บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (N) ในการศึกษานี้ใช้การคำนวณจากสมการที่ 1 ซึ่งค่าความแปรปรวน (σ^2) คำนวณจากสมการที่ 2 โดยเลือกข้อมูลในกลุ่ม 1 และ 3 จากการศึกษาของ Suansuwan and Swain (2003) มาคำนวณ

$$N = \frac{2\sigma^2(Z_{\alpha/2} + Z_\beta)}{(\mu_1 - \mu_2)^2} \qquad \text{สมการที่ 1}$$

$$\sigma^2 = \frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)} \qquad \text{สมการที่ 2}$$

ค่าต่าง ๆ ในสมการที่ 1 และ 2 มีความหมายดังนี้

$Z_{\alpha/2}$	= 1.96, at α error = 0.05
Z_β	= 1.645, at β error = 0.20 and power of test at 80%
μ_1, μ_2	= ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างจากการศึกษาที่เลือกไว้
n_1, n_2	= ขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากการศึกษาที่เลือกไว้
σ_1, σ_2	= ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการศึกษาที่เลือกไว้

แทนค่าในสมการที่ 2 ได้ค่า σ^2 ดังนี้

$$\sigma^2 = \frac{(12 - 1)\,2.4^2 + (12 - 1)\,3.6^2}{(12 - 1) + (12 - 1)}$$

$$= 9.36$$

และแทนค่าในสมการที่ 1 ได้ค่า N ดังนี้

$$N = \frac{2(9.36)\,(1.96 + 1.645)}{(16.7 - 12.9)^2}$$

$$N = \frac{67.4856}{14.44}$$

$$N = 4.67$$

จากการคำนวณค่าขนาดของกลุ่มตัวอย่าง โดยมีค่าความเชื่อมั่นที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และมีค่า power of test = 0.80 คำนวณได้กลุ่มละไม่น้อยกว่า 5 ตัวอย่าง แต่เนื่องจากการทดลองมีขั้นตอนที่ซับซ้อนมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนได้ จึงได้ปรับขนาดกลุ่มตัวอย่างเป็นกลุ่มละ 10 ตัวอย่าง

2. วัสดุสำหรับใช้ในการเตรียมชิ้นทดลอง

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทำชิ้นทดลอง

2.1.1 ไทเทเนียมบริสุทธิ์ (Commercially pure titanium, J3) ผลิตภัณฑ์ของ บริษัท J. Morita Corporation ประเทศญี่ปุ่น

2.1.2 อินเวสต์เมนต์สำหรับไทเทเนียมชนิดอะลูมินา-แมกนีเซีย ส่วนผสมที่เป็นผงยี่ห้อ Titavest CB และส่วนผสมที่เป็นน้ำยายี่ห้อ Titavest Spinel ผลิตภัณฑ์ของบริษัท J. Morita Corporation ประเทศญี่ปุ่น

2.1.3 พอร์ซเลนชนิดเผาที่อุณหภูมิต่ำ ได้แก่ ผงสารยึด (bonder powder), ผงโอเพค (opaque powder), และผงเดนทีน (dentin powder) ยี่ห้อ Vita Titankeramik ผลิตภัณฑ์ของบริษัท Vita Zahnfabrick ประเทศเยอรมนี

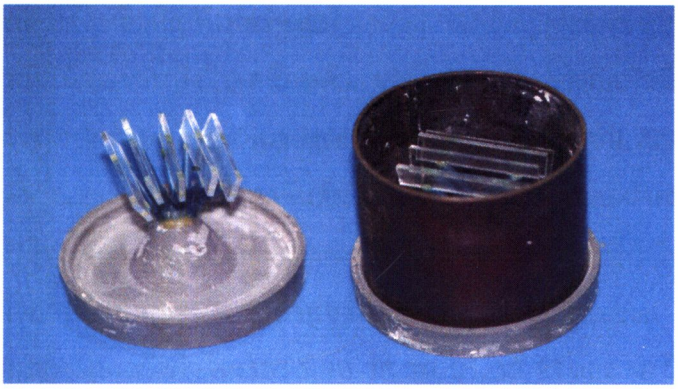
2.2 วัสดุที่ใช้ในการปรับผิวไทเทเนียม

2.2.1 ผงอะลูมินา (alumina powder) ขนาด 110 ไมครอน สำหรับเป่าผิวไทเทเนียม

2.2.2 สารกัดผิวไทเทเนียม เป็นสารละลายที่มีส่วนผสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) เข้มข้น 30% 60 มิลลิลิตร, กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) เข้มข้น 40% 10 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร

3. การเตรียมชิ้นเหวี่ยงไทเทเนียม

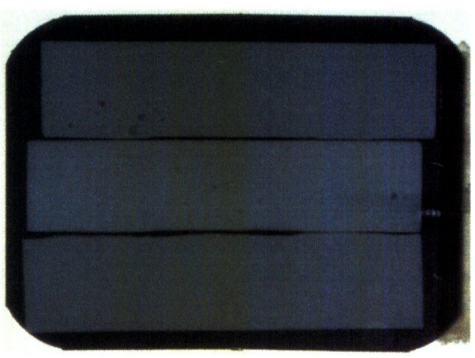
เตรียมแบบชิ้นงานด้วยแผ่นพลาสติกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 35 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร จำนวน 40 ชิ้น นำไปติดกับฐานของวงแหวนสำหรับการหล่อแบบ (casting ring) ด้วยขี้ผึ้งเพื่อเตรียมทำเบ้าหล่อทนไฟ (ภาพที่ 1)



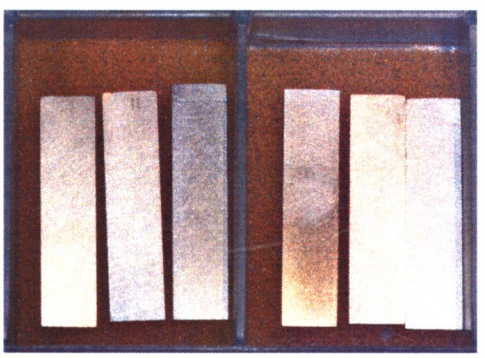
ภาพที่ 1 แบบชิ้นงานยึดติดกับฐานของวงแหวนสำหรับการหล่อแบบก่อนนำไปทำเบ้าหล่อทนไฟ

จากนั้นนำไปหล่อแบบด้วยอินเวสต์เมนต์สำหรับการเหวี่ยงโลหะไทเทเนียม โดยใช้อัตราส่วนของผง 100 กรัม ต่อน้ำยา 13.5 มิลลิลิตร ตามที่บริษัทกำหนด เมื่ออินเวสต์เมนต์ก่อตัวสมบูรณ์ ถอดฐานวงแหวนออกนำไปเข้าเตาเผา เริ่มเผาตั้งแต่ที่อุณหภูมิห้องจนถึง 860 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และเผาที่อุณหภูมิคงที่ 860 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิลงมาจนถึง 650 องศาเซลเซียสและคงอุณหภูมิที่ช่วงนี้เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นนำไปเหวี่ยงไทเทเนียมด้วยเครื่องเหวี่ยงโลหะไทเทเนียม (Cyclarc II, J. Morita Corp., ประเทศญี่ปุ่น) ตามโปรแกรมอัตโนมัติตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

เมื่อเบ้าหล่อทนไฟเย็นตัวลง นำไปแยกชิ้นไทเทเนียมออกจากอินเวสต์เมนต์ นำชิ้นงานมาเป่าทรายเพื่อทำความสะอาดผิวด้วยผงอะลูมินาขนาด 110 ไมครอนในเครื่องเป่าทราย ตัดแยกชิ้นเหวี่ยงออกจากส่วนฐานด้วยแผ่นคาร์โบรันดัม นำชิ้นเหวี่ยงที่ได้ไปถ่ายภาพรังสีเพื่อคัดเลือกชิ้นงานที่ไม่มีรูพรุนภายใน (ภาพที่ 2) ขัดแต่งผิวไทเทเนียมให้เรียบด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 80, 150, 320, 400 ตามลำดับ โดยใช้เครื่องขัด (Ecomet 3, Buehler, ประเทศเยอรมนี) ชิ้นเหวี่ยงไทเทเนียมที่ได้มีขนาดกว้าง 8 มิลลิเมตร ยาว 35 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร (ภาพที่ 3)



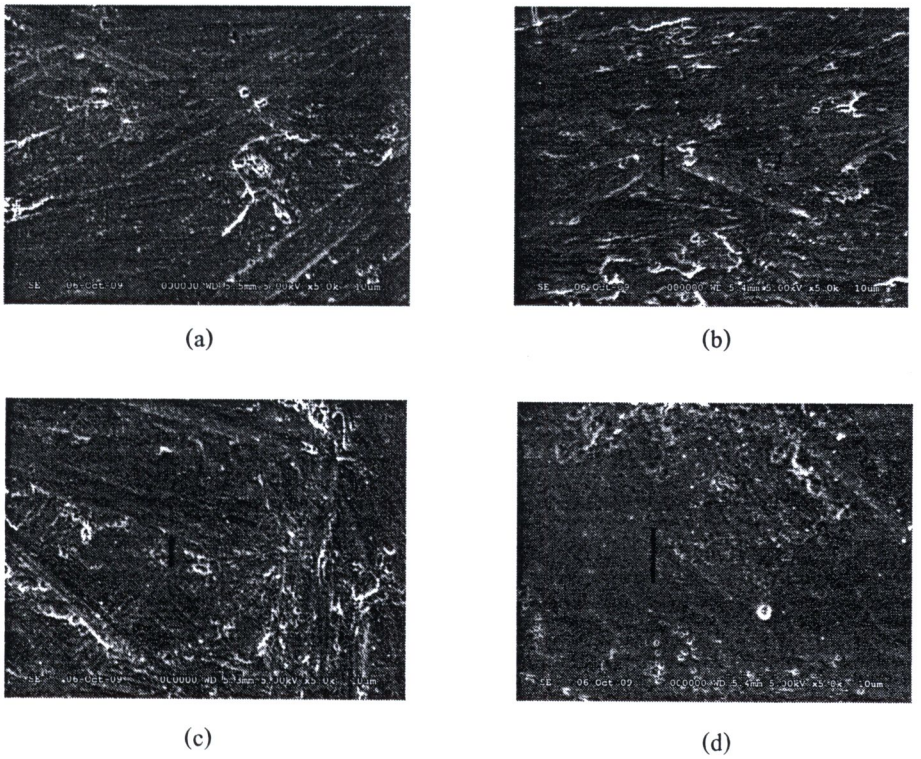
ภาพที่ 2 ภาพถ่ายรังสีชิ้นเหวี่ยงไทเทเนียม



ภาพที่ 3 ชิ้นเหวี่ยงไทเทเนียมที่ขัดแต่งแล้ว

4. การเตรียมผิวไทเทเนียมก่อนยึดติดกับพอร์ซเลน

การเตรียมผิวไทเทเนียมก่อนนำไปเคลือบด้วยพอร์ซเลน เป็นการกัดผิวด้วยสารกัดผิวซึ่งเป็นส่วนผสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) ความเข้มข้น 30% 60 มิลลิลิตร, กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) ความเข้มข้น 40% 10 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ซึ่งได้ทำการทดลองกัดผิวไทเทเนียมในระยะเวลาแตกต่างกันเพื่อหาระยะเวลาที่ทำให้ได้ผิวที่ขรุขระสม่ำเสมอ โดยตรวจดูด้วยกล้องอิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า ทำการทดลองกัดผิวในเวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 วินาที และพบว่าที่ระยะเวลา 30 วินาทีพื้นผิวไทเทเนียมมีลักษณะรูพรุนเล็กสม่ำเสมอทั่วบริเวณที่ทาสารกัดผิว ส่วนที่ระยะเวลาน้อยกว่า 30 วินาทีจะมีลักษณะรูพรุนพบได้น้อยและเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาที่มากขึ้นแต่ยังไม่สม่ำเสมอทั่วบริเวณ ส่วนที่ระยะเวลามากกว่า 30 วินาทีจะมีลักษณะรูพรุนลดน้อยลงพื้นผิวเรียบมากขึ้น การทดลองนี้จึงเลือกใช้เวลาทาสารกัดผิวนาน 30 วินาที (ภาพที่ 4 a-h)

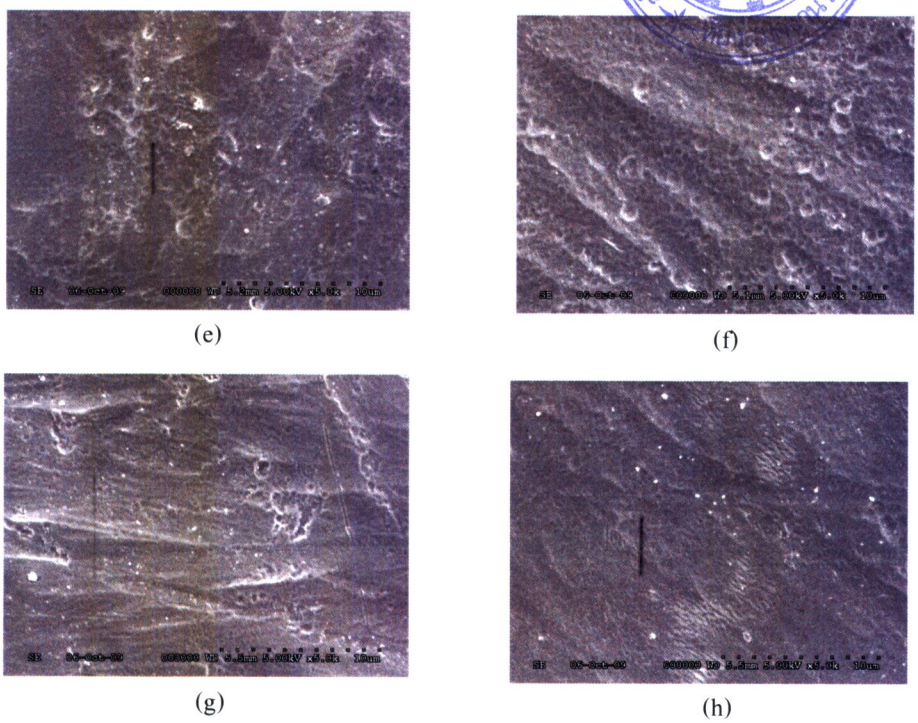


(a) (b)

(c) (d)

ภาพที่ 4 ลักษณะพื้นผิวไทเทเนียมที่กำลังขยาย 5000 เท่า ภายหลังการทาสารกัดผิวนาน 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 วินาที (a-h) ตามลำดับ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

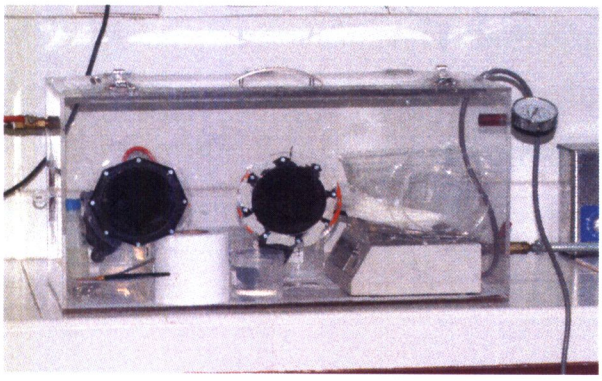


(e) (f)

(g) (h)

ภาพที่ 4 ลักษณะพื้นผิวไทเทเนียมที่กำลังขยาย 5000 เท่า ภายหลังการทาสารกัดผิวนาน 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 วินาที (a-h) ตามลำดับ

การเตรียมผิวไทเทเนียมก่อนนำไปเคลือบด้วยพอร์ซเลน ได้ออกแบบให้ใช้การกัดผิวดังกล่าวแล้วข้างต้นและเพื่อเป็นการป้องกันการเกิดชั้นออกไซด์ที่ผิวไทเทเนียมมากเกินไปจึงได้สร้างสภาวะอาร์กอนเพื่อใช้ในขั้นตอนนี้ โดยออกแบบสภาวะอาร์กอนในกล่องขนาดประมาณกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ทำด้วยพลาสติกใส มีช่องด้านหน้าสำหรับสอดมือเข้าไปทำงานได้ 2 ช่อง (ภาพที่ 5) ก่อนใช้งานจะเปิดปั๊มดูดอากาศภายในออกทางวาล์วด้านหนึ่ง จากนั้นจึงเปิดวาล์วที่ควบคุมกาซอาร์กอนให้กาซเข้าทางวาล์วปิด-เปิดอีกด้านหนึ่งของกล่องเป็นเวลาประมาณ 20 นาที



ภาพที่ 5 กล่องพลาสติกใสบรรจุกาซอาร์กอนสำหรับเตรียมผิวไทเทเนียม

นำชิ้นไทเทเนียมทั้งหมดมากัดผิวด้วยสารกัดผิวที่เตรียมไว้โดยทำในสภาวะอาร์กอน หลังกัดผิวนาน 30 วินาทีล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปเป่าด้วยผงอะลูมินาขนาด 110 ไมครอนโดยใช้กาซอาร์กอนแทนลมปกติธรรมดาที่ความดัน 3 บาร์ ล้างฝุ่นผงด้วยน้ำกลั่นแล้วทำความสะอาดชิ้นงานด้วยการเขย่าในเครื่องเขย่าความถี่สูงเป็นเวลา 10 นาทีทิ้งให้แห้ง ผสมผงสารยึดพอร์ซเลนกับน้ำกลั่นทาที่ผิวไทเทเนียมให้เป็นฟิล์มบางๆ ทิ้งไว้ให้แห้งเพื่อเตรียมเผาในขั้นตอนต่อไป

5. การสร้างชั้นวีเนียร์พอร์ซเลน

หลังจากผ่านขั้นตอนการเตรียมผิวของชิ้นไทเทเนียมและทาสารยึดแล้ว แบ่งชิ้นไทเทเนียมออกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 10 ชิ้นโดยวิธีการสุ่ม

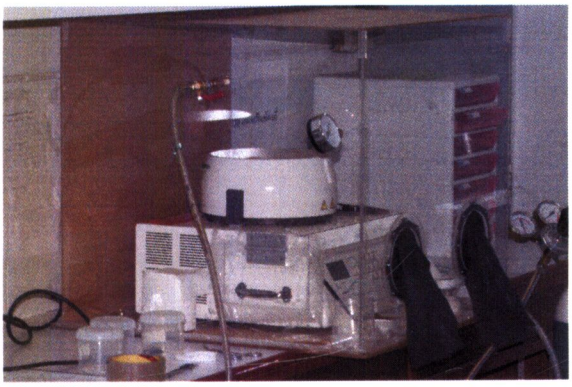
กลุ่มที่ 1 นำไปเผาภายใต้บรรยากาศปกติในเตาเผาพอร์ซเลน (Programmat® P100 furnace, Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein) จากนั้น สร้างชั้นพอร์ซเลนตามลำดับคือชั้นโอเพคและเดนทีนพอร์ซเลนและเผาในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิตามที่บริษัทกำหนด (ตารางที่ 3)

กลุ่มที่ 2 นำไปเผาภายใต้บรรยากาศอาร์กอนโดยการติดตั้งเตาเผาในกล่องพลาสติกใสที่บรรจุกาซอาร์กอน (ภาพที่ 6) จากนั้นสร้างชั้นโอเพคและเดนทีนพอร์ซเลนและเผาที่อุณหภูมิตามที่บริษัทกำหนดในบรรยากาศปกติ

กลุ่มที่ 3 นำไปเผาและสร้างชั้นโอเพคพอร์ซเลนและเผาภายใต้บรรยากาศอาร์กอน จากนั้นสร้างชั้นเดนทีนพอร์ซเลนและเผาในบรรยากาศปกติ

กลุ่มที่ 4 นำไปเผาและสร้างชั้นพอร์ซเลนและเผาภายใต้บรรยากาศอาร์กอนทุกขั้นตอน

สำหรับการสร้างชั้นพอร์ซเลนนั้น ชิ้นไทเทเนียมของทุกกลุ่มสร้างชั้นโอเพคพอร์ซเลนโดยทาเป็นชั้นบาง ๆ ทับบนชั้นสารยึดโดยทาให้ปิดสีโลหะทั้งหมดปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง นำเข้าเตาเผาพอร์ซเลนและเผาตามอุณหภูมิที่ผู้ผลิตกำหนด จากนั้นสร้างชั้นเดนทีนพอร์ซเลนคลุมชั้นโอเพคโดยตลอด เผาชั้นเดนทีนพอร์ซเลนตามอุณหภูมิที่ผู้ผลิตกำหนดซึ่งจำนวนครั้งการเผาทุกชิ้นจะเท่ากันคือ 5 ครั้ง และชั้นพอร์ซเลนเมื่อผ่านการเผาแล้วทั้งหมดมีความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร สำหรับการเผาในบรรยากาศอาร์กอนทำโดยสร้างสภาวะอาร์กอนในกล่องขนาดประมาณกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร ทำด้วยพลาสติกใส มีช่องด้านหน้าสำหรับสอดมือเข้าไปทำงานได้ 2 ช่อง ก่อนใช้งานจะเปิดปั๊มดูดอากาศภายในออกทางวาล์วด้านหนึ่ง จากนั้นจึงเปิดวาล์วที่ควบคุมกาซอาร์กอนให้กาซเข้าทางวาล์วปิด-เปิดอีกด้านหนึ่งของกล่องเป็นเวลาประมาณ 20 นาที

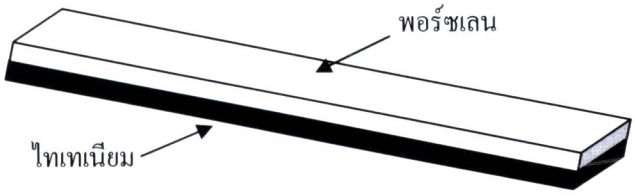


ภาพที่ 6 เตาเผาพอร์ซเลนในกล่องพลาสติกใสเพื่อสร้างสภาวะอาร์กอนขณะเผา

ตารางที่ 3 อุณหภูมิและระยะเวลาในการเผาพอร์ซเลนชั้นสารยึด ชั้นโอเพค และชั้นเดนทีน

โปรแกรมการเผา	อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)	ระยะเวลาอุณหภูมิคงที่ (นาที)	ระยะเวลาอุณหภูมิเพิ่มขึ้น (นาที)	อัตราอุณหภูมิเพิ่มขึ้น °C/นาที	อุณหภูมิสิ้นสุด	ระยะเวลาอุณหภูมิคงที่ (นาที)	สุญญากาศ (นาที)
สารยึด	400	6.00	6.00	67	800	1.00	6.00
โอเพค	400	2.00	4.00	98	790	1.00	5.00
เดนทีน	400	6.00	7.00	56	780	1.00	8.00

หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปขัดโดยรอบเพื่อให้ได้ลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ภาพที่ 7) ที่มีขนาดกว้าง 8 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร แต่ละด้านมีความขนานกัน มีทุกมุมเป็นมุมฉากและมีผิวเรียบ โดยขัดด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 120, 320, 400 และ 800 ตามลำดับ บนเครื่องขัด (Ecomet 3, Buehler, ประเทศเยอรมนี)



ภาพที่ 7 รูปวาดแสดงลักษณะชิ้นทดลองที่ประกอบด้วยแผ่นไทเทเนียมยึดติดกับพอร์ซเลน ภายหลังการขัดแต่งให้ได้รูปร่างและขนาดที่ต้องการ

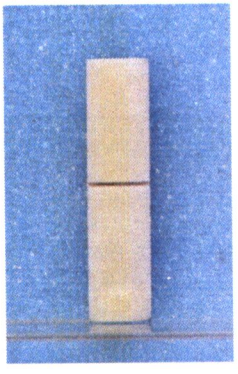
6. การเตรียมชิ้นทดลองก่อนการทดสอบ

การวัดขนาดชิ้นทดลอง

นำชิ้นทดลองที่ได้ขัดเรียบร้อยแล้วมาวัดขนาด ด้วยกล้องจุลทรรศน์สำหรับวัดระยะทาง (stereomicroscope) โดยวัดความกว้างของชิ้นทดลอง วัดความหนาของชั้นพอร์ซเลนและชั้นไทเทเนียม ในการวัดแต่ละค่าทำการวัด 3 ตำแหน่งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ทำการบันทึกเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณค่า Strain energy release rate (G value) ต่อไป

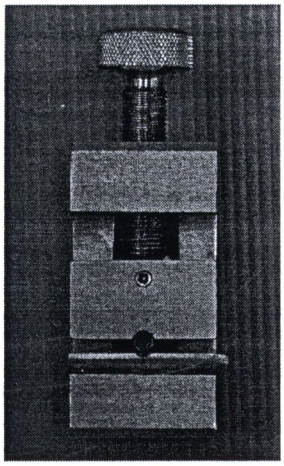
การทำรอยบาก (notch) และรอยเริ่มแตก (pre-crack)

นำชิ้นทดลองมาทำรอยบาก (notch) โดยใช้ Rotary diamond-cutting blade ของเครื่องตัด Isomet 1000 (Buehler, ประเทศเยอรมนี) หมุนด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาที กรอตัดชั้นพอร์ซเลนบริเวณกึ่งกลางชิ้นทดลอง ตลอดตามแนวขวางให้เกิดเป็นร่องลึกจนถึงชั้นโลหะและกว้างประมาณ 0.4 มิลลิเมตร (ภาพที่ 8,9) ใช้น้ำมันก๊าดหล่อขณะตัดแทนน้ำเพื่อป้องกันการเกิด stress corrosion ในส่วนพอร์ซเลนซึ่งจะทำให้เกิดรอยแยกได้ง่ายขึ้นหรือความต้านทานต่อการแตกหักของพอร์ซเลนลดลง (Suansuwan, Swain, 2003) หลังจากนั้นนำไปทำรอยเริ่มแตก (pre-cracked) โดยใช้ bending jig (ภาพที่ 10) ดัดชิ้นทดลองโดยใช้แผ่นยางรองชิ้นทดลอง แล้วหมุนสกรูทีละน้อยจนกระทั่งเกิดรอยแยกระหว่างชั้นพอร์ซเลนกับชั้นไทเทเนียม



ภาพที่ 8 รอยบากบนชั้นพอร์ซเลนตามแนวขวางของชิ้นทดลอง

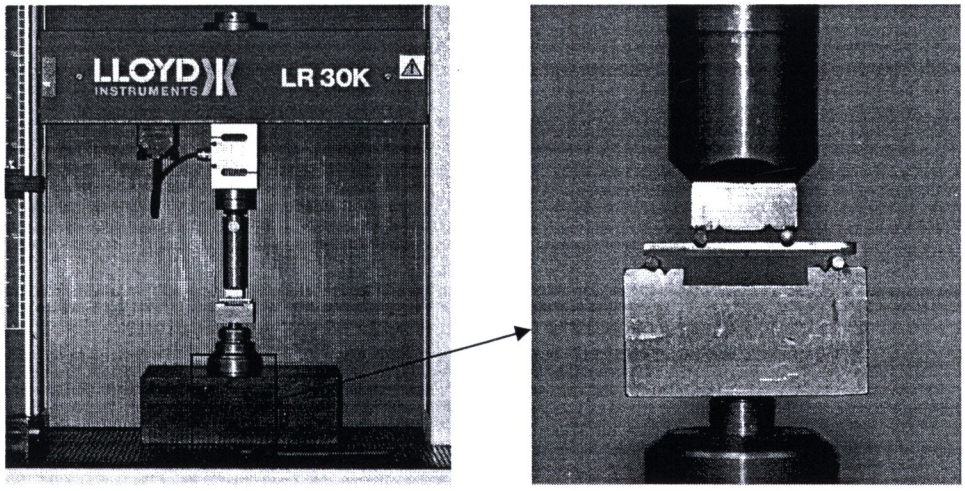
ภาพที่ 9 รอยบากพอร์ซเลนลึกถึงชั้นโลหะ



ภาพที่ 10 อุปกรณ์สำหรับทำรอยเริ่มแตก (bending jig)

7. การทดสอบชิ้นทดลอง

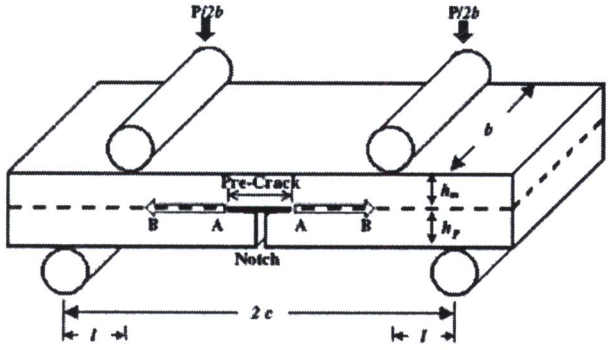
นำชิ้นทดลองไปทดสอบในลักษณะกดดัด 4 จุด (four-point bending) ในเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine, model LR30K, Lloyd, U.K.) โดยให้พอร์ซเลนอยู่ด้านล่างและรอยบากอยู่ตรงกลางระหว่างแท่งกลมของตัวกด โดยแท่งกลมตัวกดคู่ใน (inner rollers) มีระยะห่างกัน 14 มิลลิเมตรและแท่งกลมตัวกดคู่นอก (outer rollers) มีระยะห่างกัน 30 มิลลิเมตร ให้มีแรงกระทำต่อชิ้นทดลองจากการเคลื่อนที่ของหัวกดด้วยอัตราความเร็ว (crosshead speed) 0.1 มิลลิเมตรต่อนาที ให้เกิดรอยแยกขยายกว้างออกไปจนกระทั่งถึงแท่งกลมด้านใน ทำการบันทึกค่าแรงที่ใช้และระยะทางของหัวกดจากเครื่องเพื่อนำไปคำนวณหาค่า Strain energy release rate (G value) (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 ชิ้นทดลองที่วางในตำแหน่งพร้อมทดสอบบนอุปกรณ์การกดดัด 4 จุด ซึ่งประกอบอยู่ในเครื่องทดสอบสากล

8. การคำนวณค่าการยึดติดระหว่างไทเทเนียมกับพอร์ซเลนในรูปของค่า *G*

นำข้อมูลการทดสอบตามข้อ 7 ไปอ่านค่าแรงที่คงที่เป็นแนวราบ หน่วยเป็นนิวตัน (N) และนำข้อมูลการวัดขนาดส่วนต่าง ๆ ของชิ้นงานตัวอย่างในข้อ 6.1 ไปคำนวณค่าการยึดติดระหว่างไทเทเนียมกับพอร์ซเลนในรูปของค่า *G* (strain energy release rate) (Charalambides, Lund, Evans, & Mcmeeking, 1989) ตามสมการที่ 3, 4 และ 5 และภาพที่ 12 เป็นแผนภาพแสดงการจัดชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการทดสอบชนิดการกดดัด 4 จุด พร้อมสัญลักษณ์ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ



ภาพที่ 12 แผนภาพแสดงการจัดชิ้นทดลองสำหรับการทดสอบชนิดการกดดัด 4 จุด พร้อมสัญลักษณ์ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ

$$G = \frac{\eta\left(P^2 l^2 \left(1 - v_m^{\,2}\right)\right)}{E_m b^2 h^3} \qquad \text{สมการที่ 3}$$

P หมายถึง ค่าแรงที่ได้จากการทดสอบ

l หมายถึง ค่าระยะทางระหว่างจุดกดคู่ในกับจุดกดคู่นอก ในแต่ละเส้น

v_m หมายถึง ค่าอัตราส่วนของปัวซอง (Poisson's ratio) ของไทเทเนียม

E_m หมายถึง ค่าอิลาสติกมอดุลัส (Elastic modulus) ของไทเทเนียม

b หมายถึง ความกว้างของชิ้นทดลอง

h หมายถึง ความหนาทั้งหมดของชิ้นทดลอง

η หมายถึง ค่าคงที่ได้จากการคำนวณ ดังสมการที่ 4

$$\eta = \frac{3}{2}\left\{\frac{1}{\left(\frac{h_m}{h}\right)^3} - \left(\frac{\lambda}{\left(\frac{h_p}{h}\right)^3 + \lambda\left(\frac{h_m}{h}\right)^3 + 3\lambda\left(\frac{h_p h_m}{h}\right)\left(\frac{h_p}{h} + \frac{\lambda h_m}{h}\right)^{-1}}\right)\right\} \quad \text{สมการที่ 4}$$

h_m หมายถึง ความหนาของชั้นไทเทเนียมของชิ้นทดลอง

h_p หมายถึง ความหนาของชั้นพอร์ซเลนของชิ้นทดลอง

h หมายถึง ความหนาทั้งหมดของชิ้นทดลอง

λ หมายถึง ค่าคงที่ ได้จากการคำนวณ ดังสมการที่ 5

$$\lambda = \frac{E_m(1-\nu_p^2)}{E_p(1-\nu_m^2)} \quad \text{สมการที่ 5}$$

E_m หมายถึง ค่าอิลาสติกมอดุลัส (Elastic modulus) ของไทเทเนียม

E_p หมายถึง ค่าอิลาสติกมอดุลัส (Elastic modulus) ของพอร์ซเลน

ν_m หมายถึง ค่าอัตราส่วนของปัวซอง (Poisson's ratio) ของไทเทเนียม

ν_p หมายถึง ค่าอัตราส่วนของปัวซอง (Poisson's ratio) ของพอร์ซเลน

9. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลค่า G ที่ได้คำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่มแล้วไปวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมสถิติ SPSS (SPSS program for windows version 11.5) เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่า G ของการยึดติดระหว่างพอร์ซเลนกับไทเทเนียมด้วย One-way analysis of variance (One-way ANOVA) ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 % ($P<0.05$) และทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มเป็นคู่ (Multiple comparison) ด้วย Bonferroni test โดยผ่านข้อตกลงดังนี้

- กลุ่มตัวอย่างที่ใช้แต่ละกลุ่มจะต้องเป็นอิสระกัน
- กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทดสอบในแต่ละกลุ่มจะต้องมีการแจกแจงแบบปกติซึ่งทำการทดสอบโดยใช้ Shapiro-Wilk test
- กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจะต้องมีความแปรปรวนไม่แตกต่างกันซึ่งทำการทดสอบโดยใช้ Levene's test

10. การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (scanning electron microscope)

สุ่มเลือกชิ้นทดลองที่ผ่านการทดสอบด้วยการกดดัด 4 จุดแล้วจากทั้ง 4 กลุ่ม ๆ ละ 1 ชิ้น นำไปหล่อแบบในอีพ็อกซีเรซิน (epoxy resin) ในลักษณะตั้งให้ด้านข้างของชิ้นทดลองอยู่ด้านบน เมื่อเรซินแข็งตัวนำไปขัดเรียบด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 400, 600, 1000 และ 1200 บนเครื่องขัดตามลำดับ แล้วนำไปส่องบริเวณรอยแยกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope, Hitachi S-3000N, โอซากา, ประเทศญี่ปุ่น)