

บทที่ 2

วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง

การทำงานทันตกรรมจัดฟัน โดยเครื่องมือชนิดติดแน่นสิ่งที่จำเป็นคือ การยึดเครื่องมือให้ติดอยู่กับฟันได้ตลอดการรักษา แบริกเกตจะยึดกับฟันทุกซี่ที่ต้องการเคลื่อนที่ด้วยวิธีการยึดโดยตรง โดยผิวฟันจะผ่านการใช้กรดกัด เพื่อปรับสภาพผิวฟันให้เหมาะกับวัสดุที่จะติดคือ เรซิน ทั้งนี้มีผู้ป่วยจำนวนมากที่ใส่ครอบฟันหรือสะพานฟันชนิดติดแน่น และจำเป็นต้องรับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน การติดแบร็กเกตบนฟอร์ซเลนด้วยวิธีการยึดโดยตรงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าการติดแบร็กเกตกับปลอกโลหะแล้วยึดกับครอบฟันด้วยซีเมนต์ โดยเฉพาะในสะพานฟันชนิดติดแน่น หรือฟันหน้า มีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้องกับการยึดระหว่างแบร็กเกตกับเรซิน และฟอร์ซเลน ซึ่งมีผลเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้

การติดแน่น (Adhesion)

Buonocore (1975) กล่าวว่า การติดแน่นเป็นภาวะที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำสตุต่างชนิดมาสัมผัสกัน วัสดุจะยึดติดกันได้โดยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่พื้นผิวของวัสดุทั้งสองชนิด

Lee และ Orłowski (1974) แบ่งกลไกการติดแน่นเป็น 2 แบบ คือ

1. การติดแน่นเชิงกล (Mechanical adhesion)

1.1 การยึดด้วยผลเชิงเรขาคณิต (Geometrical effect)

1.2 การยึดด้วยผลของรีโอโลจิก (Rheological effect)

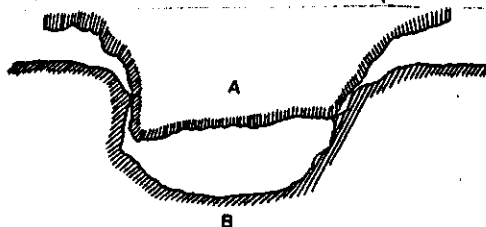
2. การติดแน่นเชิงเคมี (Chemical adhesion)

2.1 การยึดด้วยแรงวาเลนซ์ปฐมภูมิ (Primary Valence force)

2.2 การยึดด้วยแรงวาเลนซ์ทุติยภูมิ (Secondary Valence force)

1. การติดแน่นเชิงกล

1.1 การยึดด้วยผลเชิงเรขาคณิต คือ การยึดติดของวัสดุที่เกิดจากรูพรุนขนาดเล็กหรือความหยาบที่พื้นผิว ทำให้เกิดการเกาะเกี่ยวเชิงกล (mechanical hooking)



รูปที่ 1 แสดงการยึดด้วยผลเชิงเรขาคณิต

จาก Lee and Orłowski; Adhesive Dental Composite Restorative, 1974.

1.2 การยึดด้วยผลของรีโอโลจิก คือ การยึดที่มีผลจากการหดตัวของวัสดุ เกิดจากวัสดุซึ่งอยู่ในภาวะของเหลวหรือของแข็ง ไหลไปตามส่วนยื่นของพื้นผิว เมื่อวัสดุแข็งจะมีการหดตัว และเกิดการเกาะเกี่ยวเชิงกลอย่างแน่นหนา เรียกว่า "shrink fit"



รูปที่ 2 แสดงผลของรีโอโลจิกซึ่งทำให้เกิดการติดแน่นจากการหดตัวของวัสดุ จาก Lee and Orlowski; Adhesive Dental Composite Restorative, 1974.

2. การติดแน่นเชิงเคมี (Chemical adhesion)

Buonocore (1975), Combe (1986) และ Noort (1994) แบ่งการยึดเชิงเคมีเป็น 2 ชนิด คือ

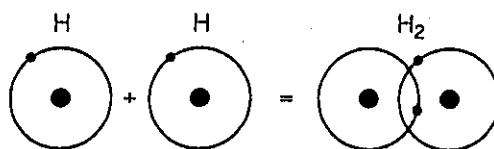
2.1 การยึดด้วยแรงวาเลนซ์ปฐมภูมิ เกิดขึ้นเมื่อน้ำอะตอมมาเชื่อมกัน ให้เกิดเป็นโมเลกุล พันธะระหว่างอะตอมมี 3 ชนิด คือ

2.1.1 พันธะไอออนิก (ionic bonds) เกิดจากการย้ายอิเล็กตรอนจากอะตอมหนึ่งไปยังอะตอมอื่น เช่น ปฏิกิริยาของโซเดียมกับคลอรีน ดังสมการ



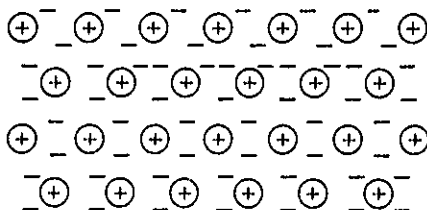
ทั้ง Na^+ กับ Cl^- ซึ่งมีประจุตรงข้ามกัน จะมีแรงดึงดูดระหว่างกันอย่างมาก เซรามิกเป็นตัวอย่างหนึ่งของของแข็งที่ยึดด้วยพันธะไอออนิก

2.1.2 พันธะโควาเลนต์ (covalent bonds) เป็นพันธะที่ไม่ซับซ้อนแต่แข็งแรงมาก เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันของอะตอม เช่น H_2 , CH_4 อินทรีย์สารทั้งหมดจะเป็นพันธะโควาเลนต์ของอะตอมคาร์บอน



รูปที่ 3 แสดงการยึดของไฮโดรเจนสองอะตอมด้วยพันธะโควาเลนต์ จาก Noort; Introduction to Dental Materials, 1994.

2.1.3 พันธะโลหะ (metallic bonds) คือ การที่อะตอมของโลหะมีแนวโน้มจะเสียอิเล็กตรอนวงนอกสุดได้ง่าย ทำให้เกิดประจุบวก และจะถูกล้อมรอบด้วยกลุ่มของอิเล็กตรอนอิสระซึ่งสามารถเคลื่อนจากอะตอมหนึ่งไปสู่อีกอะตอมได้ ทำให้โลหะนำความร้อนและนำไฟฟ้า

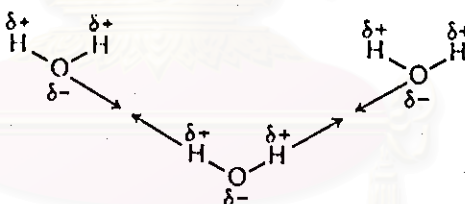


รูปที่ 4 แผนภาพแสดงพันธะโลหะ จาก Combe; Notes on Dental Materials, 1986.

2.2 การยึดด้วยแรงวาเลนซ์ทุติยภูมิ

เป็นผลตามของการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน โดยนิวเคลียสของอะตอม (atomic nuclei) ปลายของโมเลกุลข้างหนึ่งมีประจุบวกอย่างอ่อน ในขณะที่ปลายอีกด้านจะมีประจุลบเล็กน้อย ทำให้เกิดความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้า เรียกว่า อิเล็กตริก ไดโพล (electric dipole) ซึ่งไดโพลนี้ทำให้เกิดปฏิกริยาระหว่างโมเลกุลได้ แต่เป็นแรงยึดที่ไม่แข็งแรง เรียกว่า แรงแวนเดอวาลส์ (Van der Waal's force) ซึ่งจะน้อยกว่าแรงวาเลนซ์ปฐมภูมิ

แรงยึดระหว่างไดโพลมีชนิดพิเศษ คือ พันธะไฮโดรเจน ซึ่งมีค่าระหว่างการยึดเชิงกลและการยึดเชิงเคมี ได้แก่ โมเลกุลของน้ำ โดยออกซิเจนซึ่งมีประจุลบจะดึงดูดไฮโดรเจนที่มีประจุบวกของโมเลกุลอื่น



รูปที่ 5 แสดงการยึดของโมเลกุลน้ำ จาก Combe; Notes on Dental Materials, 1986.

ปัจจัยที่มีผลต่อการยึดติด

1. คุณสมบัติของพื้นผิวที่ต้องการยึดติด (Surface properties)

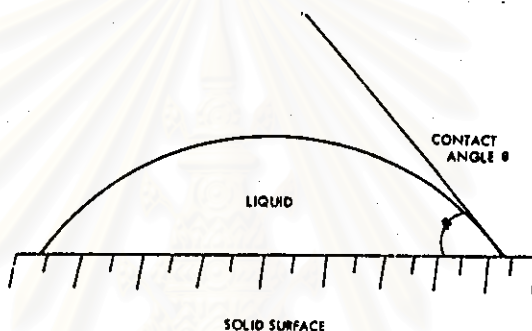
Buonocore (1975) กล่าวถึงเหตุผลที่พื้นผิวขรุขระ (surface roughness) ทำให้มีแรงยึดกับวัสดุเพิ่มขึ้น โดยมีพื้นผิวในการสัมผัสกับวัสดุยึดเพิ่มขึ้น, ด้านทานต่อแรงเฉือน และช่วยเพิ่มการยึดแบบเชิงกล

Combe (1986) กล่าวว่า ความขรุขระของพื้นผิวทำให้วัสดุมีกำลังแรงยึดเพิ่มขึ้น แต่อาจมีผลตามคือ มีการกักอากาศ ซึ่งเป็นการลดบริเวณสัมผัสระหว่างวัสดุยึดและพื้นผิวได้ อย่างไรก็ตามหากพื้นผิวที่ขรุขระถูกทำให้เปียกจะเพิ่มพื้นที่สัมผัสและทำให้มีแรงยึดที่ดีขึ้น

แรงยึดพื้นผิวเช่นแรงแวนเดอวาลส์ แม้ว่าจะน้อยกว่าแรงวาเลนซ์ปฐมภูมิ เช่น พันธะไอออนิกหรือพันธะโควาเลนต์ แต่มีขนาดที่เพียงพอต่อการยึดติด อย่างไรก็ตามแรงแวนเดอวาลส์จะลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้ามีระยะห่างจากกันมาก ดังนั้นควรมีการทาสารยึดที่เหลว เพื่อให้มีการไหลไปเชื่อมบนพื้นผิวขรุขระ และวัสดุยึดต้องเปลี่ยนภาวะจากของเหลวเป็นของแข็งได้ เพื่อให้มีความแข็งในตัววัสดุยึดเองและ ให้ได้การยึดเชิงกลที่แข็งแรง

2. การทำให้พื้นผิวเปียก

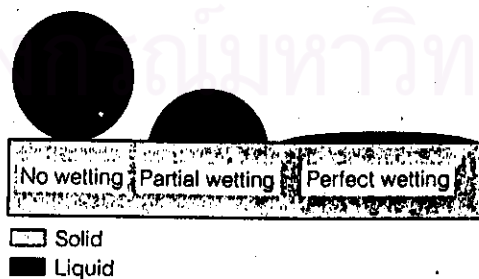
การดูดซับของเหลวบนพื้นผิวแข็งเกิดเมื่อของเหลวนั้นทำให้พื้นผิวเปียก คุณสมบัติดังกล่าววัดได้จาก มุมสัมผัสของหยดของเหลวบนพื้นผิว ซึ่งขึ้นกับพลังงานที่พื้นผิวของของแข็งและความตึงผิวของของเหลว วัสดุที่มีพลังงานอิสระที่พื้นผิวดำ (low free surface energy หรือ critical surfaces tension) จะทำให้เปียกได้ยาก การเพิ่มพลังงานพื้นผิวทำได้หลายวิธี สำหรับเคลือบฟันทำได้โดยการใช้กรดกัด



รูปที่ 6 แสดงมุมสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลว

จาก Lee and Orłowski; Adhesive Dental Composite Restoratives, 1974.

ถ้าของเหลวมีแรงตึงผิวต่ำจะได้มุมสัมผัสต่ำลงไปด้วย ทำให้พื้นผิวเปียกสูง ถ้ามุมสัมผัสเป็น 0 องศา นับว่าเป็นค่าที่มีการดูดซับได้ดีมาก การมีมุมสัมผัสมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดของวัสดุยึด มุมสัมผัสทำให้น้อยลงได้โดยผสมวัสดุยึดด้วยตัวละลายที่มีแรงตึงผิวต่ำ ดังนั้นทางทันตกรรม วัสดุยึดที่มีวัสดุอัดแทรกมาก จะมีความหนืดสูงทำให้มีมุมสัมผัสมาก จึงควรใช้เรซินที่มีแรงตึงผิวต่ำทาบนผิวฟันก่อน



รูปที่ 7 แสดงลักษณะการทำให้พื้นผิวเปียกของของเหลวบนพื้นผิวแข็ง

จาก Noort; Introduction to Dental Materials, 1994.

3. คุณสมบัติของวัสดุยึดที่ต้องการ (Requirement for setting adhesive systems)

วัสดุยึดต้องมีความสามารถในการทำให้พื้นผิวเปียก, มีความหนืดเพียงพอที่จะไหลไปบนพื้นผิวได้ดี, แข็งตัวได้โดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงทางมิติอย่างมาก นั่นคือมีการหดหรือขยายตัวเพียงเล็กน้อย, วัสดุยึดที่แข็งเต็มที่แล้วควรมีความแข็งแรงเพียงพอ และความหนาของวัสดุยึดเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากถ้ามีความหนามากจะทำให้ความแข็งแรงยึดลดลง

Eden, Craig และ Peyton (1970) ทดสอบความหนาของวัสดุยึด โดยใช้การทดสอบแรงดึง พบว่าความหนา 1 มิลลิเมตร มีความแข็งแรงมากกว่า 2 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามความหนาที่ทดสอบนี้ไม่ใช่ค่าที่ตรงกับที่ใช้ในคลินิก

Schechter, Caputo และ Chaconas (1980) รายงานว่าความหนาของวัสดุยึดที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่ากำลังแรงดึง แต่ค่ากำลังแรงเฉือนจะลดลงเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น

Evans และ Powers (1985) พบว่าค่ากำลังแรงดึงของวัสดุยึดลดลง เมื่อมีความหนาเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะวัสดุยึดที่ไม่ต้องผสม (no-mix adhesives) จะมีการโพลีเมอไรเซชัน (polymerization) ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดความล้มเหลวในการยึดติดก่อนเวลาอันสมควร สอดคล้องกับการศึกษาของ Andrew (1990) ที่พบว่าปริมาณวัสดุยึดระหว่างแบรกก่อกับผิวฟันมีความสำคัญต่อค่ากำลังแรงยึดที่เหมาะสมและความแนบสนิทของแบรกก่อกับผิวฟัน ซึ่งจะทำให้สามารถใช้งานได้ตลอดการรักษา

Jost-Brinkmann, Schiffer และ Mlethke (1992) พบว่าคอมโพสิตที่มีวัสดุอัดแทรกขนาดใหญ่ เช่น Concise และ Phase II-Excel ให้ค่ากำลังแรงยึดสูงสุดโดยความหนาของวัสดุยึดไม่มีผล ในขณะที่วัสดุยึดที่ไม่ต้องผสม เช่น System 1+ จะแข็งตัวเต็มที่เมื่อมีความหนา 0.2 มิลลิเมตร หรือน้อยกว่า และจะไม่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์ถ้ามีความหนามากเกินไป วัสดุยึดที่แข็งตัวโดยใช้แสง (light-cured adhesives) มีความแข็งแรงยึดสูงสุดที่ 0.2 มิลลิเมตร แต่จะน้อยลงที่ 0 มิลลิเมตร ความหนาของวัสดุยึดจะมีผลต่อความแข็งแรงยึดที่ได้ ขึ้นกับชนิดของวัสดุยึดที่ใช้

Mackey (1992) แสดงให้เห็นว่าความหนาของวัสดุที่จะมีผลต่อค่ากำลังแรงยึด ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุยึดที่ใช้ด้วย โดยวัสดุยึด 4 ชนิด ได้แก่ Delphic, Aurafill, Concise และ Sillar การที่วัสดุยึดมีความหนาเพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบเฉือนปอก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ก็มีแนวโน้มที่ความแข็งแรงจะลดลง และจากการวิจัยของ พรชัย (2537) พบว่าวัสดุยึดชนิดไม่ต้องผสม System 1+ ให้ค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนปอกค่าที่สูงสุด ถ้าใช้ค่าแรงกด 5 กรัม ทั้งนี้การที่แรงกดแบรกก่อก่อกไม่เพียงพอ อาจมีผลให้เกิดการแข็งตัวอย่างไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดความล้มเหลวในการยึดติดได้ก่อนเวลาอันควร

Andrew (1990) และ Mackey (1992) กล่าวว่า ความหนาของวัสดุยึดใต้แบรกกเกต มีความสำคัญต่อค่ากำลังแรงยึด และการจัดตำแหน่งฟันระยะสุดท้าย การใช้แบรกกเกตสำเร็จรูป (Preadjusted bracket) ที่มีฐานชดเชยความแตกต่างของความหนาของฟันแต่ละซี่ ชั้นของวัสดุยึดที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ช่วยให้ใช้ประโยชน์จากลักษณะของแบรกกเกตได้เต็มที่ จึงไม่ต้องเสียเวลาในการปรับแต่งลวดมาก เพื่อให้ได้การเรียงตัวของฟันที่ดี แรงกดที่เหมาะสมจำเป็นอย่างยิ่งในการติดแบรกกเกตให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องในวิธีการติดแบรกกเกตโดยตรง

Reynolds (1975) แสดงให้เห็นว่า ค่ากำลังแรงยึดระหว่างแบรกกเกตกับเคลือบฟันที่เพียงพอต่อการใช้งานในคลินิก มีค่าระหว่าง 5.88-7.85 MPa ซึ่ง Joseph และ Rossouw (1990) เห็นด้วยว่าค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนปอก ในการยึดแบรกกเกตที่เพียงพอต่อการจัดฟัน มีค่าประมาณ 6-8 MPa (60-80 kg/cm²)

Lopez (1980) ศึกษาถึงค่ากำลังแรงยึดที่เพียงพอ สำหรับติดแบรกกเกตเพื่อใช้งานในคลินิก ได้ให้ความเห็นว่าค่ากำลังแรงยึดควรมีค่า 60-80 kg/cm² (853-1138 p.s.i.) และค่ากำลังแรงยึดต่ำสุดที่จะทำให้เกิดการยึดติดได้อย่างสมบูรณ์ มีค่าเท่ากับ 5 MPa (711 p.s.i.) ในขณะที่ Cochran และคณะ (1997) กล่าวว่า ในทางคลินิก ค่ากำลังแรงยึดในช่วง 7-10 MPa หรือมากกว่านี้ โดยไม่ทำให้ฟอร์ซเลนแตกขณะถอดแบรกกเกต จึงจะเป็นค่าที่ยอมรับได้

4. การเตรียมพื้นผิวที่จะติด (Methods of obtaining bonding to surface)

สำหรับเคลือบฟันการใช้กรดกัดช่วยเพิ่มการยึดได้ โดยเป็นการกำจัดสิ่งสกปรกที่อยู่บนพื้นผิว , ทำให้เกิดรูพรุนในพื้นผิว ซึ่งเรซินแท็กสามารถแทรกเข้าไปทำให้เกิดการยึดเชิงกลได้ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มพลังงานที่พื้นผิวเคลือบฟัน ให้มากกว่าแรงดึงผิวของเรซิน ทำให้พื้นผิวเปียกได้ และทำให้พื้นผิวสัมผัสระหว่างเคลือบฟันกับวัสดุยึดเพิ่มมากขึ้น

Buonocore (1955) ใช้กรดออร์โทฟอสฟอริก 85% (H₃PO₄) นาน 30 วินาที ในการกัดผิวเคลือบฟันและพบว่าแรงยึดของอะคริลิกเรซินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

Gottlieb, Retief และ Jamison (1982) ทดสอบค่ากำลังแรงดึง หลังใช้กรด 10-60 % พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ, Zidan และ Hill(1986) พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างค่ากำลังแรงดึงหลังใช้กรดฟอสฟอริก 2%, 5% และ 35% อย่างไรก็ตามกรด 35% ทำให้มีการสูญเสียผิวเคลือบฟันมากกว่ากรด 2%

Legler และคณะ (1989) วัดความแข็งแรงเฉือนหลังใช้กรดฟอสฟอริก 37%, 15% และ 5% พบว่าความเข้มข้นที่ต่างกันไม่มีผลต่อค่ากำลังแรง

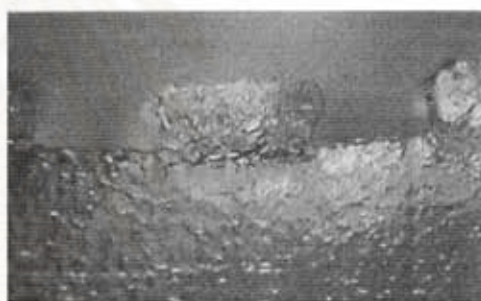
ในปัจจุบัน ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก นิยมใช้ที่ 37% ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อในช่องปาก และให้ความแข็งแรงยึดที่เหมาะสม

แบร็กเกต

ปัจจุบันแบร็กเกตที่ใช้ในงานทันตกรรมจัดฟัน แบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำได้ 3 ชนิด

1. แบร็กเกตพลาสติก (plastic bracket)

ผลิตเพื่อความสวยงาม ทำจากโพลีคาร์บอเนต แบร็กเกตพลาสติกล้วนไม่แข็งแรงพอที่จะต้านทานการบิดเบี้ยวและการแตกหัก อาจเกิดการสึกของร่องทำให้เสียการควบคุมฟัน ปกติแบร็กเกตพลาสติกยึดกับวัสดุยึดเรซินด้วยพันธะเคมีและต้องใช้อุปกรณ์ที่เข้ากันได้ มีผู้ผลิตเสริมความแข็งแรงให้แบร็กเกตพลาสติก โดยใส่ร่องโลหะเข้าไป และทำฐานให้มีการยึดเชิงกล เช่น Spirit MB ของบริษัท Ormco ทำฐานเป็นร่องรูปเห็ด ยื่นขึ้นมาจากฐานของแบร็กเกต (รูปที่ 8) โดยอ้างว่าทำให้ความแข็งแรงยึดเทียบเท่าฐานตะแกรงของแบร็กเกตโลหะ และใช้กับวัสดุยึดได้ทุกชนิด อย่างไรก็ตามแบร็กเกตพลาสติกมักมีการเปลี่ยนสี Reynold (1975) กล่าวว่าแบร็กเกตพลาสติกเหมาะที่จะใช้ในสภาวะที่ใช้แรงน้อย และใช้ระยะเวลาสั้น



รูปที่ 8 แบร็กเกตพลาสติก Spirit MB จาก Spirit MB; Product information materials (1996).

2. แบร็กเกตเซรามิก (Ceramic Bracket)

1) *Polycrystalline* ลักษณะขุ่น ทำจาก Aluminum Oxide 99.9 % นำมาหลอมและยึดกันด้วยตัวยึด (binder) ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1800°C ซึ่งตัวยึดจะถูกกำจัดออกไป

2) *Single crystalline* ลักษณะใส เป็น Aluminum Oxide โมเลกุลเดี่ยว หลอมที่อุณหภูมิสูงกว่า 2000° C มีความต้านทานการแตกหักมาก และราคาสูงกว่า polycrystalline

Graber และ Vanarsdall (1994) กล่าวว่า แบร็กเกตเซรามิกมีข้อด้อยหลายประการเมื่อเทียบกับแบร็กเกตโลหะ คือ

1) ความเสียดทานสถิตระหว่างลวดและแบร็กเกตเซรามิกมีมาก ยากแก่การหาระดับแรงที่เหมาะสมในการเคลื่อนฟันและควบคุมฟันหลัก อย่างไรก็ตาม Rose และ Zernik (1996) ใช้วิธีมนขอบของร่องแบร็กเกตเพื่อลดความเสียดทาน ทำให้ลวดเคลื่อนที่ในแบร็กเกตได้อิสระขึ้น

- 2) ไม่ทนทาน เพราะ แดกง่าย โดยเฉพาะเมื่อใช้ลวดขนาดใหญ่ในการทำ torque
- 3) เซรามิกแข็งกว่าเหล็ก จึงทำให้ฟันตรงข้ามสึกได้ง่าย
- 4) การรื้อแบรคเกตเซรามิกทำได้ยาก และอาจเกิดการหักที่ปีกได้ง่าย
- 5) ผิวของแบรคเกตเซรามิกหยาบและพรุน เกิดคราบจุลินทรีย์คราบสีรอบผิวฟันได้ง่าย
- 6) แบรคเกตเซรามิกมีค่ากำลังแรงยึดสูงมาก ผิวเคลือบฟันถูกทำลายมากขณะถอด

แบรคเกต

3. แบรคเกตโลหะ

ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม เป็นโลหะผสมอสเทนนิติก มีโครเมียมและนิกเกิลเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ไม่เป็นแม่เหล็กเมื่ออบอ่อนเต็มที่ แต่จะกลายเป็นแม่เหล็กเล็กน้อยเมื่อรีดเย็น มีคุณสมบัติเหนียว สามารถตีแผ่ได้ และต้านทานการกัดกร่อนได้ดี (เจน รัตนไพศาล ,2533)

Gwinnett (1988) กล่าวว่า เหล็ก, โครเมียม และนิกเกิล ในโลหะผสมอสเทนนิติกเป็นสารประกอบคาร์ไบด์ที่อยู่ในรูปสารละลายของแข็ง ทำจาก AISI (American Iron and Steel Institute) เป็นลำดับชุด 303, 304, 314L, 316L โดยปริมาณคาร์บอนจะลดลงตามหมายเลขที่เพิ่มขึ้น การที่คาร์บอนลดลงจะทำให้โลหะผสมไวต่อการกร่อนลดลง

Lopez (1980), Dickinson และ Powers (1980), Maijer และ Smith (1981) ต่างมีความเห็นว่าการออกแบบฐานของแบรคเกต มีอิทธิพลอย่างมากต่อค่ากำลังแรงยึด แบรคเกตโลหะมีการออกแบบฐานหลายรูปแบบ ได้แก่

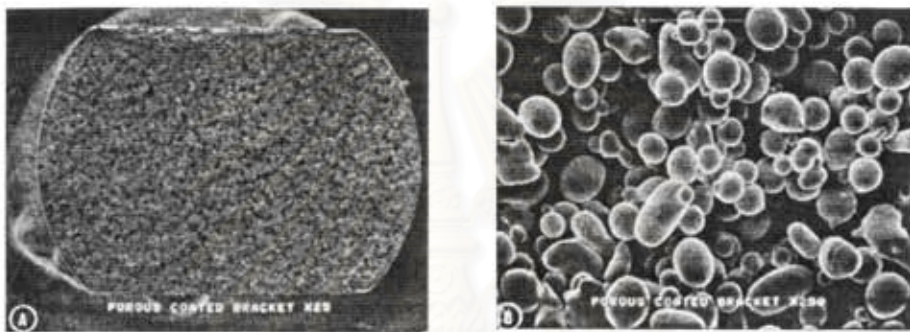
- 3.1 ทำรูพรุนในฐานแบรคเกต (Perforations in the bracket base)
- 3.2 ฐานชนิดเหวี่ยง (Cast integral base)
- 3.3 เจาะฐานเป็นร่องกลมเล็กๆด้วยแสง (Small spherical photo etched undercuts)
- 3.4 ทำฐานให้มีร่องแคบๆช่วยในการยึด (Undercut channels)
- 3.5 ฐานชนิดตะแกรง (Foil mesh type)
- 3.6 หลอมชิ้นส่วนกลมๆของโลหะหลายขนาดเข้าไปเคลือบที่ฐานแบรคเกต (Sintered porous metal-coated bracket)

แบรคเกตโลหะที่นิยมคือ ชนิดฐานตะแกรงซึ่งมีการยึดแบบเชิงกล โดยLopez (1980) พบว่าแบรคเกตชนิดนี้มีค่ากำลังแรงยึดต่อแรงดึงและแรงเฉือน เพียงพอต่อการใช้งานในคลินิก

Graber และ Vanarsdall (1994) กล่าวว่าพื้นที่ผิวของฐาน ไม่ใช่ปัจจัยสำคัญต่อค่ากำลังแรงยึดของแบรคเกตชนิดฐานตะแกรง ควรทำฐานให้เล็กและมีรูปร่างไปตามขอบเหงือก เพื่อไม่ให้เกิดการระคายเคือง ทั้งนี้ฐานต้องไม่เล็กกว่าปีกของแบรคเกต เพราะจะทำให้ยากต่อ

การจัดตำแหน่ง และทำให้มีการสูญเสียแร่ธาตุ (demineralization) ของผิวฟันรอบๆ แบริกเกตฐานควรจะมีรูปร่างโค้งใกล้เคียงกับความโค้งที่ผิวฟัน เพื่อให้วัสดุยึดจะได้มีความหนาเท่าๆกัน

แบริกเกตฐานเคลือบโลหะ (sintered porous metal-coated bracket) พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มการยึดเชิงกล ดังนั้นค่ากำลังแรงยึดจะขึ้นกับความแข็งแรงภายในเรซินเอง แบริกเกตชนิดนี้มีฐานเรียบแล้วเคลือบด้วยการหลอมชั้นส่วนกลมๆของเหล็กกล้าไร้สนิมหรือโคบอลต์-โครเมียมหลายขนาดเข้าไปที่อุณหภูมิประมาณ $1,100^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง Smith และ Maijer (1983) แสดงให้เห็นว่าค่ากำลังแรงยึดของฐานชนิดนี้สูงกว่าชนิดตะแกรงมากถึง 30-100% การแตกหักมีแนวโน้มจะเกิดที่ชั้นเรซิน (รูปที่ 9)



รูปที่ 9 แสดงภาพ SEM ของฐานแบริกเกตชนิด sintered A. ขยาย 25 เท่า, B. ขยาย 250 เท่า จาก Smith และ Maijer ; Am.J.O., 83 (1983).

Dickinson และ Powers (1980), Maijer และ Smith (1981) พบว่าจุดเชื่อม (weld spot) ของฐานตะแกรงและแบริกเกต จะลดพื้นที่ยึดระหว่างแบริกเกตกับเรซิน ทำให้ค่ากำลังแรงยึดลดลง Maijer และ Smith (1981) สรุปว่า ควรเลี่ยงไม่ให้มีจุดเชื่อมบนขอบของฐานแบริกเกต เพราะจะทำให้การยึดของเรซินกับขอบตะแกรงไม่ดี ควรออกแบบป้องกันไม่ให้มีการกักอากาศไว้ได้ฐาน และพบว่าแบริกเกตฐานตะแกรงละเอียดชนิดถักสาน (woven mesh type) เรซินจะแทรกเข้าไปได้ดีที่สุด ทำให้ได้ค่ากำลังแรงยึดดีที่สุด

ชนิดของวัสดุยึด

เรซินที่ใช้ในการติดแบริกเกตมี 2 ชนิดคือ

1. อะคริลิก เรซิน ชนิดแข็งตัวได้เอง (self curing acrylic resin) ประกอบด้วย

- เมทิลเมทาคริเลต โมโนเมอร์ (Methyl methacrylate monomer)
- 2 ไฮดรอกซี 3 บี แนฟท็อกซี โพรพิล เมทาคริเลต (2 Hydroxy 3B naphthoxy propyl methacrylate) ทำหน้าที่ป้องกันความชื้น

- ตัวเร่ง (catalyst) คือ เบนโซอิล เปอร์ออกไซด์ (Benzoyl Peroxide) ไลโซโตรเจนโมเลกุลออกไปให้อะคริลิกเข้าไปทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของโปรตีนบนผิวฟัน แล้วทำให้อะคริลิกแข็งตัว
- ผงที่ละเอียดมาก (ultrafine powder)

อะคริลิก เรซินมีลักษณะเป็นโพลีเมอร์เส้นตรง เป็นวัสดุยึดที่ใช้กับแบร็กเกตพลาสติกได้ดีที่สุด โดย Retief (1974) พบว่าการเชื่อมกันระหว่างอะคริลิก แท็ก (acrylic tag) กับผิวเคลือบฟันเป็นแบบเชิงกล

เรซินชนิดนี้ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของผงกับน้ำ มีความเหลวเพียงพอ ไม่จำเป็นต้องใช้ซิลแลนท์ทาบนผิวฟันก่อน อย่างไรก็ตามเมซิลเมทาคริเลต เป็นสารระเหยที่มีกลิ่นแรงมีการเปลี่ยนแปลงได้มากตามอุณหภูมิ (Thermoplastic) จะอ่อนตัวลงเมื่อเพิ่มความร้อน และมีการหดตัวมากขณะมีปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน ทำให้มีการดูดน้ำมาก

Miura, Nakagawa และ Masuhara (1971) รายงานวิธียึดแบร็กเกตพลาสติกกับเคลือบฟัน โดยใช้กรดฟอสฟอริก 65% ร่วมกับ Methacryloxypropyl trimethoxysilane และอะคริลิกเรซิน และใช้ ไตร-เอ็น-บิวทิล-บอเรน (Tri-n-butyl-borane, TBB) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มความแข็งแรงยึด

2. ไดอะคริเลต เรซิน (Diacrylate resin)

Reynolds (1975) กล่าวว่า เป็นอีพ็อกซีเรซิน ที่ปรับปรุงมาจากบิสจีเอ็มเอ (Bis-GMA, Bisphenol-A-bis-2-hydroxypropyl methacrylate) หรือ เรซินของโบเวน (Bowen's resin) เป็นโพลีเมอร์ที่มีโครงสร้าง 3 มิติ มีความแข็งแรงสูง มีการหดตัวเมื่อแข็งตัวเต็มที่ (polymerization shrinkage) และการดูดซึมน้ำน้อยกว่าอะคริลิกเรซิน

เรซินทั้งสองชนิดมีทั้งแบบมีวัสดุอัดแทรกและไม่วัสดุอัดแทรก Eversoll และ Moore (1988) และ เจน รัตนไพศาล (2533) กล่าวว่า เรซินที่มีวัสดุอัดแทรก ประกอบด้วยสารอินทรีย์ ไดอะคริเลต ชนิดบิสจีเอ็มเอ หรือบิส-กลีซิดิลเมทาคริเลตโมโนเมอร์ (bis-glycidyl methacrylate monomer) สารยึดควบคู่ เช่น ไซเลนช่วยยึดระหว่างวัสดุอัดแทรกกับโพลีเมอร์ และวัสดุอัดแทรก เช่น คิวทซ์, ซิลิกา ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ที่อัดแทรกเข้าไปในสภาพเฉื่อย ช่วยเสริมความแข็งแรงของคอมโพสิตให้สูงขึ้น เพิ่มความต้านทานการสึกกร่อน ลดการขยายและหดตัวจากอุณหภูมิ ทั้งยังช่วยป้องกันการรั่วซึมด้วย

Buzzitta, Hallgren และ Powers (1982) ทดสอบแบร็กเกต 3 ชนิด คือ แบร็กเกตพลาสติก, แบร็กเกตโลหะฐานตะแกรงและแบร็กเกตเซรามิกกับวัสดุยึด 3 ชนิดคืออะคริลิกเรซิน

แบบไม่มีวัสดุอัดแทรก, มีวัสดุอัดแทรกน้อย และมีวัสดุอัดแทรกมาก พบว่าค่ากำลังแรงดึงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยไดอะครีเลต เรซินชนิดบิสฟีนีเอ็มเอ ที่มีวัสดุอัดแทรกมาก ขนาดอนุภาคใหญ่ จะมีคุณสมบัติทางกายภาพดีที่สุด และเป็นวัสดุยึดที่แข็งแรงที่สุดสำหรับแบร็กเกตโลหะ โดยจุดที่ล้าเหลวต่อการยึด มักเกิดระหว่างแบร็กเกตกับวัสดุยึด ส่วนแบร็กเกตเซรามิกกับพลาสติกนั้น อะคริลิกเรซินชนิดไม่มีวัสดุอัดแทรก จะให้ค่ากำลังแรงยึดมากที่สุด และเกิดความล้าเหลวในการยึดได้ทั้งที่แบร็กเกต, เรซิน และระหว่างแบร็กเกตกับเรซิน

Zachrisson และ Brobakken (1978) รายงานว่า คอมโพสิต เรซิน เช่น Endur, Dynabond มีอนุภาคของควอร์ตซ์ หรือซิลิกาที่สม่ำเสมอ ประมาณ 0.2 - 0.3 ไมโครเมตร พื้นผิวจึงเรียบและเกิดการสะสมแผ่นคราบจุลินทรีย์ได้น้อยแต่สึกกร่อนได้ง่าย ส่วน Concise ซึ่งใช้กันแพร่หลาย มีอนุภาคขนาดต่างๆกัน ตั้งแต่ 3 - 20 ไมโครเมตร จึงต้านทานการสึกกร่อนได้ดี มีอัตราความล้าเหลวของแบร็กเกตชนิดฐานตะแกรงโลหะเพียง 1% ในขณะที่ Endur มีความล้าเหลวสูงถึง 4% จึงแนะนำให้ใช้วัสดุยึดที่มีอนุภาคของวัสดุอัดแทรกขนาดใหญ่ เพื่อให้มีความแข็งแรงยึดมาก แต่ต้องขจัดส่วนเกินให้ดี เพราะวัสดุชนิดนี้เกิดการสะสมคราบจุลินทรีย์ได้ง่ายกว่าชนิดอื่น

Årtun และ Zachrisson (1982) กล่าวถึงปัจจัยสำคัญในการติดแบร็กเกต ด้วยวิธีการติดแบร็กเกตโดยตรง คือหลังจัดตำแหน่งแบร็กเกตถูกที่แล้ว ต้องไม่รบกวนการแข็งตัวของเรซิน โดยเอาเครื่องมือที่จัดตำแหน่งออกทันที เพราะถ้าถือแบร็กเกตไว้นานเกินไปจะทำให้ขยับได้ และทำให้ค่ากำลังแรงยึดลดลง วัสดุส่วนเกินควรเช็ดออกก่อนเริ่มแข็งตัว ซึ่งจะง่ายกว่าที่จะกรอออกตอนแข็งตัวแล้ว

Graber และ Vanarssdal (1994) กล่าวถึงเรซินแบบอื่นที่ใช้กัน นอกจากระบบเพสต์ 2 ชนิด (2-paste system) คือ

1. วัสดุยึดที่แข็งตัวด้วยแสงที่มองเห็นได้ (visible light-polymerized adhesives) เช่น Fotofil, Durafil แข็งตัวโดยใช้แสงที่มองเห็นได้ (ความยาวคลื่น 440-480 นาโนเมตร) ส่องผ่านฟันและแบร็กเกต มีข้อดีคือ ไม่มีอันตรายจากแสงอัลตราไวโอเล็ต ทันตแพทย์มีเวลาเพียงพอในการทำงาน และวัสดุยึดบ่มตัวได้ภายใต้ฐานแบร็กเกตโลหะ

2. กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (Glass ionomer cements)

มีคุณสมบัติยึดกับเคลือบฟัน, เนื้อฟัน และโลหะ ด้วยพันธะเคมี สามารถปล่อยฟลูออไรด์ไอออน ช่วยป้องกันฟันผุได้

3. วัสดุยึดที่ไม่ต้องผสม (no-mix adhesives) มีส่วนประกอบ ได้แก่

- เบส เรซิน (Base resin) คือ ยูรีเทน ไดเมทาคริเลท (Urethane dimethacrylate) เป็น โอลิโกเมอร์ (oligomer) หรือ บิส-จีเอ็มเอ
- ไดลูเอนท์ โมโนเมอร์ (Diluent Monomer) คือ เมทาคริเลท
- สารเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) คือ เบนโซอิล เพอร์ออกไซด์
- สารเร่งปฏิกิริยา (Accelerator) คือ เทอเชียรี อะโรแมติก เอมีน (Tertiary aromatic amine) ความเข้มข้นสูง
- วัสดุอัดแทรก คือ ควอร์ตซ์ชนิดหยาบ (Coarse quartz) หรือ แก้วซิลิกา (Silica glass)

วัสดุชนิดนี้มีชนิดสองเพสต์ เช่น Secure-on-Touch และชนิดเพสต์เดี่ยว เช่น Unique Right-on, System 1+ และ Unite แบ่งเป็นสองส่วน คือ เบส มีลักษณะเป็นเพสต์ และไพรเมอร์ หรือสารเร่งปฏิกิริยา มีลักษณะเป็นของเหลวหรือเป็นเพสต์ ใช้ไพรเมอร์ทาบนเคลือบพื้นที่ถูกกรดกัดและที่ฐานแบรกกัด ป้ายเบสที่ฐานแบรกกัดแล้ววางที่พื้น เมื่อจัดตำแหน่งเรียบร้อยแล้ว กดให้เข้าที่ เมื่อส่วนที่เป็นเบสถูกกดด้วยแรงพอสมควร ไพรเมอร์จะผสมและทำปฏิกิริยากับเบส วัสดุจะแข็งตัวภายใน 30-60 วินาที ถ้าเพสต์มีความหนืดมากจะทำให้การผสมไพรเมอร์และเพสต์เข้ากันได้น้อยลง ทำให้มีโพสิทีฟเรซันไม่สมบูรณ์ และมีผลให้ค่ากำลังแรงดึงลดลง

Delpont และ Grobler (1988) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่ากำลังแรงดึงระหว่าง วัสดุยึดแบบทู-เพสต์ (Two-paste) 3 ชนิด ได้แก่ Achieve, TP 1-to-1, Concise และวัสดุยึดแบบไม่ต้องผสม 4 ชนิด ได้แก่ Right-on, Attain, System 1+ และ Monolock เมื่อใช้ในการติดแบรกกัดกับพื้นที่ผ่านกรดกัดแล้ว

ในปัจจุบันวัสดุยึดที่เป็นที่นิยมคือ System 1+ ซึ่งมีวัสดุอัดแทรกต่ำเพียง 41% เป็นแก้วซิลิกาขนาด 0.3 ไมครอน (microfilled) สารที่ใช้เตรียมพื้นผิว คือ กรดออร์โธฟอสฟอริก 37% ซึ่งทางบริษัทแนะนำให้ทาที่ผิวพื้นนาน 60 วินาที, ล้างด้วยน้ำ 60 วินาที และเป่าให้แห้ง 15 วินาที ทาไพรเมอร์บางๆ ที่ผิวพื้นและฐานแบรกกัด เนื่องจากไพรเมอร์ที่มากเกินไปจะทำให้สารยึดเจือจาง เป็นผลให้แบรกกัดมีการเคลื่อนและทำให้มีการยึดที่ไม่แข็งแรง เสร็จแล้วจึงป้ายเบสที่ฐานแบรกกัด ควรวางแบรกกัดที่พื้นภายในเวลา 15-20 วินาที และกดให้เข้าที่ประมาณ 5-10 วินาที วัสดุจะแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามสำหรับลวดเริ่มแรกอาจใส่ได้ภายใน 5 นาทีหลังติดแบรกกัดตัวสุดท้ายเสร็จซึ่งวัสดุยึดจะแข็งตัวแล้วประมาณ 60% สำหรับการยึดกับครอบฟันพอร์ซเลน ทางบริษัทแนะนำให้ใช้ร่วมกับ Ormco Porcelain Primer

Evans และ Powers (1985) กล่าวว่า System 1+ มีส่วนผสมของยูรีเทน โอลิโกเมอร์ ซึ่งมีสัมพรรคภาพทางเคมีกับโมโนเมอร์ เป็นการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุล ดังนั้น System 1+ จึงมีความหนืดมากและมีค่ากำลังแรงดึงสูงพอ แม้ว่าจะมีวัสดุอัดแทรกในปริมาณเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เมื่อทาไพรเมอร์ที่พื้นแล้ว ควรรีบติดแบรกกัดโดยเร็ว เพื่อให้ได้ความแข็งแรงยึดสูงสุด

พอร์ซเลน

Noort (1994) กล่าวว่า พอร์ซเลนเป็นวัสดุที่ให้ความสวยงาม โปร่งแสง เริ่มนำมาใช้ทางทันตกรรมในปี ค.ศ. 1774 โดยชาวฝรั่งเศสชื่อ Alexis Duchateau โดยใช้ทำฟันปลอม แทนงาช้าง ต่อมาใช้ทำเป็นฐานฟันปลอม ครอบฟัน สะพานฟัน อินเลย์ ออนเลย์ และนำมาทำเป็นเซรามิก วีเนียร์ บนโลหะหล่อ

พอร์ซเลนมีข้อดี คือ มีความแข็งแรง สวยงาม ด้านทานการสึกกร่อน ไม่ละลายในช่องปาก ไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อ และมีความใสทำให้นำไปทำฟันปลอมให้มีลักษณะใกล้เคียงฟันธรรมชาติได้

องค์ประกอบของพอร์ซเลน

Leinfelder และ Lemons (1988), Craig (1989), Noort (1994) และ เจน รัตนไพศาล (2533) กล่าวว่า โดยทั่วไปพอร์ซเลนประกอบด้วย เฟลสปาร์, ซิลิกา (ควออร์ตซ์ หรือ ฟลินท์), เคาลิน (ดินขาว) ส่วนสารอื่นจะเติมลงไปเพื่อให้มีคุณสมบัติพิเศษ

เฟลสปาร์ เป็นส่วนผสมของ โปแทสเซียม อลูมิเนียม ซิลิเกต และโซเดียม อลูมิเนียม ซิลิเกต เป็นส่วนประกอบหลักของพอร์ซเลน โดยมีปริมาณ 75-85 % จะหลอมตัวที่อุณหภูมิประมาณ 1290°C เริ่มมีลักษณะเป็นวัตภาคแก้ว (glassy phase) แต่ยังคงรูปร่างเดิมของวัสดุ บุรณะไว้ได้ ทำหน้าที่เป็นเมตริกซ์ล้อมรอบแต่ละอนุภาคของควออร์ตซ์

ซิลิกา สำหรับทางทันตกรรมมักใช้ ผลึกควออร์ตซ์บริสุทธิ์ (SiO_2) มีปริมาณ 12-22 % อยู่ในรูปผลึกละเอียดกระจายในวัตภาคแก้ว ให้ความแข็งแรงแก่พอร์ซเลนที่ผ่านการเผาแล้ว ทำให้ชิ้นงานมีความคงตัว เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างขณะเผา ทำตัวเป็นโครงร่างสำหรับส่วนประกอบอื่น ทั้งเฟลสปาร์และควออร์ตซ์จะถูกบดละเอียด และทำให้บริสุทธิ์ก่อนนำมาใช้งาน

ดินขาว คือ ไฮเดรต อลูมิเนียม ซิลิเกต ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) มีปริมาณ 3-4% ทำให้พอร์ซเลนมีความทึบแสง ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมเฟลสปาร์และควออร์ตซ์ ช่วยในการยึด องค์ประกอบต่างๆ ให้เป็นรูปร่างก่อนนำไปเผา

เม็ดสี เป็นสารอนินทรีย์ประเภทเมทัลลิกออกไซด์ ใส่ทั้งในเนื้อหรือบนผิวของ พอร์ซเลน หรืออาจผสมในน้ำยาเคลือบ สีที่ใช้ได้แก่ สีเหลือง ชมพู ขาว น้ำเงิน เทา น้ำตาล นอกจากนี้มีการเติม ซีเรียม ออกไซด์ (cerium oxide) ทำให้มีสี bluish-white fluorescence ซึ่งคล้ายฟันธรรมชาติมาก

น้ำยาเคลือบ (glaze) คุณสมบัติ สี ไม่มีสี ประกอบด้วยซิลิกา กับสารช่วยหลอม ละลาย เมื่อหลอมเหลวจะฉาบบนพื้นผิวของส่วนเนื้อฟันพอร์ซเลนด้วยแผ่นฟิล์มบางๆ ปิด รูพรุนของเนื้อพอร์ซเลน ช่วยเพิ่มกำลังแรงยึด ควรมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความ ร้อนเท่ากับพอร์ซเลน แต่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าพอร์ซเลน

Mc lean, Hubbard และ Kedge (1979) กล่าวว่า จะเป็นการดีกว่าถ้าทำครอบฟัน พอร์ซเลนโดยไม่ใช้น้ำยาเคลือบ โดยปัจจุบันมีการพัฒนา เฟลสปาร์ติกพอร์ซเลน หรือ single phase glass ซึ่งการกรอเบา ๆ สามารถทำให้มีลักษณะมันวาวได้เอง

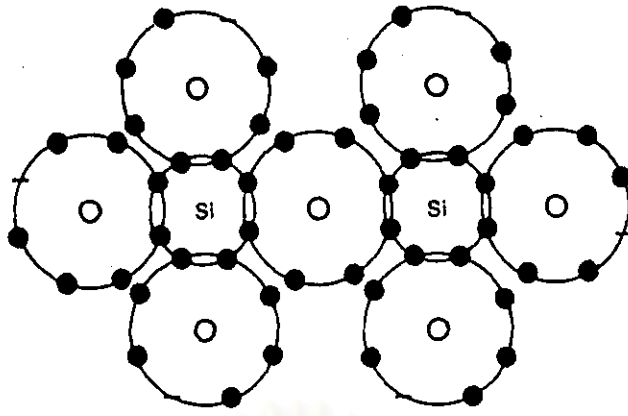
ประเภทของพอร์ซเลนทางทันตกรรม

Leinfelder และ Lemons (1988) ใช้อุณหภูมิการหลอมตัว แบ่งพอร์ซเลนทาง ทันตกรรมตามอุณหภูมิในการหลอมตัวได้ 3 ประเภท คือ

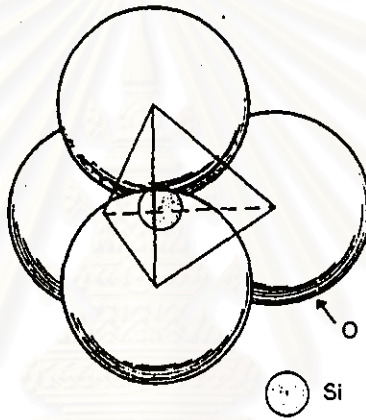
1. พอร์ซเลนหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำ 850-1100 °C (1562-2030°F) ใช้ทำครอบฟัน , สะพานฟัน, วีเนียร์
2. พอร์ซเลนหลอมตัวที่อุณหภูมิปานกลาง 1100-1300 °C (2030-2372°F) ใช้ทำฟัน พอร์ซเลนสำเร็จรูป
3. พอร์ซเลนหลอมตัวที่อุณหภูมิสูง 1300-1400 °C (2372-2557°F) ใช้ทำฟัน พอร์ซเลนสำเร็จรูป โดย Craig (1989) กล่าวว่า สามารถซ่อมแซม เดิม ใส่สี หรือเคลือบผิว เพิ่มได้โดยไม่มีการเปลี่ยนรูปร่าง มีความแข็งแรง และคงรูปร่างได้ระหว่างเผาซ้ำ

โครงสร้างของพอร์ซเลน

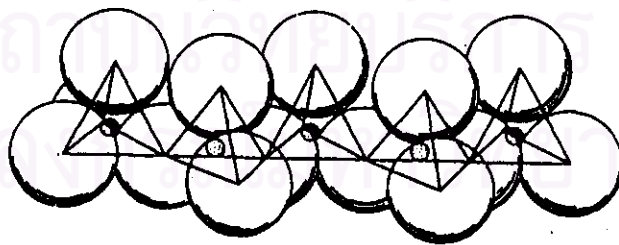
Mc lean และคณะ (1979) อธิบายว่า การยึดระหว่างอะตอมของพอร์ซเลนเป็นแบบ ไอออนิก และ พันธะโควาเลนต์ในโครงสร้างเตตระฮีดรอล ของซิลิกอนกับออกซิเจนเชื่อมเป็น ตาข่าย (รูปที่ 10,11,12) อาจมีออกไซด์ของโลหะอื่นสอดแทรกระหว่างซิลิกอนกับออกซิเจน เช่น โซเดียมออกไซด์ ทำหน้าที่เป็นสารช่วยหลอมละลายทำให้อุณหภูมิหลอมเหลวต่ำลง โดย ลดกำลังแรงยึดระหว่างซิลิกอนกับออกซิเจน



รูปที่ 10 แผนภาพแสดงการใช้อะตอมออกซิเจนร่วมกันของอนุภาคซิลิเกตที่อยู่ติดกัน



รูปที่ 11 แผนภาพแสดงโครงสร้างสามมิติของอนุภาคซิลิเกต โดยอะตอมของซิลิกอน ล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนสี่อะตอม



รูปที่ 12 แผนภาพแสดงโครงสร้างสามมิติของการเชื่อมต่อกันของอนุภาคซิลิเกต เป็นร่างแหในเนื้อแก้ว

(รูปที่ 10,11,12 จาก Mclean, Hubbard และ Kedge;
The Science and Art of Dental Ceramic ,1979.)

สมบัติเชิงกล

โครงสร้างของพอร์ซเลนที่ผ่านขบวนการเผาจะไม่มี ความเหนียว (nonductile) เมื่อมีการแตกหักจะแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ ค่ากำลังแรงอัด (Compressive strength) จะมีค่าสูงกว่าค่ากำลังแรงดึงและค่ากำลังแรงเฉือน เนื่องจากพอร์ซเลนขาดความยืดหยุ่นจึงทำให้ค่ากำลังแรงเฉือนต่ำ ค่ากำลังแรงดึงตามทฤษฎีจะเท่ากับค่าของเส้นใยแก้ว (glass fiber) คือมีค่าประมาณ 10,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เส้นใยแก้วมีพื้นผิวที่เรียบสม่ำเสมอ แต่ผิวพอร์ซเลนมีรอยร้าว (crack) เล็กๆ หรืออาจมีรูพรุนเป็นจุดรวมความเค้น จะเป็นจุดเริ่มของการเกิดรอยแตก ถ้าพอร์ซเลนได้รับแรงดึงเค้น ความเค้นที่สะสมตามรอยแตกจะส่งเสริมให้แรงดึงเค้นมีค่ามากกว่าปกติ ทำให้รอยแตกลึกจนถึงขั้นเกิดการแตกหักของพอร์ซเลนได้ ในทางตรงข้ามเมื่อพอร์ซเลนได้รับแรงกดเค้น รอยแตกจะไม่ขยายตัว และมีความต้านทานความเค้นดังกล่าว

วิธีที่นิยมใช้ในการเพิ่มความแข็งแรงของฟันพอร์ซเลน คือ ใส่วัสดุอัดแทรกเป็นแกนให้เนื้อพอร์ซเลนจับ ช่วยต้านทานหรือขัดขวางการเกิดรอยร้าวได้ วัสดุอัดแทรกที่ใช้ ได้แก่ อะลูมินา (Al_2O_3) เรียกว่า อะลูมินัส พอร์ซเลน อะลูมินามีการยึดหยุ่นสูงกว่าควอร์ตซ์ จึงต้านทานการเกิดรอยร้าวได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าควอร์ตซ์ สามารถทนอุณหภูมิสูงขณะเผาได้ แต่ผงอะลูมินาจะลดความโปร่งแสงของพอร์ซเลน

Leinfelder และ Lemons (1988) แสดงค่ากำลังแรงชนิดต่างๆ ของเฟลสปาร์ติกพอร์ซเลน และอะลูมินัสพอร์ซเลน ดังนี้

เฟลสปาร์ติกพอร์ซเลน

- ค่ากำลังแรงอัด มีค่า 350-550 MPa (50,000-80,000 Psi)
- ค่ากำลังแรงดึง/ปอก มีค่าประมาณ 34 MPa (5,000 Psi)
- ค่ากำลังแรงเฉือน/ปอก มีค่าประมาณ 110 MPa (16,000 Psi)
- ค่ากำลังดัดขวาง (เป็นค่าแสดงปริมาณความบิดเบี้ยวที่เกิดก่อนการแตกหัก

เรียกอีกอย่างว่า flexural strength มีค่า 30-70 MPa (4,300-10,000 Psi)

อะลูมินัสพอร์ซเลน

ประกอบด้วยผลึกอะลูมินา 40-50%

- ค่ากำลังดัดขวาง 135 MPa (20,000 Psi)
- ค่ากำลังแรงเฉือน/ปอก มีค่า 145 MPa (21,000 Psi)

คุณสมบัติทางกายภาพ

เจน รัตนไพศาล (2533) อธิบายสมบัติทางกายภาพของพอร์ซเลนทางทันตกรรม ดังนี้

1. สัมประสิทธิ์การขยายตัวตามยาว $6.4-7.8 \times 10^{-6}$ /องศาเซลเซียส ต่ำกว่าพันธกรรมชาติ ซึ่งมีค่า 11.4×10^{-6} /องศาเซลเซียส
2. การละลายในกรดน้ำส้ม 4 % ละลายได้ 0.1-0.3 % ภายหลังบดให้เป็นผง แต่ไม่ละลายในน้ำลาย
3. ความท่วงจำเพาะเฉลี่ย 2.35 ซึ่งเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อย ถ้ามีช่องว่างในเนื้อน้อยลง ช่องว่างนี้ทำให้สึกลงได้ เช่น อัดให้แน่นขณะบั่นและเผาในเตาสูดญากาศ

การเตรียมผิวพอร์ซเลน

พอร์ซเลนที่ผ่านการผลิตจากห้องปฏิบัติการ จะมีผิวเรียบมัน คล้ายผิวเคลือบฟันธรรมชาติ มีข้อดีคือจะลดความเค้นบนผิวให้เหลือน้อยที่สุด ลดโอกาสในการแตกหัก โดยความเค้นบนพื้นผิวจะมีค่าแปรตามความขรุขระบนพื้นผิว การเพิ่มแรงยึดของวัสดุยึดกับผิวพอร์ซเลนทำได้โดยเตรียมผิวพอร์ซเลนให้ขรุขระ เพื่อเพิ่มการยึดเชิงกล มีวิธีการดังนี้

1. การเตรียมผิวพอร์ซเลนให้ขรุขระด้วยวิธีเชิงกล
 - 1.1 การขัดด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์
 - 1.2 การกรอด้วยหัวกรอหินสีเขียว
 - 1.3 การกรอด้วยหัวกรอกากเพชร
 - 1.4 การเป่าทราย
2. การเตรียมผิวพอร์ซเลนให้ขรุขระด้วยการด

การเตรียมผิวพอร์ซเลนด้วยวิธีเชิงกล

1. การขัดด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์

Smith และคณะ (1988) ศึกษาการยึดแบริกเกิดกับพอร์ซเลน โดยเปรียบเทียบผลของการเตรียมผิวด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ 240 grit ร่วมกับการใช้ไซเลนไพโรเมอร์ พบว่าการเตรียมผิวโดยไม่ใช้ไซเลนไพโรเมอร์ จะให้ค่าแรงยึดที่น้อยกว่าแรงยึดแบริกเกิดกับผิวฟัน

Hayakawa และคณะ (1992) ศึกษาค่าแรงยึดของคอมโพสิตกับฟอร์ชเลนระหว่างการเตรียมผิวโดยขัดด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ 1,000 grit. ขัดด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ ร่วมกับกรดไฮโดรฟลูออริก หรือร่วมกับกรดฟอสฟอริก พบว่าเมื่อใช้ร่วมกับไซเลนไพรเมอร์ที่ ทำปฏิกิริยากับฟอร์ชเลนได้ การเตรียมผิววิธีต่างๆไม่มีผลต่อค่ากำลังแรงยึด

2. การกรอด้วยหัวกรอหินสีเขียว

Wood และคณะ (1986), Kao และ Johnston (1991) ศึกษาเปรียบเทียบค่าแรงยึด แปรกเขตโลหะบนฟอร์ชเลน พบว่ากลุ่มที่ผ่านการเตรียมด้วยหัวกรอหินสีเขียวมีค่าแรงยึดสูงกว่ากลุ่มที่มีผิวเรียบมัน โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับไซเลนไพรเมอร์

Kao และคณะ (1988) ศึกษาการแตกหักของฟอร์ชเลน ภายหลังจากถอดแปรกเขต พบว่ากลุ่มที่เตรียมผิวด้วยหัวกรอหินสีเขียวเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ามีเส้นขีดข่วนระหว่างส่วนที่ถูกกรอให้หยาบกับส่วนที่เป็นผิวเรียบ และพบว่าจะมีการแตกหักของฟอร์ชเลนภายหลังจากถอดแปรกเขตมากกว่ากลุ่มที่มีผิวเรียบมัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Eustaquio และคณะ (1988) ที่พบว่าการเตรียมผิวฟอร์ชเลนด้วยหัวกรอหินสีเขียว อาจทำให้เกิดรอยแตกเล็กๆ ซึ่งจะนำไปสู่การแตกหักของฟอร์ชเลน ภายหลังจากถอดแปรกเขต

3. การกรอด้วยหัวกรอกากเพชร

Jochen และ Caputo(1977), Mc Caughey (1993) ได้ใช้หัวกรอกากเพชรชนิดหยาบ ในการเตรียมผิวฟอร์ชเลน พบว่าช่วยเพิ่มค่าแรงยึดติดให้คอมโพสิตเรซิน โดย Mc Caughey กล่าวว่าแรงยึดดังกล่าวเป็น Macromechanical retention

4. การเป่าทราย (Sandblasting)

Mc Caughey (1993) อธิบายว่า เครื่องเป่าทรายใช้ผงอะลูมิเนียมออกไซด์ ขนาด 25, 50 หรือ 110 ไมโครเมตร ใช้ได้ดีในการกำจัดซีเมนต์เก่าจากครอบฟันที่หลุด ก่อนยึดติดใหม่ และใช้ในการเตรียมผิวครอบฟันด้านในก่อนยึดติดเพื่อเพิ่มการยึดติด ทั้งนี้สามารถใช้ในช่องปากคนไข้เพื่อเตรียมผิวฟอร์ชเลนที่แตกหักให้มีความขรุขระมากขึ้น เพื่อเพิ่มแรงยึดของวัสดุที่นำมาใช้ซ่อมแซม

Zachrisson และ Buyukyilmaz (1993) แนะนำให้ใช้เวลาในการเป่าทรายนาน 2-4 วินาที โดยมีผง 2 ขนาด คือ ผงอะลูมิเนียมออกไซด์ ขนาด 50 ไมโครเมตร มีสีขาว, ผงขนาด 90 ไมโครเมตร มีสีแทน ตัวอย่างเครื่องมือได้แก่ เครื่อง Microetcher ซึ่งใช้แรงดันอากาศ 7 kg/cm^2 ได้รับการรับรองจาก American Food and Drug Administration Agency ว่าเป็นเครื่องมือแพทย์ที่ใช้ในช่องปากได้ ทั้งนี้การใช้งานต้องมีการป้องกันที่เหมาะสมโดยใส่แว่นตากันฝุ่นให้คนไข้ ทันตแพทย์ และผู้ช่วย ร่วมกับการใช้แผ่นยางกันน้ำลาย พร้อมกับใช้เครื่องดูดน้ำลายกำลังสูง และควรมีผ้าปิดจมูกให้คนไข้ เพื่อป้องกันไม่ให้หายใจเอาผงอะลูมิเนียมออกไซด์เข้าไป

Wolf, Powers และ O'Keefe (1993) พบว่าเมื่อเป่าทรายบนผิวพอร์ซเลน โดยใช้ผงอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาดต่างๆ ความขรุขระที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับขนาดของผงที่เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงยึดของวัสดุยึดกับผิวพอร์ซเลน กับความขรุขระของผิวที่ผ่านการเป่าทรายด้วยผงขนาดต่างๆ (10.2 ไมโครเมตร, 33.5 ไมโครเมตร, 48 ไมโครเมตร)

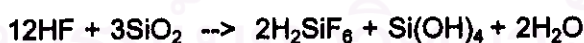
นอกจากนี้ Wolf ได้เปรียบเทียบค่าแรงยึดของคอมโพสิตกับพอร์ซเลนที่ผ่านการเตรียมผิวด้วยเครื่องเป่าทรายของบริษัทต่างๆ กล่าวได้ว่าแม้จะใช้ผงอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาดใกล้เคียงกัน ความเร็วและมุมในการเป่าทรายเท่าๆกัน แต่ผงขนาด 50 ไมโครเมตร มีลักษณะเป็นมุมแหลมคม ส่วนผงขนาด 48 ไมโครเมตรมีลักษณะมนกลม ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำผิวพอร์ซเลนขรุขระมีต่างกัน

การเตรียมผิวพอร์ซเลนให้ขรุขระด้วยกรด

Simonsen และ Calamia (1983) ทดลองใช้กรดไฮโดรคลอริก 7.5 % ในการกัดผิวพอร์ซเลน โดยใช้เวลาต่างๆกัน ตั้งแต่ 0-20 นาที พบว่าค่ากำลังแรงดึงเพิ่มขึ้นตามเวลา จากค่า 88-1100 p.s.i.

Hsu, Stangel และ Nathanson (1985), Calamia และ Simonsen (1984) พบว่าค่ากำลังแรงเฉือน ในการยึดคอมโพสิตเรซินกับผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก จะมีค่ามากกว่าแรงยึดบนผิวพอร์ซเลนที่เรียบมันหลายเท่า ผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการกัดด้วยกรดจะมีลักษณะเป็นรูพรุนเล็กๆ เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เมื่อดูทางคลินิก จะเห็นเป็นสีขาว เหมือนผิวเคลือบฟันที่ผ่านการกัดด้วยกรดฟอสฟอริก

Al Edris และคณะ (1990) อธิบายว่า พอร์ซเลนถูกละลายได้ด้วยกรด ซึ่งกรดที่ใช้ต้องมีฟลูออไรด์ไอออน (F^-) และไฮโดรเจนไอออน (H^+) เป็นองค์ประกอบ เช่น แอซิดูเลตฟอสเฟต ฟลูออไรด์ (APF) หรือกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) โดยฟลูออไรด์ไอออนจะทำลายการยึดติดระหว่างอะตอมซิลิกอนและออกซิเจน ทำให้ผิวพอร์ซเลนเป็นรูโดยมีปฏิกิริยาเคมีดังนี้



ดังนั้น กรดที่ใช้กัดผิวเคลือบฟันธรรมชาติ ได้แก่ กรดฟอสฟอริก 37%, น้ำยาบ้วนปากที่มี stannous fluoride เป็นองค์ประกอบ หรือสารที่เตรียมจากฟลูออไรด์ธรรมชาติที่ใช้ป้องกันฟันผุ จะไม่มีผลต่อลักษณะผิวพอร์ซเลน

Wunderlich และ Yaman (1986) พบว่าผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการทาด้วย 1.23% APF และ 8% SnF_2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และไม่พบความแตกต่างของลักษณะผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการทาด้วย 0.05%, 0.2%, 2% NaF และ 0.4% SnF_2

Kao และ Johnston (1991) ศึกษาลักษณะผิวพอร์ซเลน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด หลังทาด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกนาน 3 นาที พบว่า

ไฮอะลูมินา พอร์ซเลน (Vitadur-N) มีลักษณะผิวเรียบ, รูพรุนตื้น และมีอนุภาคของควอร์ตซ์ขนาดเล็กบนพื้นผิว

ส่วนเฟลสปาร์ติก พอร์ซเลน มีลักษณะเป็นรูพรุนมาก, ผิวขรุขระ และพบอนุภาคของควอร์ตซ์ขนาดใหญ่บนพื้นผิว

Sorrensen และคณะ (1991) อธิบายว่า กรดไฮโดรฟลูออริกจะละลายกลาสเมตริกซ์ของพอร์ซเลน ซึ่งเฟลสปาร์ติกพอร์ซเลน จะมีส่วนที่เป็นกลาสเมตริกซ์มากกว่าไฮอะลูมินาพอร์ซเลน จึงมีการเปลี่ยนแปลงที่พื้นผิวได้มากและเด่นชัดกว่ากลุ่มไฮอะลูมินา ซึ่งมีอนุภาคของอะลูมินาถึง 40-50% ซึ่งจะต้านทานต่อการละลายของกรดไฮโดรฟลูออริก ดังนั้นการทำให้พื้นผิวของไฮอะลูมินาพอร์ซเลนมีความขรุขระเพียงพอสำหรับการยึดติดต้องให้การเป่าทราย

กรดที่ใช้ในการเตรียมผิวพอร์ซเลน มี 2 ชนิด คือ

1. แอซิดูเลต ฟอสเฟตฟลูออไรด์ (Acidulated-phosphate fluoride, APF)
2. กรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid, HF)

APF เป็นสารสำหรับใช้เฉพาะที่ มีความเป็นกรดช่วยให้เคลือบฟันได้รับฟลูออไรด์เพิ่มขึ้น และฟอสเฟตส่วนเกินจะมีผลลดการละลายของเคลือบฟัน และสร้างแคลเซียมฟลูออไรด์ช่วยให้มีการสะสมฟลูออไรด์ในผิวเคลือบฟันมากกว่าสารละลายฟลูออไรด์ชนิดอื่นและทำให้เกิดรูพรุนที่ผิวพอร์ซเลนร่วมกับมีการตกผลึกของฟลูออไรด์บนผิวพอร์ซเลนด้วย โดยจะมีการตกผลึกมากขึ้นเมื่อมีความเป็นกรดสูง และมีฟลูออไรด์มาก ทั้งนี้ความเข้มข้นที่นิยมใช้ คือ 1.23%

Stangel, Nathanson และ Hsu(1987) พบว่า กรดไฮโดรฟลูออริก 52% ทา 90 วินาที จะละลาย glassy phase ของผิวพอร์ซเลน ส่วนกรดไฮโดรฟลูออริก 20% ทา 2.5 นาที จะละลาย crystalline phase ของผิวพอร์ซเลน

Wolf และคณะ (1993) ศึกษาโดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริก 9.5% ที่อุณหภูมิ 23°C ทาพอร์ซเลนที่เวลาต่างกัน คือ 30, 60, 150, 300 วินาที พบว่าเมื่อใช้เวลามากขึ้น จะทำให้ผิวพอร์ซเลนมีความขรุขระมากขึ้น และค่าแรงยึดของคอมโพสิตกับพอร์ซเลนที่ผ่านการทากรดในช่วงเวลา 60, 150, 300 วินาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ใช้เวลา 30 วินาที

Mc Caughey (1993) กล่าวว่า การทำผิวพอร์ซเลนให้ขรุขระด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก จะทำให้เกิดแรงยึดติดแบบ micromechanical retention

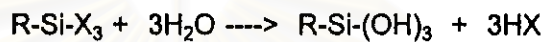
ส่วนใหญ่ความเข้มข้นของกรดไฮโดรฟลูออริกที่นิยมใช้ในการเตรียมผิวพอร์ซเลน คือ 10% การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกมีสิ่งที่ควรระวัง เนื่องจากความเป็นพิษของกรด การใช้งานต้องมีการใช้แผ่นยางกันน้ำลายแยกบริเวณที่ทำงาน และต้องใช้เครื่องดูดน้ำลายกำลังสูงร่วมด้วย

ไซเลนไพรเมอร์

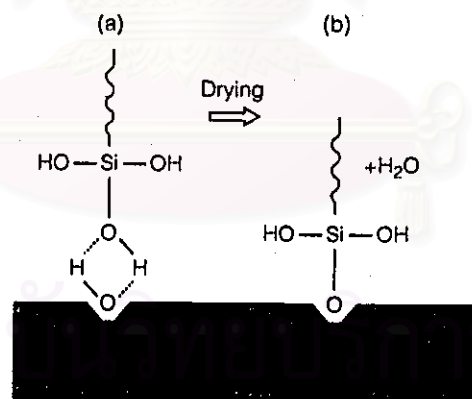
Noort (1994) กล่าวว่า การยึดวัตถุสองชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันเป็นสิ่งที่ยาก เพราะโดยธรรมชาติวัตถุทั้งสองจะไม่มีแรงดึงดูดต่อกัน และไม่สามารถทำให้พื้นผิวของวัตถุตรงข้ามเปียก ดังนั้นการที่จะยึดกันได้ ต้องใช้สารเคมีที่ช่วยให้เกิดแรงยึดทางเคมีระหว่างวัตถุทั้งสอง เรียกว่า คัปปลิงเอเจนท์ ถ้าใช้สารนี้ก่อนในการเตรียมผิวของวัตถุ เรียกว่าไพรเมอร์ ซึ่งมีสูตรโครงสร้าง คือ $R-Si-X_3$

R หมายถึง กลุ่มออร์แกโนฟังก์ชันแนล เช่น $-(CH_2)_2$

X หมายถึง กลุ่มไฮโดรโลเซเบิล เช่น $-OCH_3$ หรือ $-OC_2H_5$ เป็นกลุ่มที่อยู่เพียงชั่วคราว จะถูกไฮโดรไลส์เกิดเป็นซิลานอล มีปฏิกิริยาเคมีดังนี้



ไตรไฮดรอกซี ซิลานอล จะแทนที่ตำแหน่งน้ำบนผิวแก้วโดยเกิด ไฮโดรเจนบอนด์กับกลุ่มไฮดรอกซิลบนผิวแก้ว เมื่อไซเลนไพรเมอร์แห้ง จะเกิดคอนเดนเซชัน (condensation) ระหว่างซิลานอลกับพื้นผิว และจะไม่เกิดไฮโดรไลซิสอีก (รูปที่ 13) เมื่อนำเรซินมาสัมผัสผิวแก้วที่เคลือบไซเลนไพรเมอร์ไว้ กลุ่มออร์แกโนฟังก์ชันแนล (R) จะทำปฏิกิริยากับเรซินได้แรงยึดที่แข็งแรง ที่สำคัญคือ ต้องเลือกกลุ่มออร์แกโนฟังก์ชันแนล ให้เหมาะกับชนิดของเรซิน



รูปที่ 13 a) แผนภาพแสดงการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างไซเลนและกลุ่มไฮดรอกซิลที่พื้นผิว
b) เมื่อไซเลนแห้งจะเกิดพันธะโควาเลนต์ และมีการปล่อยน้ำออกไป

จาก Noort; Introduction to dental materials, 1994.

ไซเลนไพรเมอร์ ที่ใช้กันมากมี 2 ชนิด คือ

- γ -amino propyltriethoxy silane
- γ -mercapto propyl trimethoxy silane

Newman (1983) กล่าวถึงพันธะเคมี ระหว่างไซเลนไฟรเมอร์กับพอร์ซเลนและอะคริลิกเรซินว่า ไซเลนไฟรเมอร์มีปลาย 2 ด้าน

1. ปลายที่เป็นกลุ่มไฮโดรไลเซเบิล จะทำปฏิกิริยากับอินอร์แกนิกซัสเตรทของพอร์ซเลนทางทันตกรรม

2. ปลายที่เป็นกลุ่มออร์แกโนฟังก์ชันแนล จะทำปฏิกิริยากับวัสดุยึด เช่น อีพอกซีอะคริเลท หรือ อะคริลิก

Lu และคณะ (1992) กล่าวว่า การยึดติดของไซเลนไฟรเมอร์บนผิวพอร์ซเลน เกิดจากในพอร์ซเลนมีซิลิกาจำนวนมาก โดยไซเลนไฟรเมอร์จะเกิดไฮโดรไลซิสและซึมบนผิวพอร์ซเลน ทำให้เกิดแรงยึดทางเคมีระหว่างไซเลนไฟรเมอร์กับพอร์ซเลน และมีพันธะโควาเลนต์ระหว่างไซเลนไฟรเมอร์กับเรซินเมตริกซ์

ไซเลนไฟรเมอร์ แบ่งตามการใช้งานได้ 2 ประเภท คือ

1. ไซเลนไฟรเมอร์ที่ยังไม่ผ่านการไฮโดรไลส์ (Non hydrolyzed silane primer)

กลุ่มไฮโดรไลเซเบิลยังไม่ผ่านการไฮโดรไลส์ ทำให้ไม่สามารถยึดกับผิวพอร์ซเลนได้ ทันที แพทย์จะทำการไฮโดรไลส์เมื่อต้องการใช้งาน โดยใช้กรดฟอสฟอริกทาบนผิวพอร์ซเลน แล้วทาไซเลนไฟรเมอร์ทับ กรดจะกระตุ้นให้ไซเลนไฟรเมอร์เกิดไฮโดรไลซิส สารชนิดนี้ผลิตขึ้นเนื่องจากผู้ผลิตพบว่าถ้าไซเลนไฟรเมอร์ถูกไฮโดรไลส์แล้ว จะมีอายุการใช้งานสั้น สนับสนุนโดยการศึกษาของ Semmelman และ Kulp (1968), Newburg และ Pameijer (1978) ซึ่งกล่าวว่า ไซเลนไฟรเมอร์ที่เก็บไว้นาน หรือถูกกระตุ้นทางเคมีแล้ว จะทำให้ประสิทธิภาพในการยึดกับพอร์ซเลนลดลง ตัวอย่างของไซเลนไฟรเมอร์ชนิดนี้ ได้แก่ Porcelain Repair Primer, Ormco Porcelain Bonding Primer และ Clearfill Porcelain Bond

Culler, Krueger และ Joos (1986) พบว่า Porcelain Repair Primer เมื่อถูกไฮโดรไลส์แล้ว จะมีอายุการใช้งานเพียง 3 สัปดาห์เท่านั้น

Clearfill Porcelain Bond มีสององค์ประกอบ จะไม่ใช้กรดฟอสฟอริกในการกระตุ้นให้เกิดไฮโดรไลส์ แต่จะใช้ตัวเร่งซึ่งจะนำมาผสมกับไซเลนไฟรเมอร์ (Activator) 5 วินาที เป็นการกระตุ้นให้มีประสิทธิภาพในการยึดติด จากนั้นจึงนำไปทาบนพอร์ซเลน

2. ไซเลนไฟรเมอร์ที่ผ่านการไฮโดรไลส์ (Pre hydrolyzed silane primer)

Culler และคณะ (1986) กล่าวว่า มีบริษัทผลิต Scotchprime Ceramic Primer เป็นไซเลนไฟรเมอร์ที่ผ่านการไฮโดรไลส์แล้ว มีอายุการใช้งานมากกว่า 1 ปี และเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 °C อยู่ได้นานถึง 2 ปี อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บไว้นาน ประสิทธิภาพของ Scotchprime Ceramic Primer มีแนวโน้มที่จะลดลง เนื่องจากมีการรวมตัวเป็นมวลสารที่มีจำนวนโมเลกุลมาก คือ Polymethacryloxy-propyl-silesquioxane oligomer (Lu และคณะ, 1992)

Nicholls (1988), Lu และคณะ (1992) พบว่า Scotchprime Ceramic Primer มีประสิทธิภาพในการยึดติดมากกว่า Porcelain Repair Primer อธิบายได้โดยการศึกษาของ Culler และคณะ (1986) คือถ้าใช้เลนไฟรเมอร์ได้รับการไฮโดรไลส์มาก จะทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น การที่ Porcelain Repair Primer ให้แรงยึดน้อยกว่าอาจเกิดจากความไม่สมบูรณ์ในการเกิดไฮโดรไลซิส ซึ่งอาจเกิดความผันแปร ขณะที่ทำการดฟอสฟอริกบนผิวฟอร์ซเลน ส่วน Scotchprime Ceramic Primer ผ่านการไฮโดรไลส์แล้วจึงไม่มีความผันแปรเกิดขึ้น

Gregory, Hagen และ Powers (1988) พบว่าระยะแรก Porcelain Repair Primer ให้ค่ากำลังแรงดึงใกล้เคียงกับ Scotchprime โดยทั้งสองสารให้ค่ามากกว่า Fusion, Silanit และ Ultrabond แต่ในระยะยาว Porcelain Repair Primer มีค่าต่ำกว่า Fusion และ Scotchprime อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้การใช้ไฟรเมอร์ร่วมกับวัสดุยึดของต่างบริษัทไม่มีผลต่อค่ากำลังแรงดึง

Anagnostopoulos, Eliades และ Palaghias (1993) พบว่า Scotchprime Ceramic Primer ซึ่งมีองค์ประกอบเดียว จะประกอบด้วย γ -methacryloxy propyl trimethoxy silane (γ -MPTS) ซึ่งมี methacrylate group ที่เข้ากับ dimethacrylate ของคอมโพสิตเรซินได้ดี จะมีความเข้มข้นต่ำ เพื่อป้องกันการเกิดคอนเดนเซชัน มีเอทานอลเป็นตัวทำละลายและมีกรดอะซิติก ปรับความเป็นกรดต่างให้มี pH4 และช่วยเป็นตัวเร่งในการเกิดไฮโดรไลซิส และเกิดคอนเดนเซชัน ซึ่งจะเกิดเมทานอลที่มีอุณหภูมิระเหยต่ำ

ส่วนใช้เลนไฟรเมอร์ชนิดมีสององค์ประกอบ เช่น Silanit เมื่อผ่านการไฮโดรไลส์ จะมี γ -MPTS มาก ทำให้มีแนวโน้มที่จะเกิดคอนเดนเซชัน แทนที่จะเกิดพันธะเคมีกับผิววัตถุ เมื่อใช้เลนไฟรเมอร์ที่ผ่านการไฮโดรไลส์ เกิดคอนเดนเซชัน จะมีลักษณะเป็น linear oligomer ซึ่งจะมีคุณสมบัติเป็นค้ำปลิงเอเจนท์มากกว่าของชนิดสององค์ประกอบ ซึ่งมีลักษณะเป็น cyclic tetramer

การยึดฟอร์ซเลนให้ติดกับคอมโพสิตเรซิน นอกจากจะใช้ใช้เลนไฟรเมอร์เพื่อเพิ่มแรงยึดทางเคมีแล้ว การเตรียมผิวฟอร์ซเลนให้ขรุขระก่อนอาจช่วยเพิ่มค่าแรงยึดให้สูงขึ้น อาจใช้วิธีการผิวด้วยหัวกรอกากเพชร , ใช้หัวกรอหินสีเขียว , ใช้การเป่าทราย หรือใช้กรดทาผิว

Lu และคณะ (1992) พบว่า การเตรียมผิวฟอร์ซเลนให้ขรุขระด้วยการทำการกรัด จะเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้ฟอร์ซเลน และทำให้เกิด micro-undercut ช่วยเพิ่ม micromechanical interlocking ระหว่างคอมโพสิตเรซินกับผิวฟอร์ซเลน

ใช้เลนไฟรเมอร์ช่วยเพิ่มค่าแรงยึดให้ผิวฟอร์ซเลนที่ขรุขระ โดยช่วยทำให้เกิดแรงยึดทางเคมีระหว่างคอมโพสิตเรซินและฟอร์ซเลน และช่วยเพิ่มความเปียกให้ผิวฟอร์ซเลนซึ่งจะเสริมการไหลของคอมโพสิตเรซินเข้าไปในบริเวณที่มี micro-undercut จากการใช้กรดทา

Sheth, Jensen และ Tolliver (1988) ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ศึกษาพื้นผิวฟอร์ซเลนที่ทำด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก และผิวที่ทำด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก และทาห้ด้วยใช้เลนไฟรเมอร์ พบว่าผิวที่ทำการกรัดจะขรุขระ มีรูพรุน และเมื่อถูกทาห้ด้วยใช้เลนไฟรเมอร์ก็ยังมีรูพรุนที่พื้นผิวอยู่ โดยไม่ถูกอุดตันด้วยใช้เลนไฟรเมอร์

Nathanson (1988) พบว่า การใช้กล้องจุลทรรศน์ อิเลคตรอนแบบส่องกราด ตรวจดูภาพตัดขวางบริเวณรอยยึดระหว่างคอมโพสิตเรซินกับฟอร์ชเลน ที่ผ่านการเตรียมผิวด้วยวิธีต่างๆ พบว่ากลุ่มที่ไม่ได้ทากรดไฮโดรฟลูออริกและไม่ใช้ไซเลนไพรเมอร์ จะมีช่องว่างอยู่ระหว่างคอมโพสิตกับฟอร์ชเลน, กลุ่มที่ไม่ได้ทากรดแต่ผ่านการใช้ไซเลนไพรเมอร์ จะมีช่องว่างระหว่างคอมโพสิตกับฟอร์ชเลน แต่จะน้อยกว่ากลุ่มแรก, กลุ่มที่ทากรดและใช้ไซเลนไพรเมอร์ เรซินจะเข้าไปแทรกเต็มบริเวณรูพรุนของผิวฟอร์ชเลน จะไม่พบช่องว่างระหว่างคอมโพสิตกับฟอร์ชเลน (รูปที่ 14,15,16)

การศึกษาการยึดคอมโพสิตเรซินบนผิวฟอร์ชเลน

Rochette (1975) แนะนำวิธีบูรณะปลายฟันหน้าตัดที่แตกหัก ด้วยการใช้ฟอร์ชเลน และมีการใช้ไซเลนไพรเมอร์ในการยึดระหว่างคอมโพสิตกับฟอร์ชเลนที่นำมาบูรณะ

Nowlin, Barghi และ Norling (1981) ศึกษาการซ่อมแซมฟอร์ชเลนด้วยวัสดุยึดและไซเลนไพรเมอร์ชนิดต่างๆ คือ ใช้ วัสดุบูรณะกับ bonding agent ของ Den-mat , Cervident และใช้ Concise กับ Fusion Bonding Agent พบว่า การใช้ Fusion กับ Concise ให้ค่าแรงยึดมากกว่าอีกสองกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญ

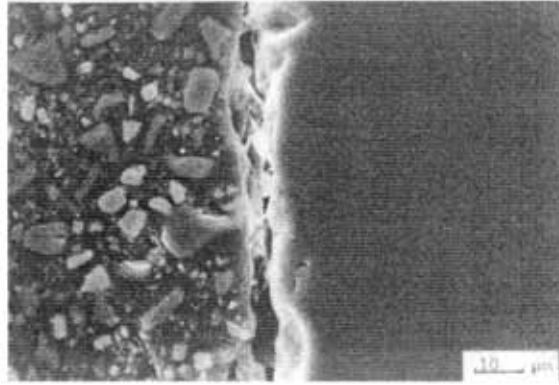
Ferrando และคณะ (1983) ทดสอบวัสดุบูรณะสำหรับฟอร์ชเลน กับไซเลนไพรเมอร์ชนิดต่างๆ พบว่า Enamelite 500 kit ให้ค่ากำลังแรงดึงสูงกว่ารวมทั้งด้านทานการรั่วซึมได้มากกว่า Adaptic, การใช้ Fusion ร่วมกับ Adaptic, Den-mat porcelain repair kit และ Cyano-veneer

Calamia และ Simonsen (1984) ศึกษาผลของการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก 5%, 7.5% และ 10% บนฟอร์ชเลนชนิดต่างๆ ใช้เวลา 2.5 และ 20 นาที พบว่าที่เวลา 2.5 นาที มีค่าแรงยึดสูงกว่าที่ 20 นาที สรุปได้ว่าค่าแรงยึดที่มากที่สุด จะได้จากการเลือกใช้กรดที่มีความเข้มข้นเหมาะสม และใช้เวลาที่เหมาะกับฟอร์ชเลนแต่ละชนิด

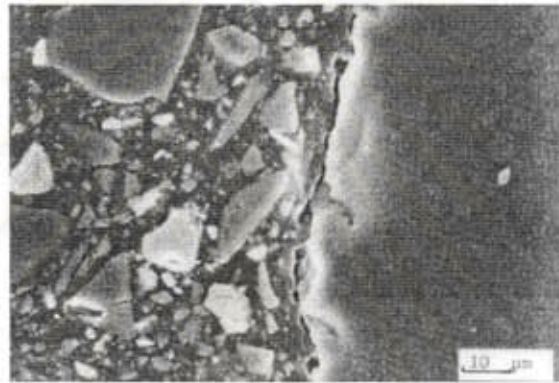
Lacy และคณะ (1988) ศึกษาพบว่า ค่าแรงยึดของคอมโพสิตเรซินกับผิวฟอร์ชเลนที่ผ่านการกรอด้วยหัวกรอกากเพชร ทากรดไฮโดรฟลูออริกและใช้ไซเลนไพรเมอร์ จะมีค่าแรงยึดสูงกว่าการเตรียมด้วยหัวกรอกากเพชรและใช้ไซเลนไพรเมอร์ และกลุ่มที่เตรียมด้วยหัวกรอกากเพชร และทากรดไฮโดรฟลูออริก

Sheth และคณะ (1988) พบว่าแรงยึดของคอมโพสิตกับฟอร์ชเลนที่ผ่านการทากรดไฮโดรฟลูออริกเพียงอย่างเดียว จะมีค่าเพียง 10% ของค่าแรงยึดบนผิวฟอร์ชเลนที่ผ่านการทาด้วยกรดและใช้ไซเลนไพรเมอร์ด้วย ส่วนกลุ่มที่ใช้ไซเลนไพรเมอร์ทอย่างเดียวพบว่ามีค่าแรงยึดน้อยมาก และน้อยกว่ากลุ่มที่ทากรดไฮโดรฟลูออริกอย่างเดียว

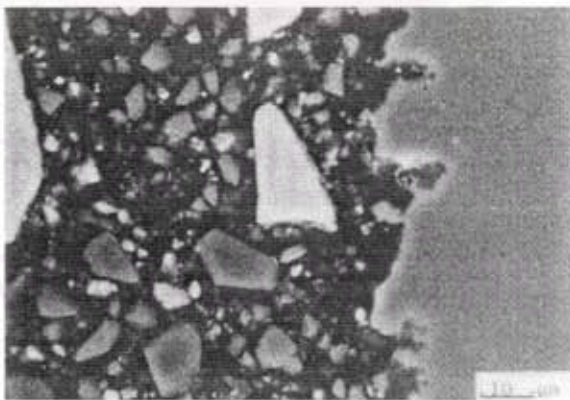
Senda, Suzuki และ Jordan (1989) พบว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกทาผิวฟอร์ชเลนที่ผ่านการเตรียมผิวด้วยวิธีเชิงกลมาก่อน จะทำให้พื้นผิวไวต่อการเปลี่ยนแปลงด้วยกรด



รูปที่ 14 แสดงภาพ SEM บริเวณผิวสัมผัสระหว่างคอมโพสิตเรซิน และผิวฟอร์ชเลนที่ไม่ผ่านการกัดด้วยกรดและไม่ใช้ไซเลน พบว่ามีช่องว่างระหว่างพื้นผิวทั้งสอง



รูปที่ 15 แสดงภาพ SEM บริเวณผิวสัมผัสระหว่างคอมโพสิตเรซินกับผิวฟอร์ชเลนที่ไม่ผ่านการกัดด้วยกรด แต่ทำไซเลน พบว่าช่องว่างระหว่างพื้นผิวทั้งสองแคบกว่ารูปที่ 14



รูปที่ 16 แสดงภาพ SEM บริเวณผิวสัมผัสระหว่างคอมโพสิตเรซิน กับผิวฟอร์ชเลนที่ผ่านการกัดด้วยกรดร่วมกับทำไซเลนและเคลือบบอนด์เอเจนท์ พบว่าไม่มีช่องว่างระหว่างพื้นผิวทั้งสองและเรซินจะแทรกเข้าไปในพื้นผิวฟอร์ชเลนที่ขรุขระ

(รูปที่ 14,15,16 จาก Nathanson; Porcelain Laminate Veneer, 1988.)

Al Edris และคณะ (1990) พบว่าการดไฮโดรฟลูออริกทำให้ผิวพอร์ซเลนขรุขระมาก มีร่องและรูที่ผิว แต่แอสติลูเลต ฟอสเฟต ฟลูออไรด์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบนผิวพอร์ซเลนเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากมีปริมาณไฮโดรเจนไอออนและฟลูออไรด์ไอออนน้อยกว่ากรดไฮโดรฟลูออริก และจากการศึกษาผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเมื่อเตรียมผิวพอร์ซเลนให้ขรุขระโดยการเป่าทราย ก่อนทากรดไฮโดรฟลูออริก จะทำให้ผิวพอร์ซเลนมีความขรุขระมากกว่ากลุ่มที่ทากรดบนผิวที่เรียบมัน

Wolf, Powers และ O'Keefe (1992) พบว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก 9.5% ทาผิวพอร์ซเลน จะเพิ่มค่าแรงยึดของคอมโพสิตเรซินกับผิวพอร์ซเลนมากกว่าการกรอผิวด้วยหัวกรอกากเพชร อธิบายโดย Mc Caughey (1993) ว่าหัวกรอกากเพชรทำให้เกิด macromechanical retention ส่วนการใช้กรดจะทำให้เกิดรูพรุนมากกว่า และเกิดเป็น micromechanical retention

Appeldoorn, Wilwerding และ Barkmeier (1993) เปรียบเทียบแรงยึดระหว่างคอมโพสิตกับพอร์ซเลน โดยใช้ไซเลนไพรเมอร์ 8 ชนิด ทดสอบที่ 24 ชั่วโมง และ 3 เดือน พบว่า Clearfill Porcelain Bond, Porcelite และ Scotchprime Ceramic Primer ให้ค่าแรงยึดไม่แตกต่างกันในช่วงเวลาทั้งสอง

Wolf และคณะ (1993) พบว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก 9.5% ทาผิวพอร์ซเลนจะเพิ่มค่าแรงยึดของ คอมโพสิตเรซินกับผิวพอร์ซเลน มากกว่าการเตรียมผิวโดยการเป่าทรายสนับสนุนโดยการศึกษาของ Suliman, Swift และ Perdigao (1993) ซึ่งพบว่าค่าแรงยึดของคอมโพสิตเรซินกับพอร์ซเลนที่ผ่านการทาด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก 9.6% ร่วมกับการกรอด้วยหัวกรอกากเพชรมีค่ามากกว่า การทาด้วยกรด, การกรอด้วยหัวกรอกากเพชรหรือการเป่าทรายเพียงอย่างเดียว แต่ความแตกต่างนี้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

Aida, Hayakawa และ Mizukawa (1995) ทดสอบการยึดคอมโพสิตแบบฉาบแสง (Laminabond) กับการเตรียมผิวพอร์ซเลน 5 วิธี แล้วใช้ไซเลนไพรเมอร์ 3 ชนิด พบว่าเมื่อใช้ 2% γ -MPTS/ethanol ซึ่งเป็นไซเลนไพรเมอร์ชนิดที่ผสมเอง ร่วมกับกรดไฮโดรฟลูออริกจะมีค่ากำลังแรงยึดสูงขึ้น แต่การเตรียมผิวพอร์ซเลนไม่มีผลต่อการใช้ไซเลนไพรเมอร์อีก 2 ชนิด คือ Porcelain Linear M และ Tokuso Ceramic Primer ซึ่งประกอบด้วย γ -MPTS และกรดอินทรีย์

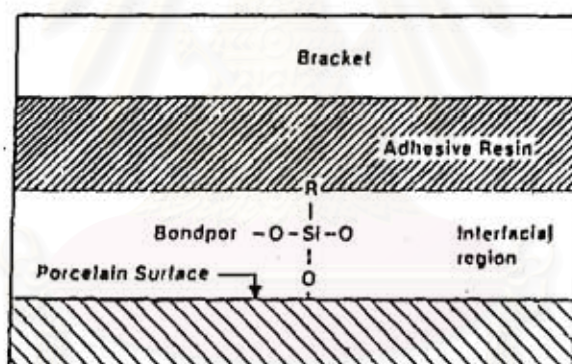
Cochran และคณะ (1997) ทดสอบค่ากำลังแรงดึงของคอมโพสิตต่อผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการเตรียมผิว 5 วิธี คือ เป่าทราย, เป่าทรายและใช้ไซเลนไพรเมอร์, ใช้กรดไฮโดรฟลูออริก ใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร่วมกับเป่าทราย, ขัดด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ 600 grit และใช้ไซเลนไพรเมอร์ พบว่าเมื่อไม่มีการใช้ไซเลนไพรเมอร์ การใช้กรดจะให้ผลที่ดีกว่าการเป่าทราย ซึ่งแม้จะทำได้ง่ายและรวดเร็ว แต่มีความยุ่งยากต่อการใช้งานในช่องปาก นอกจากนี้พบว่าการใช้ All-purpose bonding agents และไซเลนไพรเมอร์ ให้ค่ากำลังแรงดึงที่สูงมากสำหรับคอมโพสิตซึ่งทำให้มีการแตกหักของพอร์ซเลนได้มากขึ้น ขณะถอดแบร็กเกิด ดังนั้นสารทั้งสองอาจไม่จำเป็นในการยึดแบร็กเกิดโดยวิธีการยึดโดยตรง

การศึกษาการยึดติดของแบร็กเกตโลหะกับผิวพอร์ซเลน

Ghassemi-Tary (1979) ใช้อะคริลิกเรซินกับไซเลนไพโรเมอร์ ในการยึดแบร็กเกตโลหะกับผิวพอร์ซเลนที่ไม่ผ่านการเคลือบมัน พบว่าขนาดของแรงที่ได้อยู่ในช่วงที่ใช้ทางทันตกรรมจัดฟัน แม้ขนาดของแรงจะน้อยกว่าที่แนะนำโดย Reynold (1975) คือแรง 6-8 kgF และพบว่าค่ากำลังแรงเฉือนมีค่ามากกว่าค่ากำลังแรงดึง

Johnson (1980) พบว่าค่าแรงยึดของอะคริลิกเรซินกับพอร์ซเลนที่ทำไซเลนไพโรเมอร์ มีค่าเพียงพอที่จะรับแรงจากการจัดฟันและค่าแรงยึดไม่เสื่อมลง แม้ว่าจะผ่านความร้อน, ความชื้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างมากเป็นเวลานาน

Newman, Dressler และ Grenadier (1984) ศึกษาเรื่องเดียวกับ Ghassemi-Tary (1979) พบว่าแรงยึดของแบร็กเกตโลหะกับพอร์ซเลนซึ่งมีการใช้ไซเลนไพโรเมอร์ร่วมด้วย จะมีค่าน้อยกว่าแรงยึดแบร็กเกตโลหะกับผิวฟันธรรมชาติ และพบว่าค่ากำลังแรงยึดของคอมโพสิตบนพอร์ซเลนที่ไม่ผ่านการกรอหรือใช้ไซเลนไพโรเมอร์จะต่ำมากไม่สามารถทนแรงจัดฟันได้



รูปที่ 17 แสดงการเกิด coupling action ในการยึดแบร็กเกตกับพอร์ซเลน โดยใช้ Bondpor จาก Newman, Journal of Clinical Orthodontics; 17 (1983).

Wood และคณะ (1986) พบว่าการกรอผิวพอร์ซเลนจะทำให้ค่ากำลังแรงยึดสูงขึ้น ไม่ว่าจะใช้เรซินหรือไซเลนไพโรเมอร์ชนิดใด และการกรอเพียงอย่างเดียวสามารถให้ค่ากำลังแรงยึดได้เพียงพอ ไม่แตกต่างกับการกรอร่วมกับการใช้ไซเลนไพโรเมอร์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความขรุขระที่พื้นผิว ทำให้มีการยึดเชิงกลเพิ่มขึ้น

Smith และคณะ (1988) ให้ความเห็นว่าค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดของพอร์ซเลนกับเรซินขึ้นกับการเตรียมผิวและชนิดของวัสดุยึดด้วย ทั้งนี้หากทันตแพทย์จัดฟันเลือก System 1+ เป็นวัสดุยึด ควรกรอผิวพอร์ซเลนและใช้ไซเลนไพโรเมอร์ร่วมด้วย

Eustaquio และคณะ (1988) ศึกษาเปรียบเทียบค่ากำลังแรงดึง/ปอก ในการยึด แบรมกเกตกับผิวฟอร์ซเลน โดยใช้ไซเลนไพรเมอร์และวัสดุยึดต่างชนิด ผลที่ได้พบว่ากลุ่มที่ใช้ Ormco Porcelain Bonding Primer กับวัสดุยึด System 1+ ให้ค่ากำลังแรงดึง/ปอกสูงที่สุดและมากกว่ากลุ่มที่ใช้ Scotchprime Ceramic Primer กับวัสดุยึด Concise และพบว่าค่ากำลังแรงดึงของการกรอด้วยหัวกรอหินสีเขียวไม่ต่างกับผิวฟอร์ซเลนที่เรียบมันอย่างมีนัยสำคัญ จึงเสนอให้ติดแบรมกเกตบนผิวฟอร์ซเลนที่เรียบมัน เพื่อลดความเสียหายที่อาจเกิดกับฟอร์ซเลน

Kao และคณะ (1988) ศึกษาค่าแรงยึดของแบรมกเกตโลหะกับผิวฟอร์ซเลนที่ทากรด ไฮโดรฟลูออริกนาน 3 นาที กลุ่มที่ใช้ไซเลนไพรเมอร์จะมีค่ามากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้ โดยไม่สัมพันธ์กับชนิดของวัสดุยึด ชนิดของไซเลนไพรเมอร์ และเวลาในการถอดแบรมกเกต

Kao และ Johnston (1991) พบว่าค่าแรงยึดแบรมกเกตโลหะกับผิวฟอร์ซเลนที่ผ่านการกรอด้วยหัวกรอหินสีเขียว จะมีค่าสูงกว่ากลุ่มผิวเรียบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และกลุ่มที่ใช้ไซเลนไพรเมอร์ จะมีค่าแรงยึดสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ไฮโปไฟลแอลกอฮอล์ ทาผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Winchester (1991) ศึกษาแรงยึดของแบรมกเกตโลหะกับผิวฟอร์ซเลน โดยใช้ไซเลนไพรเมอร์ชนิดต่างๆ ได้แก่ Scotchprime, Command, Lee, Fusion พบว่า Fusion ให้ค่าแรงยึดสูงกว่าไซเลนไพรเมอร์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างของค่าแรงยึดในกลุ่มไซเลนไพรเมอร์อีก 3 ชนิด

Major, Koehler และ Manning (1995) ทดลองใช้ไพรเมอร์ 3 ชนิดคือ Ormco Porcelain Primer, Scotchprime Ceramic Primer และ All-bond2 ในการยึดแบรมกเกตโลหะบนฟอร์ซเลนโดยใช้วัสดุยึดคือ Phase II และ Rely-a-bond พบว่าค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดแบบเฉือน/ปอก ระหว่างไพรเมอร์กับวัสดุยึดแต่ละชนิดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้น Scotchprime กับ Ormco Primer ในการทดลองนี้มีการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก 2.5% ซึ่งไม่เข้มข้นพอที่จะทำให้เกิด micromechanical retention แต่ทำให้เกิดสภาพความเป็นกรดต่อชั้นอัลคาไลน์ของน้ำที่ผิวฟอร์ซเลนได้ ผลการทดลองสรุปว่าค่ากำลังแรงยึดที่เพียงพอต่อการทำ งานในคลินิก ที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อฟอร์ซเลนขณะถอดแบรมกเกต สามารถทำได้โดยไม่ต้องใช้วิธีเชิงกลใดๆ เปลี่ยนแปลงสภาพผิวของฟอร์ซเลน

Zachrisson, Zachrisson และ Büyükyilmaz (1996) ศึกษาค่ากำลังแรงดึงของแบรมกเกตต่อผิวฟอร์ซเลนชนิด เฟลสปาร์ติก เมทัล เซรามิก พบว่าเมื่อใช้ไซเลนไพรเมอร์ร่วมกับการเป่าทราย จะเพิ่มค่ากำลังแรงดึง และการใช้แอซิดูเลต ฟอสเฟต ฟลูออไรด์ 4% ให้ค่ากำลังแรงดึงเทียบได้กับกรดไฮโดรฟลูออริก 9.6% แต่มีประสิทธิภาพน้อยกว่า เมื่อพิจารณา ระหว่างวัสดุยึด 2 ชนิด พบว่า MCP-bond ไม่ได้ให้ค่ากำลังแรงดึงมากกว่า Concise อย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้ร่วมกับการเป่าทราย