัวอย่างที่พบเห็นในธรรมชาติ เช่น หินตามชายฝั่งที่กร่อนเนื่องจากถูกคลื่นน้ำปะทะเป็นเวลานานๆ หรือ ปิรามิดและสฟิงค์ ที่ถูกพายุทรายเซาะมาเป็นเวลานานนับพันปี ในอุตสาหกรรมการสึกกร่อนในลักษณะนี้พบในระบบท่อหรือห้องที่มีอนุภาคเคลื่อนที่ภายใน เช่น ระบบการลำเลียงผงวัตถุในโรงงานอุตสาหกรรม หรือระบบลำเลียงแก๊ส เป็นต้น ความรุนแรงของการสึกกร่อนชนิดนี้เกี่ยวข้องกับตัวแปรใน 3 กลุ่ม คือ 1) สมบัติของอนุภาคที่ทำให้เกิดการสึกกร่อน เช่น ขนาด รูปร่าง ความแข็ง ความเปราะ 2) สมบัติของวัสดุที่ใช้งาน เช่น ความแข็ง ความเปราะ ลักษณะโครงสร้างจุลภาค และ 3) สภาพแวดล้อมในการใช้งานและลักษณะการชน เช่น ความเร็ว มุมหรือทิศทางการชน ความเข้มข้นของอนุภาค อุณหภูมิ ตัวพาอนุภาคซึ่งเป็นได้ทั้งอากาศ หรือของเหลว เป็นต้น

กลไกของการเกิดการสึกกร่อน ค่อนข้างละเอียด ซับซ้อน และยังไม่มีความรู้ที่สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสึกกร่อนของวัสดุเชิงประกอบ (composites) หรือวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นเกรน (เช่น [1] และ [2]) แต่ก็ยังมีตัวบ่งชี้ที่อาจจะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบความทนต่อการสึกกร่อนได้อย่างคร่าวๆ คือ ความแข็งของวัสดุ แต่ความแข็งก็ไม่ใช่ตัวบอกระดับความทนต่อการสึกกร่อนได้แน่นอนทุกครั้ง และนอกจากนี้วัสดุที่ทนต่อการสึกกร่อนได้ดีกว่าชนิดอื่น ไม่จำเป็น

เป็นว่าจะทนต่อการสึกกร่อนได้ดีกว่าชนิดอื่นๆ ในทุกสภาพแวดล้อม การคัดเลือกวัสดุให้เหมาะสมต่อการใช้งานจึงต้องทำภายใต้สภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากที่สุด

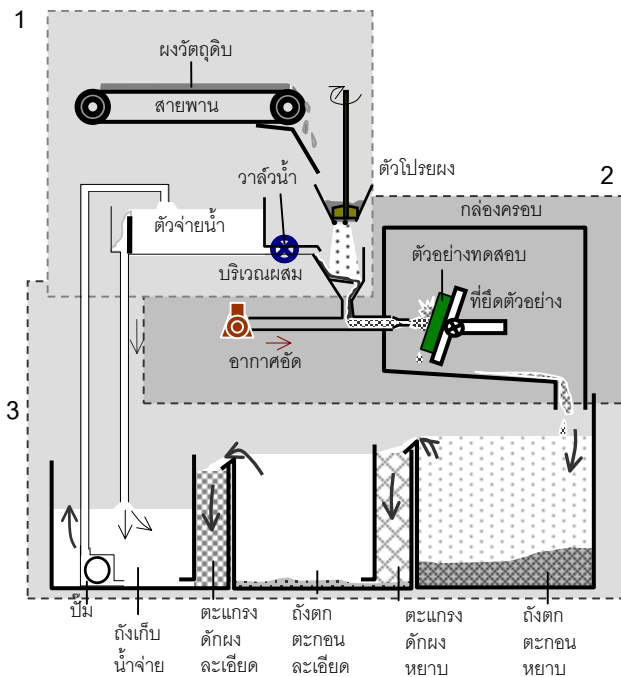
เครื่องทดสอบการสึกกร่อนที่ทำขึ้นนี้เป็นเครื่องสำหรับทดสอบการสึกกร่อนของวัสดุที่ใช้ในการลำเลียงผงวัตถุบด ภายใต้ข้อกำหนดดังนี้

- ผงวัตถุบดปนอยู่กับน้ำในระดับความเข้มข้นไม่เกิน 20 wt%
- อุณหภูมิแวดล้อมไม่เกิน 60°C
- มุมในการสัมผัสระหว่างผงวัตถุบดกับผนัง 0 ถึง 90 องศา
- อัตราเร็วในการชนของผงวัตถุบด 2 ถึง 5 เมตรต่อวินาที

เครื่องทดสอบการสึกกร่อนที่สร้างขึ้นเน้นการใช้วัสดุภายในประเทศ สะดวกในการบำรุงรักษาและปลอดภัยต่อผู้ใช้

2. ส่วนประกอบเครื่องทดสอบ

เครื่องทดสอบประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องทดสอบการสึกกร่อน

2.1 ส่วนเตรียมผงวัตถุบดก่อนการทดสอบ ประกอบด้วย

2.1.1. ตัวป้อนผงวัตถุบด ตัวป้อนสามารถจ่ายวัตถุบดด้วยอัตราคงที่ และสามารถปรับอัตราการจ่ายได้ ตัวป้อนผงเป็นสายพานลำเลียงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ซึ่งสามารถปรับความเร็วรอบให้สายพานเลื่อนในอัตราที่กำหนด เพื่อส่งผงไปยังตัวโปรยผง ตัวโปรยผงประกอบไปด้วยภาชนะทรงกรวยก้นเจาะรูพรุน มีแปรงแบนภายในติดกับแกนมอเตอร์เพื่อขับให้แปรงหมุนกวาดผงไปรอบๆ ให้ผงร่วงผ่านรูพรุนลงไปที่บริเวณผสมอย่างสม่ำเสมอ

2.1.2. ตัวจ่ายน้ำ ด้วยอัตราคงที่และสามารถปรับค่าได้ ระดับน้ำภายในตัวจ่ายน้ำรักษาให้คงที่โดยให้น้ำล้นออกจากขอบตลอดเวลา เพื่อ

รักษาความดันของน้ำที่จุดปล่อยให้คงที่ซึ่งจะทำให้น้ำไหลเข้าระบบด้วยอัตราที่คงที่ ที่จุดปล่อยมีวาล์วควบคุมขนาดของรูเปิด (ในที่นี้ใช้ needle valve) เพื่อให้สามารถปรับอัตราการไหลของน้ำได้

2.1.3. บริเวณผสมวัตถุบดกับน้ำ ผงจากตัวโปรยผงจะร่วงลงมายังบริเวณผสมซึ่งมีน้ำจากตัวจ่ายน้ำไหลลงมาชะผสมกับผงอย่างทั่วถึง กลายเป็นของผสมที่มีความเข้มข้นที่ควบคุมได้โดยการควบคุมปริมาณน้ำที่ปล่อยจากตัวจ่ายและปริมาณผงที่จ่ายเข้ามา

2.1.4. ท่อเร่งของผสม จะเร่งให้ของผสมมีอัตราเร็วตามที่ต้องการก่อนที่จะชนกับวัสดุที่ทดสอบ ในการเร่งของผสมจะถูกป้อนเข้าบริเวณเร่งด้วยแรงโน้มถ่วง และแรงสุบเนื่องจากอากาศอัดที่ไหลอยู่ด้านล่าง บริเวณผสม หลังจากนั้นจะถูกเร่งด้วยอากาศอัดไปที่หัวพ่น อัตราเร็วสามารถปรับค่าได้โดยการปรับอัตราการไหลของอากาศ

2.2 ส่วนทดสอบการสึกกร่อน ประกอบด้วย

2.2.1. หัวพ่น ต่อมาจากท่อเร่งของผสม ขนาดของหัวพ่นที่ใช้ $\phi 8$ มม.

2.2.2. แป้นยึดตัวอย่างที่จะทดสอบ สามารถปรับมุมการชนได้ตั้งแต่ 30 ถึง 90 องศา และสามารถยึดตัวอย่างให้อยู่ที่มุมที่ต้องการทดสอบได้ตลอดระยะเวลาของการทดสอบ

2.2.3. กล่องครอบ จะกักและรวบรวมของผสมหลังการทดสอบให้ไหลไปรวมในส่วนเก็บและคัดแยกผง

2.3 ส่วนเก็บและคัดแยกผงวัตถุบดหลังการทดสอบ ประกอบด้วย

2.3.1. ถังตกตะกอนหยาบ จะเก็บของผสมหลังการทดสอบ ซึ่งจะเป็นที่ตกตะกอนของผงขนาดใหญ่ เมื่อผงขนาดใหญ่ตกตะกอนละเอียด ผงที่ตะกอนจะไม่ถูกนำกลับไปใช้อีก เนื่องจากสภาพหลังการใช้งานไม่เหมือนก่อนการใช้งาน

2.3.2. ถังตกตะกอนละเอียด จะรับน้ำที่มีผงละเอียดปนมาจากถังตกตะกอนหยาบ ผ่านตัวกรอง และผงละเอียดก็จะตกตะกอน หลังจากนั้นจะได้น้ำที่ไม่มีผงไหลเข้าในถังน้ำสะอาด

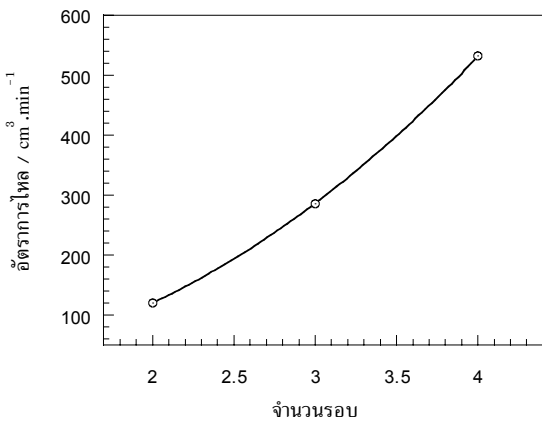
2.3.3. ถังเก็บน้ำจ่าย จะรับน้ำจากแหล่งจ่ายน้ำสะอาดและน้ำที่ไม่มีตะกอนจากถังตกตะกอนละเอียด เพื่อวนกลับไปป้อนตัวจ่ายน้ำ

3. calibration

ปริมาณต่างๆ ที่ต้องทำการวัดคือ ปริมาณน้ำ ปริมาณผง และอัตราเร็วในการชน

3.1 อัตราการไหลของน้ำสู่บริเวณผสม ได้ทำการสุ่มเก็บน้ำที่ไหลออกมาในเวลา 1 นาที ที่เวลาต่างๆ กันสำหรับแต่ละจำนวนรอบของการเปิดวาล์วพบว่า ที่แต่ละรอบการเปิดวาล์วอัตราการไหลของน้ำคงที่และอัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำจากการเก็บตัวอย่าง 5 ครั้งติดกันในเวลา 5 นาทีเท่ากับ 120.4 ± 1.0 และ 285.3 ± 0.7 ลบ.ซม.ต่อนาที สำหรับจำนวนรอบของการเปิดวาล์ว 2 และ 3 รอบ ตามลำดับ ส่วนจำนวนวาล์ว 4 รอบซึ่งเป็นจำนวนรอบสูงสุดและได้เก็บตัวอย่าง 5 ครั้งติดกันเช่นกัน แต่เป็นครั้งละ $\frac{1}{2}$ นาที เวลารวม $\frac{2}{2}$ นาทีและได้อัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 532.4 ± 2.8 ลบ.ซม.ต่อนาที ความสัมพันธ์ของจำนวนรอบ

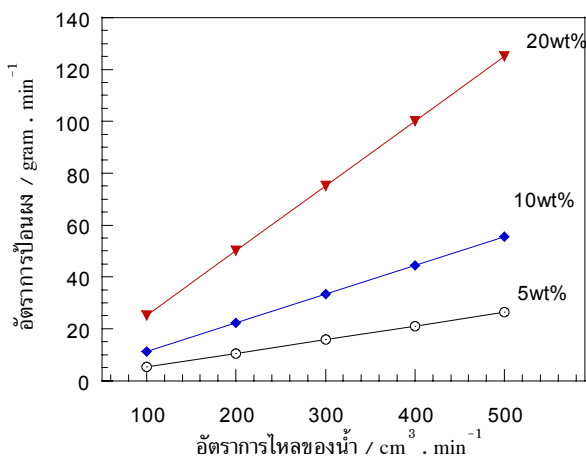
เปิดและอัตราการไหลของน้ำแสดงในภาพที่ 2 อัตราการไหลที่จำนวนเปิดไม่เต็มรอบไม่ได้ทำการวัดแต่สามารถอ่านค่าได้จากกราฟนี้



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ของจำนวนรอบการเปิดวาล์วน้ำและอัตราการไหลของน้ำ

3.2. อัตราการป้อนผงวัตถุดิบ

อัตราการป้อนผงขึ้นอยู่กับปริมาณผงต่อหน่วยความยาวของสายพาน และอัตราการเคลื่อนที่ของสายพาน (ความเร็วรอบของมอเตอร์ขับเคลื่อน) ในการใช้งานผงวัตถุดิบจะถูกจัดให้อยู่บนสายพานอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวของสายพาน หลังจากนั้นก็จะปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ขับเคลื่อนสายพานให้ได้อัตราการป้อนที่ต้องการ การเลือกอัตราการป้อนผงนอกจากจะพิจารณาจากความเข้มข้นของของผสมที่ต้องการที่ต้องการแล้วยังมีสิ่งที่จะต้องคำนึงคืออัตราการไหลของของผสมที่จะเข้ามาในท่อเร่งไม่ควรมากเกินไป เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำให้เกิดการสีกกรอนลดลง [3-6]

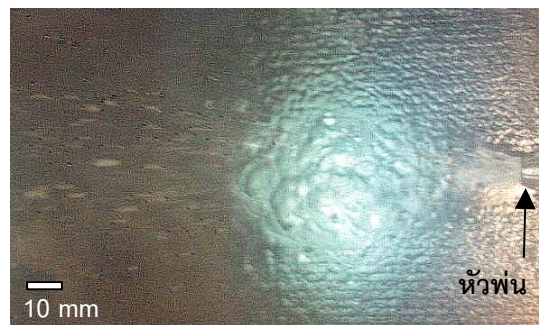


ภาพที่ 3 ตัวอย่างของอัตราการไหลของน้ำ และการป้อนผงที่จะให้ความเข้มข้นของของผสมเป็น 5, 10 และ 20 wt%

ความเข้มข้นของของผสมที่ต้องการใช้งานไม่เกิน 20 wt% อัตราการป้อนผงสูงสุดอยู่ที่ไม่เกิน 130 กรัม ต่อ นาที (ภาพที่ 3) วิธีการวัดความสม่ำเสมอของการจ่ายผงเข้าที่บริเวณผสมคือตักผงที่จ่ายเข้ามาที่บริเวณผสมเป็นเวลา 1 - 2 นาที ที่เวลาต่างๆ กัน ซึ่งพบว่า ในช่วงอัตราการป้อนที่ใช้งาน ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.5 กรัมต่อ นาที ซึ่งค่านี้จะทำให้ความเข้มข้นมีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ตั้งไว้ไม่เกิน ± 0.5 wt% ที่อัตราการไหลของน้ำ 100 ลบ.ซม.ต่อ นาที อัตราการไหลของน้ำยิ่งสูงความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นก็ยิ่งต่ำ ที่อัตราการไหลของน้ำสูงๆ ความคลาดเคลื่อนของอัตราการป้อนผงในระดับนี้แทบจะไม่ทำให้ความเข้มข้นของของผสมเปลี่ยนแปลงเลย

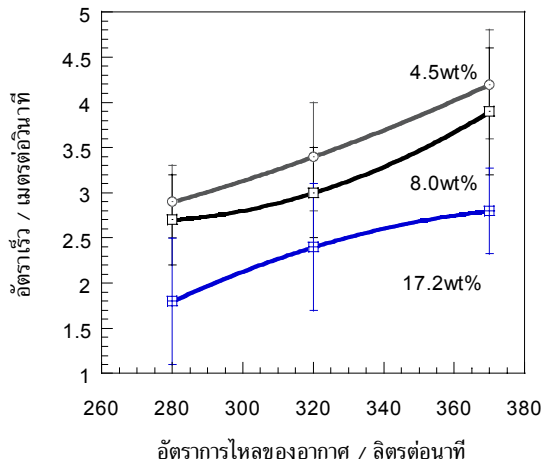
3.3. อัตราเร็วในการชน

การวัดอัตราเร็วสามารถทำได้ 2 แบบ คือ 1) ถ่ายภาพหยุดของเหลวที่ออกจากหัวพ่นโดยใช้ความเร็วชัตเตอร์กล้องที่ทราบค่า ระยะที่หยุดของเหลวเคลื่อนที่ในช่วงเวลาที่ชัตเตอร์เปิดจะปรากฏเป็นรอยขีด (streak) บนภาพ หรือ 2) จับเวลาการเคลื่อนที่ของหยุดของของผสมที่เคลื่อนที่ผ่านจุดอ้างอิง 2 จุด โดยปล่อยลำแสงขนานออกจากจุดอ้างอิงทั้งสองจุดในลักษณะที่ขวางการเคลื่อนที่ของหยุดของเหลว แล้ววางตัวรับแสงความไวสูง (high speed photodetector) 2 ตัวในทิศตรงข้ามกับแสงขนาน ตัวรับแสงจะต่อกับ datalogger เพื่อบันทึกความเข้มแสงตามเวลา เวลาของการเคลื่อนที่ผ่านระยะทางระหว่างจุดอ้างอิงทั้งสองคือค่าความแตกต่างของจุดเวลาที่หยุดของเหลวเคลื่อนที่ที่ตัดลำแสงทั้งสอง วิธีแรกมีข้อดีที่เครื่องมือมีราคาถูก สามารถเห็นทิศการเคลื่อนที่ของหยุดของเหลวได้ แต่ใช้เวลาในการวิเคราะห์ผลนาน ส่วนวิธีที่ 2 ให้ผลการวิเคราะห์รวดเร็ว และสามารถวัดความเร็วในช่วงที่สูงกว่า แต่มีราคาแพง ถ้าลักษณะของหยุดของเหลวต่ำมากๆ ก็ไม่สามารถวัดได้และไม่เหมาะกับการใช้งานในสภาพที่มีความหยุดน้ำมากเกินไป การวัดอัตราเร็วของหยุดของเหลวที่ออกจากหัวพ่นสำหรับกรณีนี้จึงเลือกใช้วิธีที่ 1 การเร่งให้ของผสมมีอัตราเร็วทำโดยใช้อากาศอัดที่มีอัตราการไหลตั้งแต่ 250 ลิตรต่อ นาทีเป็นต้นไป ตัวอย่างภาพจากการวัดอัตราเร็วของหยุดของเหลวแสดงไว้ในภาพที่ 4 ซึ่งเป็นภาพจากการวัดอัตราเร็วของของผสมความเข้มข้น 4.5 ± 0.1 wt% และมีอัตราการไหล 32.6 ± 0.2 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วของชัตเตอร์ 1/500 วินาที และอัตราเร็วที่วัดได้คือ 2.9 ± 0.4 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 4 ตัวอย่างภาพสำหรับวัดความเร็วของหยุดของของผสม

อัตราเร็วของหยดของเหลวความเข้มข้นต่างๆ ที่เร่งด้วยอากาศอัด โดยใช้อัตราการไหลของอากาศ 280 จนถึง 370 ลิตรต่อนาที ได้แสดงไว้ในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 อัตราเร็วของหยดของเหลวที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ จากการเร่งด้วยอากาศอัด

4. การทดลองใช้เครื่องทดสอบ

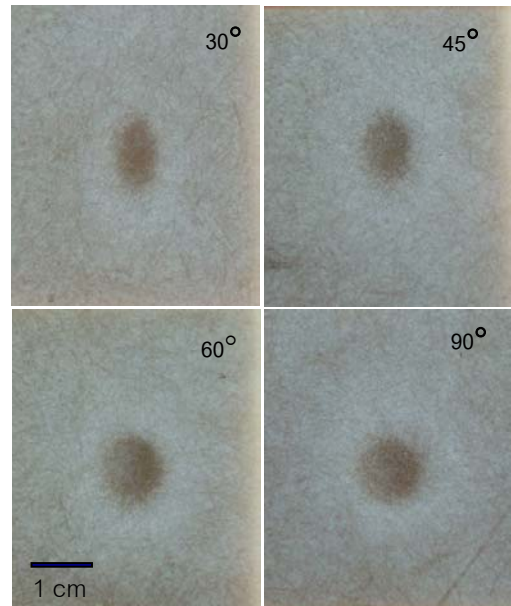
4.1 ข้อกำหนดในการใช้เครื่องทดสอบ ในการทดลองใช้เครื่องทดสอบการสึกกร่อน ต้องเลือกช่วงของตัวแปรที่ต้องการใช้ในการทดสอบ คือ

- ของผสมที่จะใช้ คือ ชนิด ขนาดและรูปร่างอนุภาค ความเข้มข้น และอัตราเร็วของหยดของผสม
- ชิ้นงานที่จะใช้ในการทดสอบ ขนาดต้องใหญ่กว่าพื้นที่ที่จะเกิดการสึก เพื่อป้องกันการสึกที่เหลื่อมขอบของชิ้นงานซึ่งเกิดรวดเร็วและจะทำให้ผลการทดสอบผิดพลาด [2]
- มุมในการชน

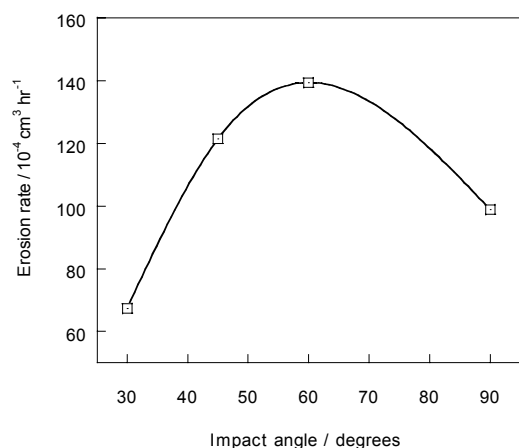
4.2 วิธีการทดสอบ เมื่อเลือกตัวแปรทั้งหมดแล้ว ก็ทำการทดสอบตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) ชั่งน้ำหนักแห้งของชิ้นงานก่อนการทดสอบ แล้วใส่เข้าในที่ยึดตัวอย่าง ตั้งมุมที่ต้องการทดสอบ
- 2) เติมน้ำวัดดูดบนสายพาน ด้วยความสูงและความสม่ำเสมอเพื่อจ่ายเข้าตัวโรยผง
- 3) ปล่อยน้ำจะออกจากตัวจ่ายด้วยอัตราที่กำหนด
- 4) ปล่อยอากาศอัดด้วยอัตราการไหลที่สามารถเร่งให้หยดของผสมมีอัตราเร็วตามที่ต้องการ
- 5) ปล่อยผงเข้าตัวจ่ายผง
- 6) หลังการทดสอบในเวลาที่กำหนด นำชิ้นงานไปอบให้แห้ง แล้วชั่งน้ำหนัก หาน้ำหนัก และคำนวณหาปริมาตรที่หายไป และอัตราการสึกกร่อนเป็นปริมาตรของผิววัสดุที่หลุดหายไปต่อปริมาตรของของผสม หรือต่อระยะเวลาในการทดสอบ

4.3 ตัวอย่างการทดสอบการสึกกร่อน ในการทดลองใช้เครื่อง ได้ทดสอบกับชิ้นงานคอมโพสิตใยแก้ว อนุภาคที่ใช้คือเม็ดทรายขนาด <math><100</math> ไมครอน ความเข้มข้น



ภาพที่ 6 ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบที่มุมต่างๆ



ภาพที่ 7 อัตราการสึกกร่อนของชิ้นงานในภาพที่ 6

5. สรุป

เครื่องทดสอบการสึกกร่อนสามารถออกแบบและสร้างขึ้น เพื่อใช้ในการทดสอบการสึกกร่อนของวัสดุภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดได้ โดย

สามารถเลือกชนิดและขนาดของของอนุภาค ความเข้มข้นปรับได้ถึง 20 wt% และสามารถควบคุมให้มีค่าสม่ำเสมอได้ตลอดการทดสอบ อัตราเร็วในการชนสามารถปรับได้จาก 1.8 ถึง 4.2 เมตรต่อวินาที และมุมการชนสามารถปรับได้ตั้งแต่ 30 ถึง 90 องศา

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณทีมงานของวิศวกรและช่างของหน่วยสนับสนุนห้องปฏิบัติการและความปลอดภัยของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติที่ได้ช่วยแนะนำอุปกรณ์หลายชิ้นที่สามารถจัดหาได้ในประเทศมาใช้กับเครื่องทดสอบ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1]. Lathabai S., Materials Forum, 1995, 19, 101-106.
- [2]. Saewong P., Erosion of Glass and Glass-Ceramics Matrix Composites; Ph.D. thesis, Imperial College, UK, 1998.
- [3]. Bell J.F., Erosion resistance and development of glass ceramics; Ph.D. thesis, Imperial College, UK, 1982.
- [4]. Tilly G.P. and Sage W., Wear, 1970, 16, 447-465.
- [5]. Krishnamoorthy P.R., Seetharamu S., Sampathkumaran P.; Wear, 1993, 165, 151-157.
- [6]. Shipway P.H. and Hutchings I.M., Wear, 1994, 174, 1-2, 169-175.