บทที่ 2

วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง

รูปแบบของเซรามิกที่นำมาใช้ทำแบรกเก็ต

1. โพลิคริสตอลลีนอะลูมินา (Polycrystalline alumina : PCA)
2. ซิงเกิลคริสตอลลีนอะลูมินา (Single crystalline alumina) หรือโมโนคริสตอลลีนอะลูมินา (Monocrystalline alumina : MCA)

โดยคริสตอลลีนเซรามิกเหล่านี้อาจยึดกันด้วยพันธะอิออนนิก หรือพันธะโควาเลนต์ (ionic or covalent bond)

ลักษณะของแบรกเก็ตเซรามิกที่ผลิตมาจำหน่าย ทำมาในรูปแบบของเอดจ์ไวส์แบรกเก็ต (Edgewise bracket) ทั้งแบบทรู-สยามมีส (True-siamese) , เซมิสยามมีส (Semi-siamese) และแบบลูอีส/แลนด์ (Lewis/Land design)* แต่ยังไม่มีบริษัท หรือโรงงานใดผลิตในรูปผลิตภัณฑ์ของแบรกเก็ตเซรามิกแบบเบกก์ (Ceramic Begg bracket)

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ของแบรกเก็ตเซรามิก (Birnie,1990)

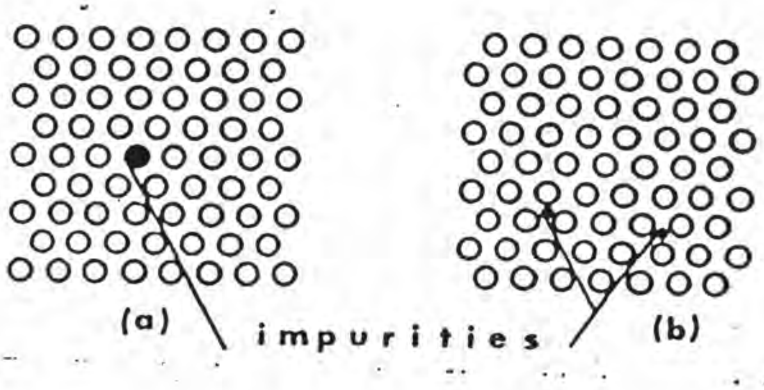
Bracket	**Material**	**Manufacturer/Supplier**
Gem	MCA	Ormco
Starfire	MCA	A Company
Illusion	PCA	Orthodontic Organisers
Ultra	PCA	Orthodontic Partners
Quasar	PCA	Rocky Mountain Orthodontics
Crystal	PCA	TOOC (The Other Orthodontic Company)
Transcend	PCA	Unitek/3M
20/20	PCA	American Orthodontics
Contour	PCA	Class One Orthodontics
Fascination	PCA	Dentaurum
AllureIII	PCA	GAC
Intrigue	PCA	Lancer Orthodontics
Elipse	PCA	Masel
Magic Touch	PCA	OIS Orthodontics
Silkon	Plastic/PCA	American Orthodontics
Harmony	not known	Hudson Orthodontics

แบรกเก็ตเซรามิกชนิดโพลีคริสตอลลีน อะลูมินา

เป็นเซรามิกที่ได้จากการเผา (sintered) และหลอมรวมกัน (fusion) ของอนุภาคอะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium oxide) โดยการผสมอะลูมิเนียมออกไซด์กับสารยึด (binder) เพื่อให้สามารถนำมาขึ้นรูป (mold) เป็นรูปร่างลักษณะของแบรกเก็ตได้ นำไปเผาจนอุณหภูมิสูงกว่า 1,800 องศาเซลเซียส เพื่อเผาส่วนที่เป็นสารยึดออกไปและเหลืออนุภาคของอะลูมิเนียมออกไซด์ ที่หลอมรวมกัน จึงนำไปตกแต่งโดยการกลึงด้วยเครื่องจักรที่ใช้การตัดแต่ง ซึ่งทำด้วยเพชร (machining with diamond cutting tools) ให้มีขนาดรูปร่างความกว้าง, ยาว, ลึก ของสลอตของแบรกเก็ตและขนาดรูปร่างของตัวแบรกเก็ตตามต้องการ จากนั้นจึงนำมาให้ความร้อน (heat treatment) เพื่อกำจัดส่วนผิวที่ไม่สมบูรณ์หรือรอยตำหนิ (surface imperfection) และเป็นการลดความเค้น (stress) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตัดแต่ง (cutting process) วิธีการให้ความร้อนจะต้องระมัดระวังไม่ให้ความร้อนสูงจนเกินไป เพราะจะทำให้เม็ด (grain) ของคริสตอลลีนเซรามิกหลอมรวมกันใหม่ ทำให้เสียคุณสมบัติทางกายภาพได้

อนุภาคของโพลีคริสตอลลีนเซรามิกนี้ยิ่งมีขนาดใหญ่จะยิ่งโปร่งแสง และมีความใสมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามวัสดุ จะเริ่มมีแนวโน้มที่จะอ่อนแอลง เมื่อขนาดของเม็ดอนุภาคตั้งแต่ 30 ไมโครเมตร (micrometer) ขึ้นไป (โดยการหลอมอะลูมิเนียมออกไซด์ ที่มีขนาด 0.3 ไมโครเมตร รวมเป็นเซรามิกที่มีขนาดเม็ดอนุภาคตั้งแต่ 20-30 ไมโครเมตร)

กระบวนการผลิตโพลิคริสตอลลีนแบรกเก็ตเซรามิก มีข้อดีคือสามารถผลิตแบรกเก็ตได้ในปริมาณมาก ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วย แต่ข้อเสียของกรรมวิธีการผลิตแบบนี้ ก็คือมักมีปัญหาเรื่องความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้าง ที่เม็ดอนุภาครอบนอก (structural imperfection of grain boundaries) และมีปริมาณของสิ่งปนเปื้อนที่ไม่บริสุทธิ์ (impurities) สูงกว่าแบบโมโนคริสตอลลีนเซรามิก ซึ่งการมีสิ่งปนเปื้อนเพียงแค่ 0.001% หรือมีตำหนิเล็กๆ ที่ผิวของวัสดุก็สามารถทำให้เกิดการรวมตัวของความเค้นบริเวณดังกล่าวสูงกว่าปกติ ทำให้ความสามารถในการต้านต่อแรงซึ่งทำให้วัตถุแตก (threshold load of brittle failure) ลดลงด้วย นั่นคือโอกาสที่แบรกเก็ตจะแตกหรือหักเมื่อได้รับแรงเพียงเล็กน้อยก็มีมากขึ้น



รูปที่ 1 ภาพ 2 มิติ แสดงการปนเปื้อนในผลึกของสาร
(a) เป็นการปนเปื้อนที่แทรกแทนที่อนุภาคของผลึก
(b) การปนเปื้อนที่แทรกอยู่ระหว่างอนุภาคของผลึก

แบรกเก็ตเซรามิกชนิดโมโนคริสตอลลีน

แบรกเก็ตเซรามิก ซึ่งผลิตจากกระบวนการที่ต่างจากแบบแรก โดยการหลอมละลายก้อนอะลูมิเนียมออกไซด์ ที่อุณหภูมิสูงกว่า 2,100 องศาเซลเซียส แล้วค่อยๆ ทำให้เย็นลงช้าๆ โดยควบคุมกระบวนการตกผลึก (crystallisation) อย่างระมัดระวัง ไม่ให้มีการรบกวนการเกิดผลึกที่ไม่สมบูรณ์ของเซรามิก ผลึกที่ได้จะมีความบริสุทธิ์สูงกว่าการเกิดผลึกตามธรรมชาติ จากนั้นจึงนำผลึก (crystal) ไปทำการตัดแต่ง (milling) เป็นรูปร่างและขนาดของแบรกเก็ตโดยการตัดด้วยเทคนิคอุลตราโซนิกคัตติ้ง (Ultrasonic cutting technique) หรือการตัดด้วยเพชร (Diamond cutting) หรือใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน จากนั้นจึงนำผลิตผลที่ได้ไปผ่านกระบวนการให้ความร้อน เพื่อกำจัดความไม่สมบูรณ์ของผิวและลดความเค้นจากการตัดแต่ง

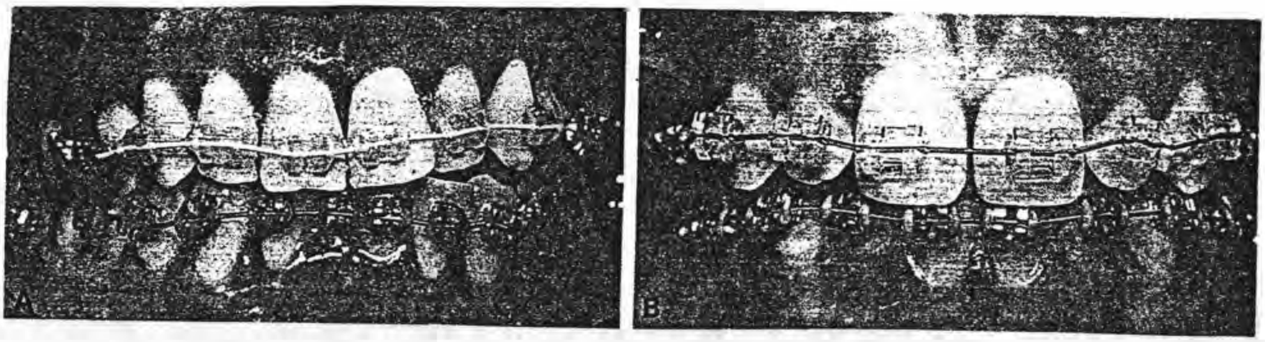
ข้อดีของการผลิตแบรกเก็ตด้วยวิธีนี้คือ เกิดตำหนิหรือสิ่งปนเปื้อนที่ไม่บริสุทธิ์น้อย ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดการแตกหักของแบรกเก็ต จากแรงกระทำจึงมีน้อยกว่าแบบแรก และแบรกเก็ตชนิดนี้มีความใสมากกว่าด้วย (รูปที่ 2) แต่ข้อเสียคือกระบวนการผลิตยุ่งยาก และเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตสูง

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเซรามิกชนิด MCA และ PCA (Swartz,1988)

Property	Single Crystal* Al $_2O_3$	99.9 Al $_2O_3$ Sintered
Modulus of Elasticity (Ksi)	63	57
Flexure Strength (Ksi)	92	41
Compressive Strength (Ksi)	300-600	350
Tensile Strength (Ksi)	260-375**	30-45
Color	Clear	Translucent, white to opaque,white/ivory
Structure	Single crystall with axial plane	Polycrystalline grains, anisotrophic

* Axis dependent.

** Sapphire Filament



รูปที่ 2 เปรียบเทียบลักษณะและความใสของแบรกเก็ตเซรามิกชนิด PCAและ MCA (Swartz,1988)

A : GAC's Allure ชนิดโพลิคริสตอลลีนแบรกเก็ต (PCA)

B : Ormco's Gem ชนิดโมโนคริสตอลลีนแบรกเก็ต (MCA)

คุณสมบัติทั่วไปของเซรามิก เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะ

1. คุณสมบัติทางเคมี (chemical properties) โลหะหรือสารโลหะผสมสามารถเกิดการหมองและกัดกร่อน (tarnish and corrosion) จากสารเคมีหรือสารอาหารในช่องปากได้ แต่เซรามิกมีคุณสมบัติต้านทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีสูงมาก จากการศึกษาพบว่า สารละลายที่สามารถละลายเซรามิกได้จะต้องเป็นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกเข้มข้น (Hydrofluoric acid) นอกจากนี้เซรามิกยังต้านต่อการติดสีจากสารอาหารที่รับประทานเข้าไป ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนสีหรือดูดซับกลิ่นอันไม่พึงปรารถนาไว้กับวัสดุ จึงเป็นข้อดีที่นำมาใช้ พิจารณาปรับปรุงเป็นวัสดุทันตกรรมหลายชนิด

2. คุณสมบัติทางด้านความสวยงาม (optical properties) เซรามิกมีความโปร่งแสงและสะท้อนแสงได้เช่นเดียวกับฟันและสามารถผลิตให้สีเข้ากับสีของฟันได้ (Shade matching) ซึ่งต่างจากแบรกเก็ตโลหะ ซึ่งมีสีของโลหะและทึบแสง จึงทำให้มองดูไม่สวยงาม คุณสมบัติข้อนี้ทำให้แบรกเก็ตเซรามิกเป็นที่ต้องการของตลาดมาก

3. คุณสมบัติเกี่ยวกับความร้อน (Thermal properties) เซรามิกนำความร้อนได้น้อย เนื่องจากไม่มีอิเล็กตรอนอิสระและทนต่อความร้อนสูง เพราะกระบวนการผลิตใช้ความร้อนสูงอยู่แล้ว สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (thermal expansion coefficient) ต่ำจึงทำให้ทนต่ออุณหภูมิสูงๆได้ และทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (thermocycling) จากอาหารต่างๆ ที่รับประทานเข้าไปในช่องปากได้ดี

4. คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) คุณสมบัติข้อนี้ของเซรามิกขึ้นกับคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุนั่นเอง ได้แก่

4.1 ความแข็ง (Hardness)

4.2 ความอ่อนตัวสามารถโค้งเปลี่ยนรูป (Ductility)

4.3 ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

4.4 ความแข็งแรงอัด (Compressive strength)

4.5 ความเหนียวซึ่งต้านต่อการแตกหัก (Fracture toughness)

ความแข็งและความอ่อนตัวสามารถโค้งเปลี่ยนรูป

เนื่องจากโลหะมีความแข็งคงที่น้อยกว่าเซรามิกมาก (รูปที่ 4) และมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปเมื่อได้รับแรงกระทำดีกว่า ดังนั้นเมื่อโลหะได้รับความเค้นกระทำจะมีการเลื่อนไถล (shift) ที่ขอบเขตของเกรน (grain boundaries) ทำให้เกิดการกระจายตัวใหม่ (redistribution) ของความเค้นและลดปริมาณของความเค้นลงได้ ดังนั้นโลหะจึงถูกเปลี่ยนรูปไปโดยไม่มีการแตกหักของวัตถุ ซึ่งการเปลี่ยนรูปนั้นอาจกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ (elastic deformation) หรือไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิม (plastic deformation) ขึ้นกับว่าแรงที่กระทำนั้น เกินกว่าระดับของการคืนกลับของโลหะนั้นหรือไม่ แต่เซรามิกมีความแข็งของเนื้อวัสดุมาก เนื่องจากมีทิศทางการเรียงตัวของแรงยึดระหว่างอะตอมค่อนข้างเฉพาะ (รูปที่ 3) ซึ่งลักษณะของออกซิไดซ์ อะตอมมิกแลททิซ (oxidized atomic lattice) นี้ไม่ยอมให้มีการเลื่อนไถลของพันธะระหว่างอะตอม และไม่มีการกระจายตัวใหม่ของความเค้น ดังนั้นเมื่อความเค้นมากถึงระดับวิกฤต (critical level) พันธะระหว่างอะตอม (interatomic bonds) เหล่านี้จะเกิดการหักและทำให้เกิดความล้มเหลวเนื่องจากการแตกหักของวัสดุที่เรียกว่า "Brittle failure" (Swartz, 1988) ซึ่งคุณสมบัติข้อนี้เป็นข้อเสียในการนำไปผลิตแบรกเก็ตเนื่องจากการถอดแบรกเก็ตออกจากผิวฟันนั้น เซรามิกไม่สามารถโค้งตัวได้แบบแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิมขณะที่ถูกรื้อ ทำให้ต้องใช้แรงมากกว่าในการถอดแบรกเก็ต ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดอันตรายต่อฟันย่อมมีมากตามไปด้วย

ความแข็งแรงดึง และความแข็งแรงอัด

เป็นความสามารถของวัตถุ ในการต้านต่อความเค้นสูงสุดที่เกิดการดึงหรือการอัดกระแทกโดยปราศจากการแตกหัก จากการศึกษาของ Scott (1987,1988) โดยทำการทดสอบคุณสมบัติในการต้านต่อแรงดึงของแบรกเก็ตเซรามิกเปรียบเทียบกับแบรกเก็ตโลหะ พบว่าแบรกเก็ตเซรามิกมีค่าสูงกว่าแบรกเก็ตโลหะอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 5) นอกจากนี้เขายังได้แสดงให้เห็นว่า ความแข็งแรงดึงของเซรามิกนั้นไม่เพียงเกี่ยวข้องกับปริมาณเนื้อวัสดุ (bulk property) ของเซรามิกเท่านั้น แต่ยังเกี่ยวข้องกับสภาพผิว (surface condition) ของเซรามิกด้วย ซึ่งต่างจากความแข็งแรงดึงของโลหะที่เกิดขึ้นจากคุณสมบัติของก้อนวัสดุเท่านั้น โดยที่สภาพผิวของโลหะแทบไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงเลย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่นำมาทำเป็นแบรกเก็ต (ถ้าเป็นลวดทางทันตกรรมอาจมีผลบ้าง) รอยขูดขีดหรือรอยครูดเล็กๆ ตื้นๆ (minute shallow scratches) บนผิวของเซรามิกมีผลทำให้ระดับความต้านทานต่อแรงหรือความเค้นของเซรามิกลดลง เพราะบริเวณเหล่านี้จะมีการรวมของความเค้นสูงทำให้วัตถุแตกได้ง่าย

ความเหนียวซึ่งต้านต่อการแตกหักของเซรามิก

เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเซรามิก ที่ทันตแพทย์จัดฟันควรคำนึงถึงอย่างมาก เพราะจะมีผลให้เกิดความล้มเหลวในการนำแบรกเก็ตเซรามิกมาใช้หน่วยที่ใช้วัดเป็น MPa$\sqrt{m}$ (เมกปาสคาลสแควร์รูทเมตร) คือค่าของความเค้น มีหน่วยเป็นปาสคาลและความยาวของรอยแตกเป็นเมตร

ปาสคาล เป็นหน่วยของความเค้น (F/A) คือ นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2 หรือ 105 dyne/m^2)

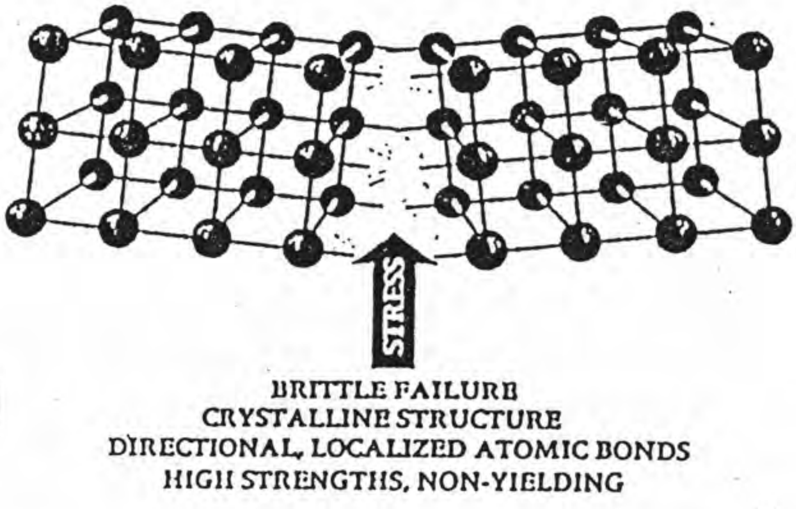
ค่าความเหนียวต้านต่อการแตกหักของเซรามิกชนิดโพลิคริสตอลลีนเป็น 3.0- 5.3 MPa$\sqrt{m}$ ของโมโนคริสตอลลีนเป็น 2.4 - 4.5 MPa$\sqrt{m}$ และของเหล็กกล้าไร้สนิม เป็น 80 - 95 MPa$\sqrt{m}$

นั่นคือ ค่าของเซรามิกต่ำกว่าค่าของเหล็กกล้าไร้สนิมมาก

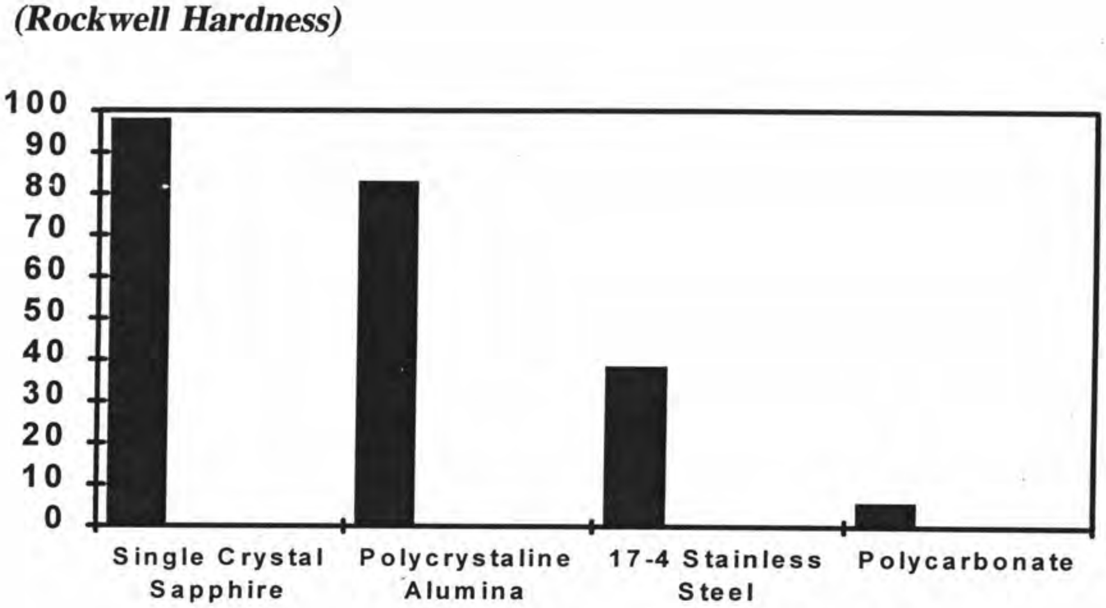
จากการศึกษาของ Scott (1987,1988) เกี่ยวกับความเหนียวของวัตถุซึ่งต้านต่อการหักของเซรามิกเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะ โดยการทดลองทำให้ เกิดรอยครูดขนาดเท่ากัน และเหมือนกันบนผิววัสดุของแท่งเซรามิกสองชนิด (PCA และ MCA) และแท่งเหล็กกล้าไร้สนิม แล้วนำไปบิด (flex) ให้แท่งเหล่านี้หัก พบว่าแรงที่ใช้ในการบิดแท่งเหล็กกล้าไร้สนิม มีค่ามากกว่าแรงที่ใช้ในการบิดแท่งเซรามิกอย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือแม้ว่าเซรามิกจะมีความแข็งมากก็ตาม แต่ถ้าหากเกิดรอยครูดหรือมีตำหนิแม้เพียงเล็กน้อยในเนื้อวัสดุหรือบนผิววัสดุ บริเวณดังกล่าวจะมีความเค้นสูง ความสามารถในการต้านต่อความเค้นจึงต่ำ ทำให้เกิดรอยร้าว (Cracks) ขึ้น จนถึงขั้นมีการแตกออกของเนื้อเซรามิกด้วย แม้แต่รอยตัดที่เป็นมุมแหลมหรือมุมฉากก็ตามก็ทำให้เกิดความเข้ม (concentration) ของความเค้นสูง ดังนั้นในการวิเคราะห์ความเค้นเพื่อออกแบบโครงสร้างของแบรกเก็ตเซรามิกโดยใช้ไฟไนท์-อีลีเมนต์ (finite element) พบว่าการออกแบบ เพื่อตัดแต่งแบรกเก็ตเซรามิกนี้บริเวณมุมของแบรกเก็ตควรทำให้โค้งมนไม่เป็นมุมแหลมคม เพื่อลดความเค้นที่จะเกิดขึ้นนั่นเอง (รูปที่ 6)

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของเซรามิก 2 ชนิด และเหล็กกล้าไร้สนิม (Birnie,1990)

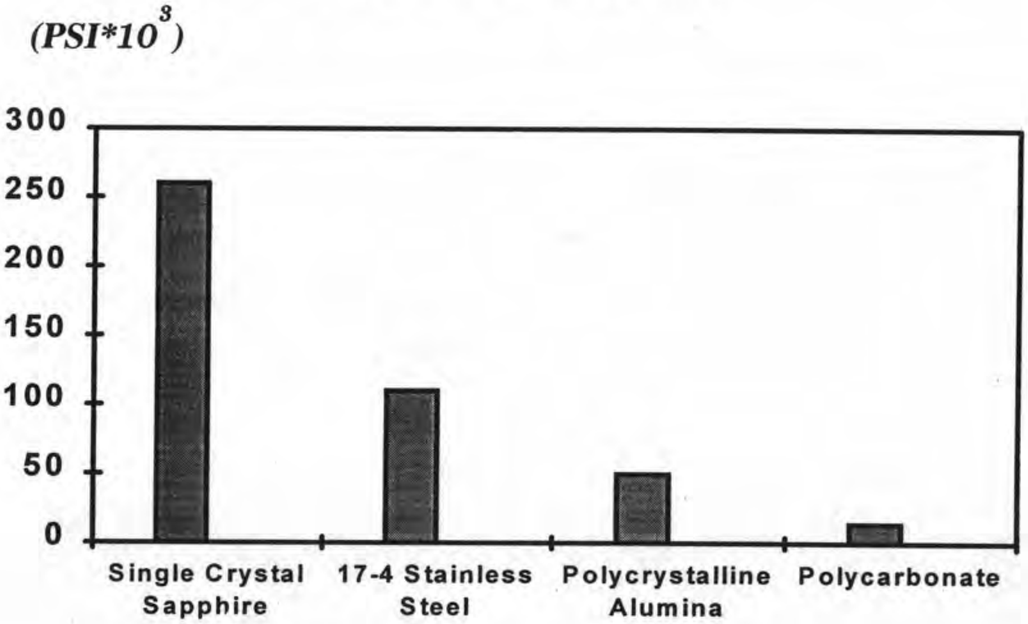
คุณสมบัติ	MCA	PCA	Staninless steel
Hardness (Rockwell)	97.5	82.5	5.35
Tensile strength (psix10^3)	260	55	30-40
Fracture toughness MPaM	2-4.5	3-5	80-95



รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างของอะตอมในผลึกเซรามิก ซึ่งไม่สามารถโค้งตัวตามความเค้นที่กระทำจึงเกิดการหักของพันธะระหว่างอะตอม (Swartz,1988)

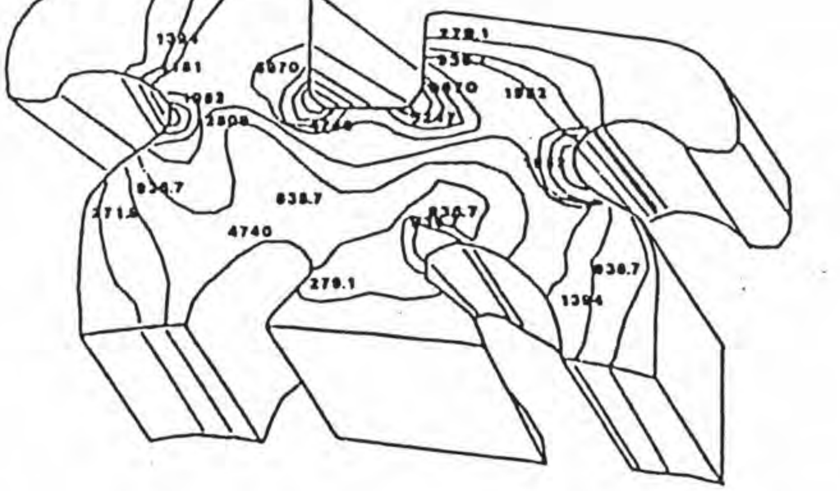


รูปที่ 4 เปรียบเทียบความแข็งผิวรอคเวลล์ของวัสดุ 4 ชนิด คือเซรามิกชนิดโพลิคริสตอลลีน, ซิงเกิลคริสตอลลีน, เหล็กกล้าไร้สนิม และโพลิคาร์บอเนต พลาสติก (Swartz,1988)



รูปที่ 5 เปรียบเทียบความแข็งแรงดึงของวัสดุ 4 ชนิด (Swartz,1988)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

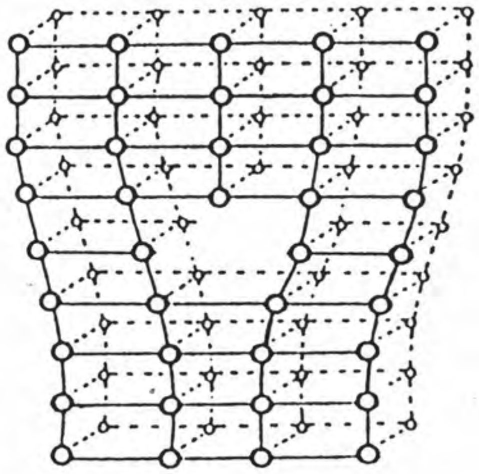


รูปที่ 6 แสดงการออกแบบแบรกเก็ตโดยใช้การวิเคราะห์ด้วยไฟไนท์ อีลีเมนต์ เพื่อลดความเค้นที่กระทำต่อแบรกเก็ต (Swartz,1988)

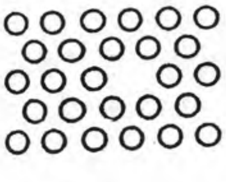
ความเค้นในเนื้อวัสดุ (internal stress) ทำให้เกิดรอยร้าวภายในและแพร่กระจายไปอย่างรวดเร็วผ่านวัตถุทั้งชิ้นจนกระทั่งเกิดการแตกขึ้น

ปัจจัยที่ทำให้เกิดความเค้นในเนื้อวัสดุ คือ

1. การผิดรูปของผลึกเซรามิก (Dislocation in a crystal) (รูปที่ 7)
2. การขูดขีดหรือหลุดลอกของผิววัตถุ
3. การมีรูพรุนของเนื้อวัสดุ (porosity) ทำให้มีการไถลตัวของอนุภาคข้างเคียงและการมีสิ่งปนเปื้อนซึ่งทำให้เนื้อวัสดุไม่บริสุทธิ์ ความเค้นจึงรวมตัวที่บริเวณดังกล่าวสูง (รูปที่1,8)
4. การทำให้วัสดุเย็นตัวลงจากอุณหภูมิที่ทำการเผาอย่างรวดเร็ว จนเกิดความแตกต่างของสัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อน ระหว่างในวัตถุและผิวด้านนอกของวัตถุจึงเกิดการแตกร้าวได้



รูปที่ 7 แสดงการผิดรูปของโครงสร้างของผลึกเซรามิก



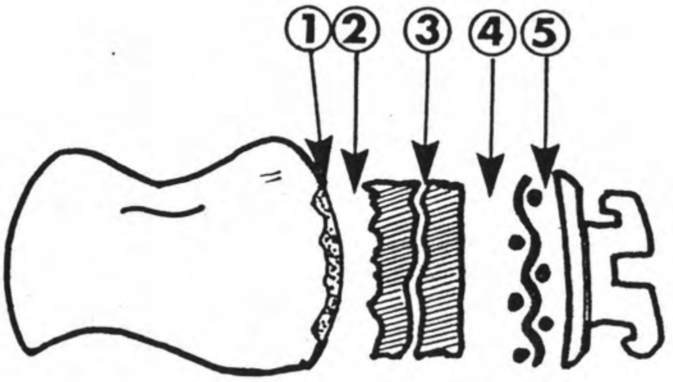
รูปที่ 8 แสดงลักษณะมีรูพรุนของวัสดุทำให้อนุภาคข้างเคียงไถลตัวเข้าแทนที่

จากคุณสมบัติของเซรามิกที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด โดยเฉพาะในแง่ของความสวยงามเพื่อสนองความต้องการของผู้ป่วย จึงได้มีการพัฒนาเซรามิกมาใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน โดยใช้ผลิตเป็นแบรกเก็ต ซึ่งแบรกเก็ตเซรามิกนี้จะมีสีใกล้เคียงกับตัวฟันมาก นอกจากนั้นแบรกเก็ตเซรามิกยังมีข้อดีในเรื่องความคงทนแข็งแรงของวัสดุ และความสามารถในการต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ความร้อน หรือการติดสีของสารอาหารในช่องปาก แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติเชิงกลของแบรกเก็ตเซรามิกที่มีความแข็งของวัสดุที่มากเกินไป ร่วมกับโครงสร้างของการเรียงตัวของอะตอมในเนื้อเซรามิกเองอันเป็นคุณสมบัติทางกายภาพ ทำให้เซรามิกมีความแข็งแต่เปราะและมีความสามารถในการต้านทานต่อการแตกหักต่ำ และข้อเสียที่สำคัญของแบรกเก็ตเซรามิก คือในขณะดีบอนด์แบรกเก็ตเซรามิกจะพบว่าผิวเคลือบฟันอาจถูกทำลาย เนื่องมาจากกำลังแรงยึดที่สูงมากของแบรกเก็ตเซรามิก จึงได้มีการศึกษาและวิจัยมากมาย ที่เกี่ยวกับค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดระหว่างผิวเคลือบฟัน-วัสดุยึด-ฐานแบรกเก็ต

ปัจจัยในการยึดของแบรกเก็ตกับผิวเคลือบฟันมีหลายประการ ซึ่งสามารถแยกได้เป็นปัจจัยทางด้านเทคนิคการติด และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับส่วนต่าง ๆ ในบริเวณที่ติดเครื่องมือเข้ากับตัวฟัน ปัจจัยทางด้านเทคนิคการติดเครื่องมือได้แก่ การทำความสะอาดผิวฟันไม่เพียงพอ การแยกบริเวณที่ทำการติดเครื่องมือจากน้ำลายไม่ได้ หรือการกัดผิวฟันด้วยกรดไม่ถูกวิธี ล้างกรดออกไม่หมด วิธีการใช้วัสดุไม่ถูกต้อง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้สามารถควบคุมได้โดยทันตแพทย์ ขณะปฏิบัติงานในคลีนิค ปัจจัยเกี่ยวข้องกับส่วนต่างๆ ในบริเวณที่ติดเครื่องมือเข้ากับตัวฟัน แสดงให้เห็นได้ในลักษณะของสายโซ่ ซึ่งประกอบด้วย ผิวเคลือบฟัน วัสดุยึด และแบรกเก็ต ความล้มเหลวในการยึดติดของแบรกเก็ตอาจเกิดขึ้นได้หลายลักษณะ (รูปที่ 9) กล่าวคือ

1. เกิดภายในผิวเคลือบฟัน
2. เกิดขึ้นระหว่างวัสดุยึดกับผิวเคลือบฟัน
3. เกิดขึ้นภายในวัสดุยึด
4. เกิดขึ้นระหว่างวัสดุยึดกับฐานแบรกเก็ต
5. เกิดขึ้นภายในตัวแบรกเก็ต

ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ ทันตแพทย์ผู้รักษาไม่สามารถควบคุมได้ในการปฏิบัติงาน แต่สามารถควบคุมโดยการเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้งาน และวิธีการต่าง ๆ ที่ได้มีผู้ทำการศึกษามาแล้ว

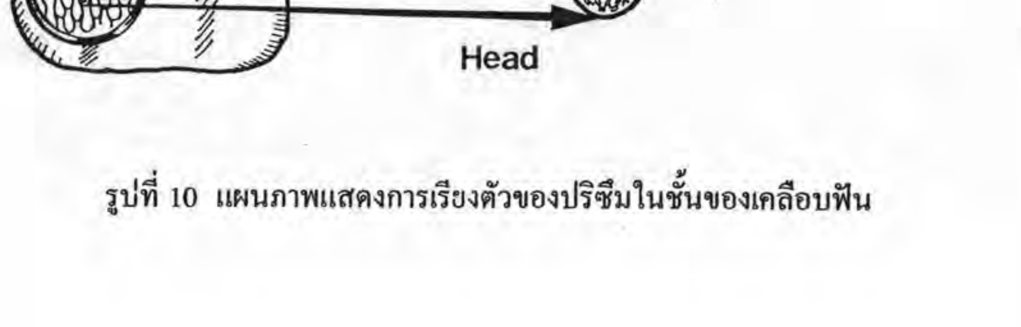


รูปที่ 9 แสดงแผนภาพของบริเวณที่อาจจะเกิดความล้มเหลวขึ้นในการยึดเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่นเข้ากับผิวเคลือบฟันด้วยวัสดุยึด

ผิวเคลือบฟัน

โครงสร้างของผิวเคลือบฟัน ประกอบด้วยหน่วยเล็ก ๆ ซึ่งเป็นผลึกของไฮดรอกซีอะปาไทต์ที่เรียงตัวกันอยู่อย่างเป็นระเบียบเรียกว่า Enamel prism (รูปที่ 10) ด้วยลักษณะดังกล่าว เมื่อใช้กรดอนินทรีย์ที่มีความเข้มข้นพอเหมาะกับผิวเคลือบฟัน (ในปัจจุบันนิยมใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 หรือร้อยละ 50) ผลึกของไฮดรอกซีอะปาไทต์ ส่วนที่เรียงตัวตั้งฉากกับผิวเคลือบฟันจะมีการละลายตัวออกไป เกิดเป็นช่องว่างขนาดเล็กขึ้น เราจึงสามารถยึดแบรกเก็ตติดกับผิวเคลือบฟันได้โดยใช้วัสดุยึด (Bonding agent) ส่วนของวัสดุยึดจะแทรกตัวลงไปในช่องว่างขนาดเล็กเหล่านี้ทำหน้าที่ยึดบริเวณฐานของแบรกเก็ตติดกับผิวเคลือบฟัน อย่างไรก็ตามผิวของเคลือบฟันที่ถูกกัดด้วยกรดนี้อาจจะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปอันเนื่องมาจาก

1. การเรียงตัวของผลึกไฮดรอกซีอะปาไทต์ในผิวเคลือบฟัน
2. ส่วนประกอบและรูปร่างของฟันแต่ละซี่
3. ความแตกต่างในส่วนประกอบของเคลือบฟันในแต่ละตำแหน่งบนตัวฟัน
4. ปริมาณของผิวเคลือบฟันที่ปราศจากปริซึม (Prismless enamel) บนผิวฟันของฟันแต่ละซี่
5. ความผิดปกติของโครงสร้าง ทั้งในส่วนประกอบที่เป็นอินทรีย์ และอนินทรีย์ของผิวเคลือบฟัน
6. ปริมาณของ Acquire pellicle ที่ปกคลุมผิวเคลือบฟันอยู่



รูปที่ 10 แผนภาพแสดงการเรียงตัวของปริซึมในชั้นของเคลือบฟัน

Diedrich (1981) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผิวเคลือบฟัน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดพบว่า ผิวเคลือบฟันภายหลังจากการกัดด้วย กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 50 มีความแตกต่างกัน 4 ลักษณะ ได้แก่ (รูปที่ 11)

1. Central etch type

เกิดจากการละลายตัวของผลึกไฮดรอกซีอะปาไทต์ ที่อยู่ในบริเวณแกนกลางของปริซึม ทำให้เกิดลักษณะคล้ายรวงผึ้งขึ้นบนผิวเคลือบฟัน

2. Peripheral etch type

ผลจากการกัดของกรดต่อบริเวณกึ่งกลางของปริซึมน้อยมาก การละลายตัวของผลึกไฮดรอกซีอะปาไทต์ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นบริเวณขอบของปริซึม Diedrich ได้ตั้งข้อสังเกตุว่าลักษณะเช่นนี้อาจจะเกิดจากการกัดของกรดในส่วนของปริซึมที่วางตัวอยู่ลึกลงไปในผิวเคลือบฟัน ซึ่งเป็นผลมาจากความไวต่อการกัดของกรดที่ไม่เท่ากันของบริเวณบนผิวเคลือบฟัน

3. Less structured etch type

มักจะพบลักษณะเช่นนี้ในบริเวณผิวเคลือบฟันที่มีปริซึมน้อย โดยเฉพาะในฟันที่ขึ้นใหม่และส่วนคอฟันของฟันที่มีอายุมาก โดยผิวเคลือบฟันจะมีลักษณะเป็นรูพรุนปะปนไปกับปุ่มเล็ก ๆ ที่ยื่นขึ้นมา

4. มีลักษณะคล้ายดาวหรือต้นเฟิร์น

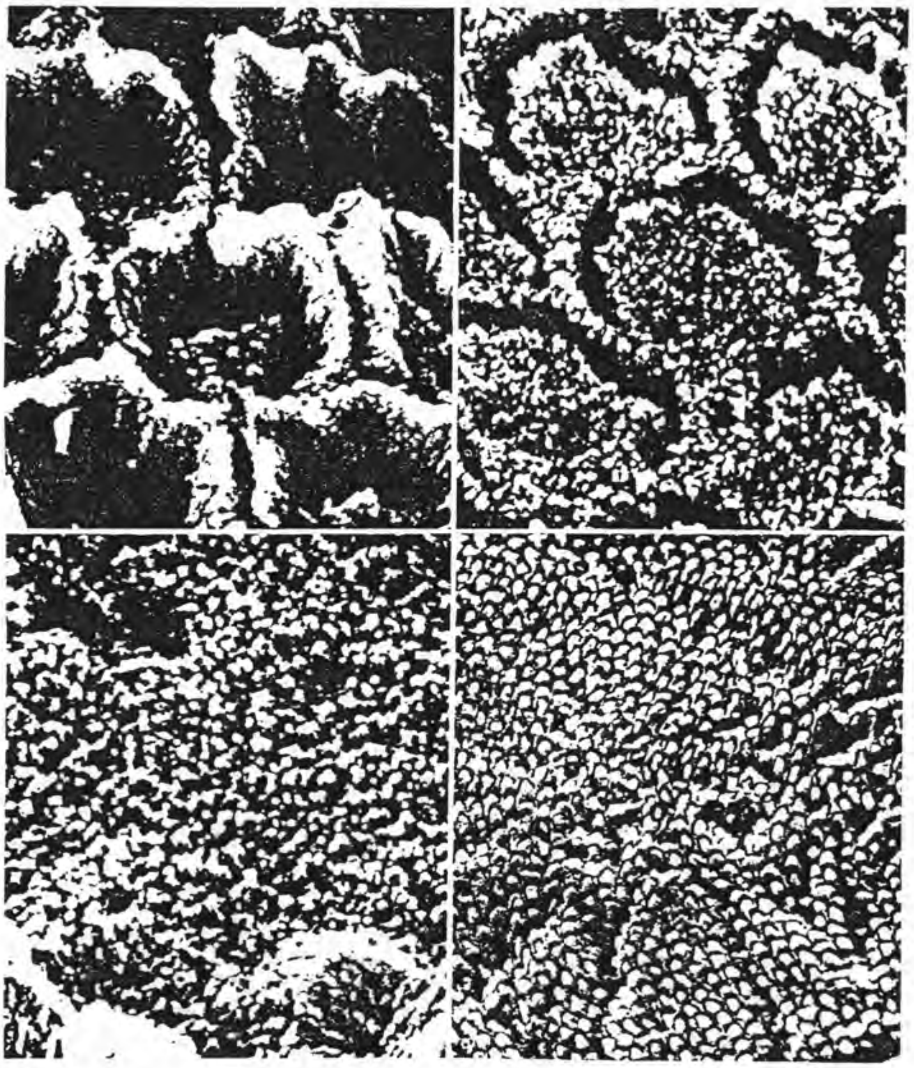
เป็นลักษณะที่พบได้น้อย เป็นผลเนื่องมาจากการเรียงตัวที่ผิดปกติของกลุ่มปริซึม

ซึ่งลักษณะของผิวเคลือบฟัน ดังกล่าวมาแล้วในข้อ 1 และ 2 ได้แก่ลักษณะ Central และ Peripheral etch type เป็นลักษณะที่สามารถยึดกับวัสดุได้ดี ส่วนลักษณะในข้อ 3 และ 4 เป็นลักษณะที่ให้แรงยึดเกาะต่ำ

Sheykholesoam และ Brandt (1977) ได้ชี้ให้เห็นว่ามีปัจจัยอยู่ 2 กลุ่ม ที่มีอิทธิพลต่อการละลายตัวของผิวเคลือบฟัน และรูปแบบที่เกิดจากการกัดกร่อนของผิวฟันด้วยกรด คือ

1. ปัจจัยก่อนฟันขึ้น (Pre-eruptive Factors) ที่อาจมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและจุลกายวิภาคของฟัน ซึ่งเกิดขึ้นในขณะที่ฟันยังมีการพัฒนา หรือก่อนที่จะขึ้นมาในช่องปาก เช่น การเกิด Hypocalcification หรือ Hypoplasia ของฟันแท้ เนื่องมาจากการติดเชื้อของรากฟันน้ำนมหรือการดูดซึมสารฟลูออไรด์จากอาหาร และนำมาสะสมไว้มากเกินไปจนเกิดภาวะ Fluorosis ขึ้น ในผิวเคลือบฟัน และการได้รับฟูลออไรด์ที่เพียงพอ จะมีผลให้ฟันอิ่มตัวด้วยฟูลออไรด์ สภาวะเช่นนี้จะเพิ่มความต้านทานของตัวฟันต่อการกัดกร่อนของกรด

ก ข



ค ง

รูปที่ 11 แสดงการเปลี่ยนแปลงในลักษณะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนผิวเคลือบฟันจากการทดลองของ Diedrich (1981)

ก. บริเวณผิวเคลือบฟันที่มีลักษณะแบบ Central etch type

ข. บริเวณผิวเคลือบฟันที่มีลักษณะแบบ Peripheral etch type ซึ่งสันนิษฐานว่าเกิดจากการแตกหักของบริเวณขอบของปริซึมในกลุ่มแรก

ค. บริเวณผิวเคลือบฟันที่มีลักษณะแบบ Less structured etch type ผิวเคลือบฟันจะมีลักษณะเป็นรูพรุนเล็ก ๆ จำนวนมาก

ง. บริเวณผิวเคลือบฟันที่มีลักษณะคล้ายดาวหรือเฟิร์น

2. ปัจจัยหลังฟันขึ้น (Post-eruptive factor) ได้แก่ ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายตัวของผิวเคลือบฟัน ภายหลังจากที่ฟันได้ขึ้นมาในช่องปากแล้ว เช่น การใช้ฟูลออไรด์เฉพาะที่ จะเป็นสาเหตุให้ผิวเคลือบฟันมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนของกรดได้มากขึ้น นอกจากนี้การมีคราบจุลินทรีย์และ Acquire pellicle จะเป็นสิ่งที่ขัดขวางไม่ให้กรดแพร่ไปสู่ผิวเคลือบฟันได้

ในการศึกษาเกี่ยวกับกำลังแรงยึดของแบรกเก็ตเซรามิกพบว่าชนิดของกรดที่ใช้จะมีผลต่อแรงยึดและบริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติด

Maskeroni และคณะ (1990) ทำการศึกษากรดที่ใช้ในการกัด (etching) 2 ชนิด

1. กรดฟอสฟอริก
2. กรดโพลิอะคริลิก

พบว่าการเตรียมพื้นผิวโดยการใช้กรดโพลิอะคริลิก ทาบริเวณผิวเคลือบฟันจะลดกำลังแรงยึดแบบเฉือนของแบรกเก็ตเซรามิกกับผิวเคลือบฟัน ประมาณ 48% เมื่อเทียบกับการใช้กรดฟอสฟอริก และพบว่า ในฟันที่เตรียมพื้นผิวโดยใช้กรดฟอสฟอริก เมื่อทำการดีบอนด์ จะพบบริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติด คือ บริเวณระหว่างแบรกเก็ตกับวัสดุยึด จึงเหลือปริมาณวัสดุยึดส่วนใหญ่บนผิวเคลือบฟันแต่ในฟันที่ใช้กรดโพลิอะคริลิก เตรียมพื้นผิวเมื่อทำการดีบอนด์ จะพบบริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติดคือ บริเวณระหว่างผิวเคลือบฟันกับวัสดุยึด จึงพบปริมาณวัสดุยึดส่วนใหญ่บนฐานของแบรกเก็ต

Bishara และคณะ (1993) พบว่าการใช้กรดโพลิอะคริลิกเตรียมพื้นผิวฟัน วัสดุยึดจะแทรกไปในผลึกที่เกาะบนผิวเคลือบฟัน มากกว่าที่จะแทรกเข้าไปในผิวเคลือบฟัน ดังนั้นความล้มเหลวในการยึดติดขณะดีบอนด์ จะเกิดภายในผลึก ไม่ทำอันตรายต่อผิวเคลือบฟัน แต่การใช้กรดฟอสฟอริกเตรียมพื้นผิวฟัน วัสดุยึดติดจะแทรกเข้าไปในผิวเคลือบฟันบริเวณที่ถูกกรดกัดทำให้ขณะดีบอนด์อาจเกิดอันตรายต่อผิวเคลือบฟันได้

Smith (1973) แนะนำให้ใช้กรดโพลิอะคริลิก เนื่องมาจากข้อดี เมื่อเทียบกับการใช้กรดฟอสฟอริก คือ

1. พื้นผิวเคลือบฟัน จะไม่ถูกทำลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
2. การรื้อแบรกเก็ต และขจัดวัสดุยึด ทำได้ง่าย
3. มีการสูญเสียชั้นผิวเคลือบฟันที่มีฟลูออไรด์อยู่มาก เป็นจำนวนน้อย
4. ถ้ามีวัสดุยึดหลงเหลืออยู่บนผิวเคลือบฟัน จะมีเป็นจำนวนน้อยภายหลังการดีบอนด์

วัสดุยึด

การใช้วัสดุยึด ในทางทันตกรรมจัดฟันได้เป็นทางเลือกสำหรับการหลีกเลี่ยงการใช้ปลอกโลหะรัดฟัน โดย Newman (1965) เป็นบุคคลแรกที่นำเอาวัสดุยึดติด มาใช้ในการยึดติดของแบรกเก็ตกับผิวเคลือบฟัน โดยในระยะแรกวัสดุยึดที่ใช้จะเป็นวัสดุยึดชนิดบ่มตัวเอง (chemical cure resin) ซึ่งวัสดุยึดชนิดนี้จะมีข้อด้อยคือ จะแข็งตัวเร็ว และมีระยะเวลาการทำงาน (working time) ที่จำกัด ทำให้เกิดผลตามมา คือ ตำแหน่งของแบรกเก็ตที่ติดจะไม่ค่อยดี นอกจากนั้นในการผสมวัสดุยึดชนิดนี้ ถ้าผสมไม่ดีอาจมีฟองอากาศอยู่ภายในเนื้อวัสดุที่ผสมเสร็จแล้ว ทำให้กำลังแรงยึด (bond strength) ลดลง และเพิ่มความพรุนของผิว (surface porosity) อีกด้วย ในปัจจุบันได้มีการนำวัสดุยึดชนิดบ่มตัวเองที่ไม่ต้องผสมมาใช้ เนื่องมาจากความสะดวกในการใช้งาน แต่ในแบรกเก็ตเซรามิกการใช้วัสดุยึดชนิดไม่ต้องผสมเป็นข้อห้ามที่สำคัญ เนื่องมาจากวัสดุยึดชนิดไม่ต้องผสมจะประกอบไปด้วยความเข้มข้นที่สูงของตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อจะให้การแข็งตัวของวัสดุยึดเกิดได้เร็วขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของวัสดุยึดมากกว่าในวัสดุยึดชนิดต้องผสม และวัสดุยึดชนิดไม่ต้องผสมจะถูกออกแบบมาเพื่อให้มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มที่บางที่สุด เพื่อไม่ให้มี Polymerization shrinkage แต่ในแบรกเก็ตเซรามิกที่กลไกการยึดติดเป็นแบบเชิงกล จะมีลักษณะของฐานเป็นร่องหรือเป็นหลุม ซึ่งจะทำให้เกิดความหนาของวัสดุยึด จึงไม่เหมาะกับคุณสมบัติที่ต้องมีความบางที่สุดของวัสดุยึดชนิดไม่ต้องผสม

ต่อมาวัสดุยึดชนิดบ่มตัวด้วยแสง (light cure adhesive resin) ได้ถูกนำมาใช้ในการบูรณะฟันจึงได้มีการพัฒนานำมาใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน โดยใช้ในการยึดติดแบรกเก็ตกับผิวเคลือบฟัน โดยมีข้อดีคือจะเกิดการโพลิเมอร์ไรเซชั่น (polymelization) เมื่อได้รับแสง (vesible light spectrum ที่มีความยาวคลื่น 450 ถึง 470 ไมโครเมตร) ทำให้มีเวลาในการติดตำแหน่งของแบรกเก็ตให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้อง เนื่องจากคุณสมบัติ "Command set" ของวัสดุยึดและในวัสดุยึดชนิดบ่มตัวด้วยแสงจะมีความพรุนของผิว (surface porosity) น้อยอีกด้วย

Joseph และ Rossoruw (1990) ได้เปรียบเทียบความแตกต่างของกำลังแรงยึดแบบเฉือนของแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม และแบรกเก็ตเซรามิก ที่ใช้วัสดุยึดติดชนิดบ่มตัวได้เอง และชนิดบ่มตัวด้วยแสง รวมทั้งศึกษาบริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติด พบว่า

1. แบรกเก็ตเซรามิก และแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม ที่ยึดติดกับผิวเคลือบฟันด้วยวัสดุยึดติดทั้งชนิดบ่มตัวเองและบ่มตัวด้วยแสง จะให้ค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือน ที่สูงกว่าที่ยอมรับทางคลินิก (ซึ่งค่าแรงยึดทางคลินิกจะมีค่าประมาณ 60-80 kg/cm^2 หรือ 6 to 8 MN/m^2)

2. การเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระหว่างการใช้วัสดุยึดติดชนิดบ่มตัวเอง และบ่มตัวด้วยแสงของแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม จะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเพราะว่าโลหะมีการเปลี่ยนรูปและจะทำให้เกิดระนาบการแตก ก่อนที่จะมีการแตกภายในวัสดุยึด

3. การเปรียบเทียบ ค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนระหว่างการใช้วัสดุยึดติดชนิดบ่มตัวเอง และบ่มตัวด้วยแสงของแบรกเก็ตเซรามิกมีความแตกต่างกันในค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนขึ้นกับชนิด ของวัสดุยึดติด โดยในกลุ่มแบรกเก็ตเซรามิกที่ใช้วัสดุยึดติดชนิดบ่มตัวเอง (มีลักษณะ macrofilled and more elastic) จะมีค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนมากกว่าในกลุ่มที่ใช้วัสดุยึดติดชนิดบ่มตัวด้วยแสง (microfilled and more brittle) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

4. ในกลุ่มของแบรกเก็ตเซรามิก จะมีค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนสูงกว่าในกลุ่มแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5. ในกรณีใช้วัสดุยึดติดชนิดบ่มตัวเอง กับแบรกเก็ตเซรามิก จะปรากฏการแตกหักของผิวเคลือบฟันถึง 40% ดังนั้นควรจะระมัดระวังการใช้แบรกเก็ตเซรามิก โดยมีวัสดุยึดติดเป็นชนิดบ่มตัวเอง ในฟันที่รักษารากแล้ว หรือในฟันที่เป็นฟันตาย (non vital tooth) การดีบอนด์แบรกเก็ตภายหลังการจัดฟันสิ้นสุดลง อาจทำให้ฟันประเภทนี้มีการแตกหักของผิวเคลือบฟัน

6. พบว่ามีการแตกหักของแบรกเก็ตเซรามิก ถึง 6.66% ในขณะที่ไม่พบการแตกหักของแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิมเลย

Sam และคณะ (1993) ศึกษาเปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนของแบรกเก็ตเซรามิก Transcend โดยใช้วัสดุยึดเป็นชนิดบ่มตัวเอง 2 ชนิด มีชื่อทางการค้าว่า Concise และ Dyna - Plus และศึกษาถึงบริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติด พบว่า

1. ในแบรกเก็ตเซรามิกที่ใช้ Concise เป็นวัสดุยึดติด จะมีค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือน สูงกว่าในกลุ่มแบรกเก็ตเซรามิกที่ใช้ Dyna - Plus เป็นวัสดุยึดติด เพราะว่าจากการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุยึดติดทั้ง 2 ชนิด โดยใช้เครื่อง Thermogravimetric analysis และศึกษาแรงยึดโดยใช้ Diametral compression test พบว่าในวัสดุยึดติดชนิดบ่มตัวเอง ที่มีชื่อทางการค้าว่า Dyna - Plus จะมีเปอร์เซนต์ของฟิลเลอร์น้อย และมีค่า Intrinsic strength น้อย เมื่อเทียบกับ Concise ซึ่งจากทั้ง 2 ประการนี้จะเป็นสาเหตุให้ค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนในกลุ่มแบรกเก็ตเซรามิกที่ใช้ Dyna - Plus เป็นวัสดุยึดติดมีค่าน้อยกว่า และง่ายต่อการหลุดมากกว่าในกลุ่มแบรกเก็ตเซรามิกที่ใช้ Concise เป็นวัสดุยึดติด

2. บริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติด ในกลุ่มแบรกเก็ตเซรามิกที่ใช้ Concise เป็นวัสดุยึดติด ส่วนใหญ่จะพบบริเวณระหว่างแบรกเก็ตกับวัสดุยึด แสดงให้เห็นว่า การยึดติดแบบเชิงกลของผิวเคลือบฟันกับวัสดุยึด แข็งแรงกว่าการยึดติดแบบพันธะเคมี ของแบรกเก็ตกับวัสดุยึด

3. บริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติดในกลุ่มแบรกเก็ตเซรามิกที่ใช้ Dyna-Plus เป็นวัสดุยึดติด จะพบหลาย ๆ บริเวณ เช่น บริเวณระหว่างผิวเคลือบฟันกับวัสดุยึด , บริเวณภายในวัสดุยึด , บริเวณระหว่างแบรกเก็ตกับวัสดุยึด

ในการศึกษานี้ไม่พบการแตกหักของผิวเคลือบฟัน ซึ่งต่างจากการศึกษาของ Joseph และ Rossouw (1990) พบการแตกหักของผิวเคลือบฟันถึง 40% ในกลุ่มแบรกเก็ตเซรามิก Transcend ที่ใช้วัสดุชนิดบ่มตัวเอง (Concise) และการศึกษาเกี่ยวกับบริเวณที่มีความล้มเหลวก็แตกต่างกับการศึกษาของ Gwinnett (1988) ที่พบบริเวณที่มีความล้มเหลวในการแตกหักในกลุ่มแบรกเก็ตเซรามิกที่ใช้ Concise เป็นวัสดุยึดโดยจะพบที่บริเวณระหว่างผิวเคลือบฟันกับวัสดุยึด

Ostertag และคณะ (1991) ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแอคฮีซีพฟิลเลอร์ที่มีผลต่อค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนและมีผลต่อบริเวณที่มีความล้มเหลวของการยึดติดของแบรกเก็ตเซรามิก 3 ชนิด พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนในแต่ละชนิดของแบรกเก็ต ที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแอคฮีซีพฟิลเลอร์ อย่างไรก็ตามจะมีการเพิ่มแรงยึด เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของฟิลเลอร์ ซึ่งตรงกับการศึกษาของ Sam และคณะ (1993) และพบว่าไม่มีความแตกต่างกันในบริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติด เมื่อมีการเปลี่ยนความเข้มข้นของแอคฮีซีพฟิลเลอร์

Winchester (1991) ทำการศึกษากำลังแรงยึดแบบเฉือน ในแบรกเก็ต เซรามิก 4 ชนิด ได้แก่ Transcend, Starfire, Allure, Intrigue โดยใช้วัสดุยึดติดชนิดบ่มตัวด้วยแสง 2 ชนิด คือ Prismafil ซึ่งมีปริมาณฟิลเลอร์ 79% , Heliosit ซึ่งมีปริมาณฟิลเลอร์ 15% พบว่าในการใช้วัสดุยึดชนิด Heliosit ที่มีฟิลเลอร์ต่ำในการยึดแบรกเก็ตเซรามิกจะมีค่ากำลังแรงยึดมากกว่า การใช้วัสดุยึดชนิด Prismafil ที่มีปริมาณฟิลเลอร์สูง ซึ่งต่างจากแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม ที่พบว่าถ้าในวัสดุยึดมีปริมาณฟิลเลอร์สูงจะมีค่ากำลังแรงยึดระหว่างแบรกเก็ตกับฟันสูงด้วย แต่ในการศึกษาของ Winchester เขาอธิบายว่าในแบรกเก็ตเซรามิกที่ให้ผลของค่ากำลังแรงยึดต่ำลง เมื่อใช้วัสดุยึดที่มีปริมาณฟิลเลอร์สูง เนื่องจากความแตกต่างของความหนาของวัสดุยึดติด กล่าวคือ Prismafil จะมีความหนืดมาก ทำให้มีความหนาของวัสดุยึดติดมาก ค่ากำลังแรงยึดจึงต่ำ และอีกเหตุผลคือ ในวัสดุที่มีความหนืดต่ำ เช่น Heliosit จะให้ longer tay ซึ่งจะยื่นเข้าไปในผิวเคลือบฟันที่ถูกกรดกัดทำให้มีค่ากำลังแรงยึดสูง

แบรกเก็ต

แบรกเก็ตเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องมือที่มีบทบาทสำคัญในเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น เนื่องจากเป็นส่วนที่ส่งผ่านแรงที่เกิดขึ้นในการจัดฟันไปยังตัวฟัน ในปัจจุบันแบรกเก็ตที่ใช้ในเทคนิคไดเร็กบอนด์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กล่าวคือ

1. แบรกเก็ตโลหะ

แบรกเก็ตโลหะที่ใช้ในเทคนิคไดเร็กบอนด์ ได้ถูกดัดแปลงมาจากแบรกเก็ตแบบเดิมที่ใช้เชื่อมติดกับปลอกโลหะรัดฟัน

ในปี ค.ศ. 1967 Mitchell ได้เสนอรายงานการทดลองใช้แบรกเก็ตทางทันตกรรมจัดฟันติดเข้ากับฟันโดยตรง โดยไม่ต้องใช้ปลอกโลหะรัดฟันซึ่งมีจุดมุ่งหมายในการเปรียบเทียบแรงยึดของซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อแบรกเก็ตดังกล่าวในการเคลื่อนฟันธรรมชาติ แบรกเก็ตที่นำมาใช้เป็นแบรกเก็ตที่ใช้ในวิธีเอดจ์ไวส์

แบรกเก็ตโลหะที่มีการนำมาใช้กับวิธีไดเร็กบอนด์อย่างจริงจังในระยะแรกทำโดยการดัดแปลงจากแถบโลหะที่ใช้ทำปลอกโลหะรัดฟัน โดยการเชื่อมแถบขนาดเล็กเข้ากับตัวแบรกเก็ตด้วยไฟฟ้าและเจาะรูเล็ก ๆ จำนวน 7-8 รูลงบนแถบโลหะดังกล่าว เพื่อช่วยในการยึดเกาะกับวัสดุยึด จากนั้นได้มีการผลิตแบรกเก็ตที่มีฐานมีลักษณะเป็นรูพรุนโดยรอบตามขอบของฐานแบรกเก็ต เพื่อนำมาใช้กับวัสดุยึดซึ่งสามารถบ่มตัวได้ด้วยแสง ด้วยหวังว่าวัสดุยึดจะสามารถบ่มตัวได้ด้วยแสงจากรูเล็ก ๆ ที่มีอยู่ตามขอบของฐานแบรกเก็ต ต่อมาได้มีการปรับปรุงแบรกเก็ตดังกล่าวมาเป็นแบรกเก็ตที่มีรูพรุนทั่วบริเวณฐานแบรกเก็ต วัสดุยึดที่เกินออกมานี้เมื่อแข็งตัวจะเป็นส่วนที่ขัดขวางการผูกลวดรอบปีกของแบรกเก็ต อีกทั้งยังทำให้เกิดพื้นผิวหยาบซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดคราบจุลินทรีย์ได้ง่าย และเมื่อวัสดุยึดที่อยู่ตามรูพรุนเหล่านี้แตกออกก็จะเป็นการเปิดโอกาสให้น้ำลาย เศษอาหาร และคราบจุลินทรีย์หลุดรอดเข้าไปสะสมอยู่ระหว่างฐานแบรกเก็ตและวัสดุยึด

เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและแก้ไขข้อเสียซึ่งเกิดจากแบรกเก็ตที่ฐานมีลักษณะรูพรุนจึงทำให้มีการพัฒนาแบรกเก็ตที่ด้านล่างของฐานมีลักษณะเป็นตะแกรงโลหะขึ้นมา ซึ่งฐานแบรกเก็ตแบบนี้จะมีส่วนเกาะเกี่ยวเป็นตะแกรงโลหะอยู่บริเวณส่วนล่างของฐานแบรกเก็ตที่จะสัมผัสกับผิวฟัน ส่วนของฐานที่เชื่อมติดกับตัวแบรกเก็ตจะเป็นแผ่นเหล็กไร้สนิมซึ่งเรียบและบาง

ทั้งสองส่วนนี้จะถูกเชื่อมติดกันด้วยวิธีเชื่อมด้วยความร้อนที่เกิดจากไฟฟ้า หรือใช้วิธีบัดกรีให้ติดกัน โดยมีโลหะผสมเป็นตัวกลาง ส่วนที่เป็นแผ่นโลหะไร้สนิมจะป้องกันไม่ให้วัสดุยึดส่วนเกินทะลักออกมาทางด้านหน้า และตะแกรงลวดที่อยู่ทางด้านหลังก็สามารถให้ความแข็งแรงในการยึดที่ดีได้

2. แบรกเก็ตพลาสติก

Newman (1969) เป็นบุคคลแรกที่พัฒนาแบรกเก็ตพลาสติกเพื่อใช้ในเทคนิคไดเร็กบอนด์โดยเลือกใช้โพลิคาร์บอเนตที่ไม่มีวัสดุอัดแทรก (Unfilled Polycarbonate) ในการผลิตแบรกเก็ต แบรกเก็ตพลาสติกนี้จะใช้อีพอกซีเรซิน เป็นวัสดุยึดแบรกเก็ตเข้ากับตัวฟัน นอกเหนือจากอีพอกซีเรซินแล้วแบรกเก็ตนี้ยังสามารถยึดติดกับวัสดุยึดที่มีเบสเป็นเมทิลเมทาคริเลตเช่นOrthomite II (Rocky Mountain Orthodontics), Bracket Bond (G.A.C. N.Y.) และ Bond-Eze (Unitek Corporation) ซึ่งเป็นเบสที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับแบรกเก็ตพลาสติกได้โดยตรง แต่ถ้าหากจะใช้วัสดุยึดที่มีเบสเป็น BIS-GMA กับ แบรกเก็ตพลาสติกจะต้องใช้ร่วมกับไพรเมอร์ Pulido (1983) พบว่าในการยึดแบรกเก็ตพลาสติกด้วยวัสดุในกลุ่ม BIS-GMA ถ้าหากใช้ร่วมกับไพรเมอร์จะมีความต้านทานต่อแรงดึงมากกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้ไพรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญ

แบรกเก็ตพลาสติกมีข้อดีในด้านให้ความสวยงามและสามารถสร้างพันธะเคมีกับวัสดุยึดได้ ทำให้มีความแข็งแรงในการยึดสูงกว่าแบรกเก็ตโลหะ (Reynold,1977) แต่แบรกเก็ตพลาสติกก็มีข้อเสียบางประการ เช่น มีความแข็งแรงน้อยมักจะบิดหรือแตกหักในระหว่างการรักษา Aird และ Durning (1987) ได้ทำการศึกษาการแตกหักของแบรกเก็ตพลาสติกโดยการใช้ลวดและขนาดแรงที่ใช้ในการจัดฟัน พบว่าการใส่ลวดลงในร่องแบรกเก็ตไม่ว่าจะเป็นลวดกลมหรือลวดสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือแม้แต่การผูกแบรกเก็ตด้วยลวดโลหะไร้สนิมก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการแตกหักของแบรกเก็ตพลาสติกได้ นอกจากนี้แบรกเก็ตพลาสติกยังมีการสึกกร่อนของร่องแบรกเก็ตทำให้สูญเสียความสามารถในการควบคุมแนวแกนของฟัน และข้อเสียที่สำคัญของแบรกเก็ตพลาสติกคือสามารถเปลี่ยนสีได้ และต้องใช้วัสดุยึดโดยเฉพาะ

3. แบรกเก็ตเซรามิก

จากข้อบกพร่องของแบรกเก็ตพลาสติกซึ่งมีความแข็งแรงน้อยและเปลี่ยนสีได้เมื่ออยู่ในช่องปากเป็นเวลานาน ทำให้แบรกเก็ตพลาสติกไม่ได้รับความนิยมในการนำไปใช้กับผู้ป่วยมากเท่ากับแบรกเก็ตโลหะ แม้ว่าจะให้ความสวยงามมากกว่าก็ตาม จากการสำรวจความนิยมของทันตแพทย์จัดฟันในประเทศสหรัฐอเมริกาโดย Gorelick (1979) พบว่ามีผู้นิยมใช้แบรกเก็ตโลหะชนิดที่มีรูพรุนบริเวณฐานร้อยละ 22 ชนิดฐานเป็นตะแกรงโลหะมากถึงร้อยละ 77

และแบรกเก็ตพลาสติกมีเพียงร้อยละ 29 ถึงแม้ว่าจะมีการพัฒนาแบรกเก็ตพลาสติกเสริมโลหะเพื่อให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นแล้วก็ตาม ความนิยมในการใช้แบรกเก็ตพลาสติกของทันตแพทย์ก็ยังมีจำนวนน้อยอยู่ (Gwinnett และคณะ 1988) ด้วยเกรงว่าจะต้องเปลี่ยนแบรกเก็ตให้ผู้ป่วยบ่อยครั้ง

แบรกเก็ตเซรามิกจึงถูกประดิษฐ์ขึ้นมาเพื่อรวมเอาข้อดีของแบรกเก็ตพลาสติกในด้านความสวยงามกับความแข็งแรงของแบรกเก็ตโลหะเข้าด้วยกัน เนื่องจากเซรามิกเป็นวัสดุที่มีความแข็งสูง ทนต่อความร้อนและการเสื่อมสภาพทางเคมีได้ดี แต่ก็มีจุดอ่อนที่ด้อยกว่าโลหะคือเซรามิกมีความเปราะสูง เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลที่ต่างกัน เมื่อโลหะมีความเค้นเกิดขึ้นโมเลกุลของโลหะซึ่งยึดกันด้วยพันธะ โลหะสามารถที่จะบิดเบือนตำแหน่งไปเพื่อลดความเค้นลง แต่โครงสร้างโมเลกุลของเซรามิกมีตำแหน่งที่แน่นอนและยึดกันอยู่ในลักษณะ 3 มิติ ไม่สามารถบิดเบือนได้ เมื่อมีความเค้นเกิดขึ้นจนถึงจุดวิกฤต พันธะระหว่างโมเลกุลของเซรามิกก็จะแตกออก ทำให้เกิดการแตกหักของวัสดุ (รูปที่ 3)

ดังนั้น หากมีรอยขีดข่วนหรือตำหนิบนชิ้นเซรามิกแล้ว เซรามิกมีโอกาสที่จะแตกออกจากกันได้ง่ายกว่าโลหะ

เนื่องจากแบรกเก็ตเซรามิกมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการคือมีกำลังแรงยึดกับผิวเคลือบฟันสูงเมื่อเทียบกับแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม และไม่มีคุณสมบัติรีดได้ (Ductility) เหมือนแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม ทำให้อาจพบปัญหาขณะดีบอนด์แบรกเก็ตเซรามิก โดยจะเกิดการแตกหักในแบรกเก็ตหรือภายในผิวเคลือบฟัน ขึ้นกับกลไกในการยึดติดของฐานของแบรกเก็ตเซรามิกและลักษณะของฐานแบรกเก็ตเซรามิก

กลไกการยึดติดของแบรกเก็ตเซรามิกเกิดจาก

1. การยึดติดเชิงกล (mechanical retention) โดยการทำอันเดอร์คัท เป็นร่องหรือเป็นรูหรืออาจทำเป็นตะแกรงถี่ เพื่อช่วยในการยึดติดของวัสดุยึดติดกับแบรกเก็ต จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด พบว่าอะคริลิกแท็กยึดกับผิวเคลือบฟันโดยการเกาะเกี่ยวแบบเชิงกลระหว่างวัสดุยึดและผิวเคลือบฟัน

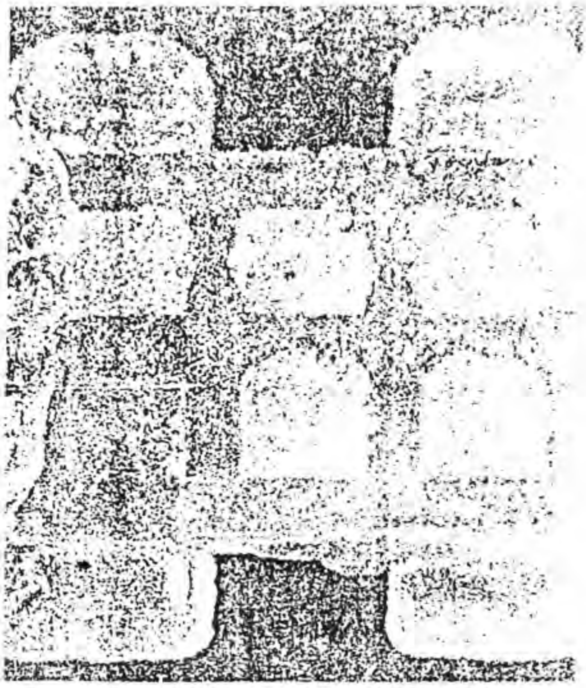
2. การยึดติดด้วยพันธะทางเคมี เนื่องจากส่วนประกอบของอะลูมินาของแบรกเก็ตเซรามิกไม่สามารถทำปฏิกิริยากับวัสดุยึดได้ ดังนั้นจึงมีการนำไซเลนคัพลิง เอเจนท์ มาใช้เป็น chemical mediator ระหว่างวัสดุยึดกับฐานของแบรกเก็ต โดยโมเลกุลของไซเลน จะเป็น bifunctional molecule โดยที่ปลายข้างหนึ่งที่เป็นกลุ่มของไซลานอลจะจับแน่นกับแก้วขณะที่ปลายอีก

ข้างหนึ่งจะทำปฏิกริยากับวัสดุยึดติด แต่เนื่องจากฐานของแบรกเก็ตเซรามิก เป็นผลึกอะลูมินาออกซึ่งกลุ่มของไซลานอล จะไม่สามารถทำปฏิกริยากับฐานของแบรกเก็ตเซรามิกได้จนกว่าฐานของแบรกเก็ตเซรามิก จะถูกเคลือบด้วยส่วนประกอบของแก้ว จึงจะเกิดการยึดติดได้ บริษัท A company's starfire และ Unitek's Transcend ได้แนะนำแบรกเก็ตเซรามิกที่ผสมแก้วเข้าไปในส่วนของเซรามิก และใช้ไซเลนคัพลิงเอเจนท์ยึดกับแก้ว โดยจะมีปลายอิสระ (free end) ของโมเลกุล ซึ่งสามารถทำปฏิกริยากับวัสดุยึดติดตัวใดก็ได้ และกล่าวว่าการใช้ไซเลนคัพลิงเอเจนท์ ช่วยเพิ่มความแข็งแรงยึดของแบรกเก็ตและวัสดุยึดติดได้ดีขึ้น (Iwamoto และคณะ ,1987)

จากการศึกษาของ Guess และคณะ (1988) ได้สรุปผลที่แตกต่างจาก Iwamoto และคณะ (1987) โดยเขาได้ศึกษาผลของการใช้ไซเลนคัพลิงเอเจนท์ ต่อกำลังแรงยึดของแบรกเก็ตเซรามิกชนิดโพลีคริสตอลลีน โดยทำในแบรกเก็ตที่มีฐานเป็นร่องสี่เหลี่ยม (รูปที่ 12) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างแบรกเก็ตที่ใช้ไซเลนคัพลิงเอเจนท์ ทั้งที่เตรียมจาก บริษัทผู้ผลิตและที่เตรียมในคลินิกกับแบรกเก็ตเซรามิกที่ไม่ได้ใช้ไซเลนคัพลิงเอเจนท์ ในกรณีนี้อาจเป็นไปได้ว่าการศึกษานี้ทดสอบเฉพาะแบรกเก็ตเซรามิกชนิดเดียว ซึ่งมีการยึดติดเชิงกลจากอันเดอร์คัทที่ฐานอยู่แล้ว และกำลังแรงยึดที่เกิดจากการยึดติดเชิงกลอาจมีมากเพียงพอแล้ว กล่าวคือถ้าใช้แบรกเก็ตเซรามิกชนิดอื่น ๆ การใช้ไซเลนคัพลิงเอเจนท์ อาจเป็นสิ่งที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงยึดให้มากขึ้นก็ได้ แต่ถ้าแบรกเก็ตเซรามิกชนิดนั้นมีการยึดติดเชิงกลดีอยู่แล้วก็ไม่จำเป็นต้องใช้ไซเลนคัพลิง เอเจนท์ ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็น

3. การใช้กลไกการยึดติดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ร่วมกัน

117339558

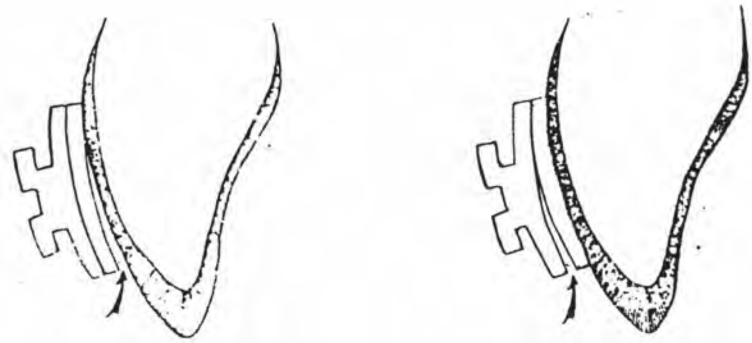


รูปที่ 12 แสดงลักษณะรูปร่างของอันเดอร์คัทใต้ฐานของแบรกเก็ตเซรามิกที่ใช้ในการทดลองของ Guess และคณะ (1987)

ความล้มเหลวของการยึดติด

1. ความล้มเหลวที่เกิดระหว่างผิวเคลือบฟันและวัสดุยึด (enamel-adhesive interface) การหลุดออก จะทำให้วัสดุยึดติดที่ฐานของแบรกเก็ต (รูปที่ 13 A) สาเหตุอาจเกิดจากเทคนิคการติดเครื่องมือไม่ดีพอ ได้แก่ การควบคุมความชื้น หรือมีการรบกวนขณะแข็งตัว

2. ความล้มเหลวที่เกิดระหว่างวัสดุยึดและแบรกเก็ต (adhesive-bracket interface) จะมีวัสดุยึดติดที่ผิวเคลือบฟัน (รูป 13 B) สาเหตุเนื่องมาจากวัสดุยึดอ่อนแอ



A B

รูปที่ 13 A: แสดงความล้มเหลวระหว่างผิวเคลือบฟันกับวัสดุยึด
B: แสดงความล้มเหลวระหว่างแบรกเก็ตกับวัสดุยึด

ในทางคลินิกความล้มเหลวที่เกิดจากวัสดุยึดและแบรกเก็ตจะดีกว่าความล้มเหลวที่เกิดระหว่างวัสดุยึดและผิวเคลือบฟัน เพราะแบบหลังจะทำให้ผิวเคลือบฟันแตก โดยอุดมคติ (Ideally) ความแข็งแรงยึดระหว่างแบรกเก็ต และวัสดุยึดต้องมีมากพอที่จะต้านต่อการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมและแรงบดเคี้ยวในช่องปาก แต่จะต้องไม่สูงเกินไปจนต้านต่อการถอดแบรกเก็ต

Odegaard และ Segner (1988) แสดงให้เห็นว่าในแบรกเก็ตเซรามิกที่มีกลไกการยึดติดเป็นแบบพันธะเคมี จะมีค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือน มากกว่าแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม และพบตำแหน่งที่มีความล้มเหลวในการยึดติดในแบรกเก็ตเซรามิก คือ บริเวณระหว่างผิวเคลือบฟันกับวัสดุยึด สำหรับแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม จะพบบริเวณระหว่างแบรกเก็ตกับวัสดุยึด และจากผลที่ได้นี้ เขาสรุปว่าในแบรกเก็ตเซรามิกกำลังแรงยึดระหว่างแบรกเก็ต และวัสดุยึด จะแข็งแรงกว่ากำลังแรงยึดระหว่างผิวเคลือบฟันกับวัสดุยึด

Gwinnett (1988) ทำการทดสอบแบรกเก็ตเซรามิก 2 ชนิด ที่มีกลไกการยึดติดต่างกันโดยแบรกเก็ตเซรามิก Allure จะมีกลไกการยึดติดเป็นแบบเชิงกลและพันธะเคมีร่วมกัน และแบรกเก็ตเซรามิก Transcend จะมีกลไกการยึดติดเป็นแบบพันธะเคมี พบว่าค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนของแบรกเก็ตเซรามิก Transcend จะมากกว่าแบรกเก็ตเซรามิก Allure แต่ไม่มีนัยสำคัญและจากการตรวจดูบริเวณที่มีความล้มเหลวของการยึดติด พบว่าในแบรกเก็ตเซรามิก Allure จะพบที่บริเวณระหว่างแบรกเก็ตกับวัสดุยึดเป็นส่วนใหญ่ แต่ในแบรกเก็ตเซรามิก Transcend จะพบส่วนใหญ่ที่บริเวณระหว่างผิวเคลือบฟันกับวัสดุยึด

Viazis และคณะ (1990) ทำการศึกษาเปรียบเทียบกำลังแรงยึดของแบรกเก็ตเซรามิกหลายๆ ชนิด ที่มีกลไกการยึดติดต่างๆ กัน พบว่า ในแบรกเก็ตเซรามิกที่มีกลไกการยึดติดแบบพันธะเคมี (Transcend และ Starfire) จะมีค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนสูงกว่า กลุ่มแบรกเก็ตเซรามิกที่มีกลไกการยึดติดแบบเชิงกล (Allure และ Gem) และสูงกว่าแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม และแบรกเก็ตเซรามิกที่เป็นชนิดโมโนคริสตอลลีนอะลูมินา ที่มีชื่อทางการค้าว่า Starfire จะเปราะกว่าแบรกเก็ตเซรามิกชนิดโพลีคริสตอลลีนอะลูมินา โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้วัสดุยึดติดชนิดบ่มตัวเอง กล่าวคือ จะมีการแตกหักของแบรกเก็ตขณะทำการดีบอนด์ นอกจากนี้เขายังพบว่าในแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม และแบรกเก็ตเซรามิกที่มีกลไกการยึดติดแบบเชิงกล จะพบบริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติด คือ บริเวณภายในวัสดุยึดติด แต่ถ้าเป็นแบรกเก็ตเซรามิกที่มีกลไกการยึดติดแบบพันธะเคมี จะเกิดบริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติดส่วนใหญ่บริเวณระหว่างแบรกเก็ตกับวัสดุยึดติด ซึ่งต่างจากการศึกษาของ Odegaard และ Segner (1988)

Viazis และคณะ (1990) ได้ให้เหตุผลว่าทำไมกำลังแรงยึดของแบรกเก็ตเซรามิกที่มีกลไกการยึดติดแบบพันธะเคมี จึงสูงกว่าแบรกเก็ตเซรามิกที่มีกลไกการยึดติดแบบเชิงกล โดยอธิบายว่าในแบรกเก็ตเซรามิก ที่มีกลไกการยึดติดแบบเชิงกลจะมี Retentive groove ซึ่งบริเวณขอบจะมีมุมประมาณ 90 องศา ยิ่งไปกว่านั้นการออกแบบให้มีลักษณะการตัดขวางของร่องเพื่อป้องกันแบรกเก็ตไม่

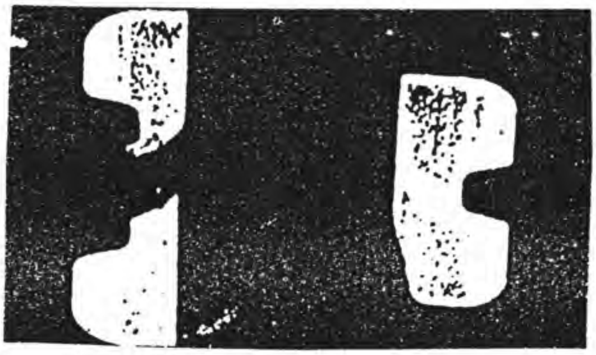
ให้ไถลไปตามร่อง จะทำให้เกิด sharp edge angle ลักษณะเช่นนี้จะมี high localized stress concentration รอบๆ sharp edges เป็นผลทำให้เกิดการเปราะของวัสดุยึดติด เมื่อให้แรงในการดีบอนด์แบรกเก็ตจึงมีวัสดุยึดส่วนหนึ่งติดที่ฟัน และอีกส่วนติดที่ร่องของแบรกเก็ต แต่ในแบรกเก็ตเซรามิกที่มีกลไกการยึดติดแบบพันธะเคมีที่มีลักษณะของฐานเป็นผิวที่เรียบสะท้อนแสงจะให้การกระจายที่ดีของ Stress บนวัสดุยึดทั้งหมดปราศจากการให้ Stress เป็นบริเวณเฉพาะที่ ดังนั้นในการดีบอนด์ จึงให้กำลังแรงยึดแบบเฉือนที่มาก และเกิดบริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติดที่วัสดุยึดโดยจะเหลือส่วนของวัสดุยึดทั้งหมดติดที่ตัวฟัน ซึ่งต่างกับแบรกเก็ตเซรามิกที่มีกลไกการยึดแบบเชิงกล

ในการศึกษาของ Viazis และคณะ (1990) เป็นการศึกษาในแบรกเก็ตเซรามิกหลายๆชนิดที่ผลิตจากบริษัทต่างกัน ต่อมาจึงมีการศึกษาของ Forsbery และคณะ (1992) ทำการศึกษาเปรียบเทียบกำลังแรงยึดแบบเฉือนระหว่างแบรกเก็ตเซรามิก 2 แบบ ที่ผลิตจากบริษัทเดียวกัน แต่มีกลไกการยึดติดต่างกันคือ แบบพันธะเคมี จะมีชื่อทางการค้าว่า Transcend และแบบเชิงกลมีชื่อทางการค้าว่า Transcend 2000 และเปรียบเทียบกับแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม พบว่าแบรกเก็ตเซรามิกที่มีกลไกการยึดติดแบบพันธะเคมี จะมีค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือน ในการดีบอนด์สูงกว่า แบรกเก็ตเซรามิกที่มีกลไกการยึดติดแบบเชิงกลและเมื่อเปรียบเทียบกับแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม ค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนของแบรกเก็ตเซรามิก ทั้ง 2 แบบ จะมากกว่าแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม และพบบริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติด ขณะดีบอนด์ในกลุ่มแบรกเก็ตเซรามิกทั้ง 2 แบบ คือ บริเวณระหว่างแบรกเก็ตกับวัสดุยึด แต่ในแบรกเก็ตเซรามิกที่มีกลไกการยึดติดแบบพันธะเคมีจะมีการเสียหายของผิวเคลือบฟัน 3 ซี่ ในขณะดีบอนด์

Winchester (1992) ที่ทำการศึกษากำลังแรงยึดแบบเฉือน ในแบรกเก็ตเซรามิก Transcend และแบรกเก็ตเซรามิก Transcend 2000 ที่มีกลไกการยึดติดต่างกัน โดยใช้วัสดุยึดติดชนิดบ่มตัวด้วยแสง 2 ชนิด คือ Prismafil จะมีปริมาณฟิลเลอร์สูง และ Heliosit จะมีปริมาณฟิลเลอร์ต่ำ พบว่าแบรกเก็ตเซรามิก Transcend 2000 จะให้กำลังแรงยึดแบบเฉือนสูงกว่าแบรกเก็ตเซรามิก Transcend ซึ่งต่างกับการศึกษาของ Forsberg และคณะ (1992) และจะพบการแตกหักของผิวเคลือบฟันได้ในกลุ่มของแบรกเก็ตเซรามิก Transcend

Winchester (1991) ทำการศึกษากำลังแรงยึดแบบเฉือนในแบรกเก็ตเซรามิก 4 ชนิดได้แก่ Transcend, Starfire, Allure, Intrigue โดยใช้วัสดุยึดติดชนิดบ่มตัวด้วยแสง 2 ชนิด คือ Prismafil ซึ่งมีปริมาณฟิลเลอร์ 79% , Heliosit ซึ่งมีปริมาณฟิลเลอร์ 15% ในแบรกเก็ตเซรามิกที่ใช้ในการศึกษานี้จะ

มีชั้นของไซเลนปกคลุมทุกชนิด แต่ในแบรกเก็ตเซรามิก Transcend กับแบรกเก็ตเซรามิก Starfire จะมีลักษณะพื้นผิวของฐานมีผิวเรียบ ซึ่งเป็นกลไกยึดติดแบบพันธะเคมีเพียงอย่างเดียว แตกต่างจากแบรกเก็ตเซรามิก Allure และ แบรกเก็ตเซรามิก Intrigueที่จะมีกลไกการยึดติดแบบเชิงกลร่วมด้วย โดยในแบรกเก็ตเซรามิก Intrigue จะมีลักษณะของฐานเป็นผิวขรุขระ และแบรกเก็ตเซรามิก Allure จะมีลักษณะเป็นร่อง 6 ร่อง ทำให้เพิ่มความหนาของวัสดุยึดติด ค่ากำลังแรงยึดจึงมีค่าน้อยตามไปด้วย จากการศึกษากำลังแรงยึด พบว่าแบรกเก็ตเซรามิก Transcend จะให้ค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนที่สูงเมื่อใช้วัสดุยึดติด Heliosit และในการทดสอบกำลังแรงยึดแบบเฉือนในวัสดุยึดทั้ง2ชนิดแบรกเก็ตเซรามิกชนิด Transcend และ Starfire จะไม่แตกต่างกันโดยจะให้ค่ากำลังแรงยึดที่สูงทั้งคู่ แต่ในแบรกเก็ตเซรามิกชนิด Allure จะให้ค่ากำลังแรงยึดน้อยกว่า แบรกเก็ตเซรามิก Transcend ในวัสดุยึดทั้ง 2 ชนิด ซึ่งตรงกับที่ Iwamoto และคณะ (1987) กล่าวว่า ไซเลนจะเพิ่มกำลังแรงยึดแต่การยึดติดแบบเชิงกลจะทำให้กำลังแรงยึดแบบเฉือนลดลง การศึกษาบริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติดของแบรกเก็ตเซรามิก Allure กับแบรกเก็ตเซรามิก Intrigue จะพบที่บริเวณระหว่างแบรกเก็ตกับวัสดุยึด แต่ในแบรกเก็ตเซรามิก Transcend และแบรกเก็ตเซรามิก Starfire จะพบการแตกหักของผิวเคลือบฟัน และการแตกหักของแบรกเก็ตด้วย จึงกล่าวได้ว่า ค่ากำลังแรงยึดที่สูง ทำให้เกิดการแตกหักของแบรกเก็ตและผิวเคลือบฟันในทั้งแบรกเก็ตเซรามิก Transcend และแบรกเก็ตเซรามิก Starfire และไม่พบการแตกหักของผิวเคลือบฟันหรือแบรกเก็ตในแบรกเก็ตเซรามิก Allure และ แบรกเก็ตเซรามิก Intrigue



รูปที่ 14 A แสดงบริเวณที่มีการแตกหักของแบรกเก็ตเซรามิก Starfire
B แสดงบริเวณที่มีการแตกหักของแบรกเก็ตเซรามิก Transcend

ต่อมาแบรกเก็ตเซรามิกได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยปรับปรุงข้อด้อยในการดีบอนด์ ที่อาจทำอันตรายต่อผิวเคลือบฟัน และทำให้เกิดการแตกหักของแบรกเก็ต โดยปรับปรุงให้มีกำลังแรงยึดระหว่างแบรกเก็ตกับวัสดุยึดที่มากพอที่จะต้านต่อการเคลื่อนฟันทางทันตกรรม และแรงบดเคี้ยวในช่องปาก แต่จะต้องไม่สูงเกินไปจนต้านทานต่อการดีบอนด์

Ghafari และคณะ (1992) ศึกษากำลังแรงยึดแบบเฉือน ในแบรกเก็ตเซรามิก 2 ชนิด ที่ได้ปรับปรุงโดยมีกลไกการยึดติดต่างกัน คือ

แบรกเก็ตเซรามิก Allure IV ซึ่งมีกลไกการยึดติดเป็นแบบเชิงกลและพันธะเคมีร่วมกัน โดยมีลักษณะของฐานเป็น 12 dimple recess จะมีชั้นของไซเลนปกคลุมอยู่

แบรกเก็ตเซรามิก Transcend 2000 ซึ่งมีกลไกการยึดติดเป็นแบบเชิงกล

พบว่า แบรกเก็ตเซรามิก Allure IV จะมีค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนสูงกว่าแบรกเก็ตเซรามิก Transcend 2000 แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในแบรกเก็ตเซรามิก Allure IV

การมี 12 dimple recess จะเพิ่มความหนาของเรซินระหว่างฐานแบรกเก็ตกับฟัน ทำให้ลดกำลังแรงยึด และทำให้เกิดการแตกในวัสดุยึดติดเอง และในแบรกเก็ตเซรามิก Allure IV จะมีชั้นของไซเลนปกคลุมอยู่ทำให้เพิ่มกำลังแรงยึด

ต่อมามีการปรับปรุงลักษณะฐานของแบรกเก็ตเซรามิก ให้เป็นวัสดุชนิดโพลิคาร์บอเนต ซึ่งผลิตโดยบริษัท T.P. orthodontics โดยมีชื่อทางการค้าว่า Ceramaflex ซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตได้ยืนยันว่าการดีบอนด์แบรกเก็ตเซรามิกชนิดนี้จะไม่ทำอันตรายต่อผิวเคลือบฟัน และแบรกเก็ต

จากการศึกษาของ Fox และคณะ (1992) เปรียบเทียบกำลังแรงยึดระหว่าง Ceramaflex กับแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการดีบอนด์ Ceramaflex จะง่ายๆ คือ ใช้คีมตัดลวด จะไม่ทำให้เกิดการแตกหักของแบรกเก็ต และไม่เกิดการทำลายผิวเคลือบฟัน

Franklin และคณะ (1993) ศึกษากำลังแรงยึดแบบเฉือนและบริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติดของแบรกเก็ต 3 ชนิด ดังนี้

Ceramaflex เป็นแบรกเก็ตเซรามิกที่มีกลไกการยึดติดเป็นแบบเชิงกล (macromechanical) และพันธะเคมีร่วมกัน แต่มีลักษณะของฐานทำจาก โพลีคาร์บอเนต

Transcend 2000 เป็นแบรกเก็ตเซรามิกที่มีกลไกการยึดติดแบบเชิงกล (micromechanical)

แบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม ที่มีกลไกการยึดติดแบบเชิงกล (macromechanical)

พบว่า แบรกเก็ตเซรามิก Transcend 2000 จะมีค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนสูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันของค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนในแบรกเก็ตเซรามิก Ceramaflex และแบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิม ในการศึกษาบริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติด พบว่าในแบรกเก็ตเซรามิก Ceramaflex จะเกิดบริเวณแบรกเก็ตกับฐานของแบรกเก็ตที่เป็นวัสดุชนิดโพลีคาร์บอเนต โดยจะเหลือฐานที่เป็นโพลีคาร์บอเนตติดกับวัสดุยึดอยู่ที่ผิวเคลือบฟัน ทำให้ต้องเสียเวลาในการขจัดวัสดุยึดเพิ่ม แต่จะไม่พบว่าเกิดการสูญเสียผิวเคลือบฟันขณะดีบอนด์ แต่ในแบรกเก็ตเซรามิก Transcend 2000 และ แบรกเก็ตเหล็กกล้าไร้สนิมจะเกิดความล้มเหลวในการยึดติดที่บริเวณระหว่างแบรกเก็ตกับวัสดุยึดเป็นส่วนใหญ่ และจะพบการแตกหักของผิวเคลือบฟัน ในขณะดีบอนด์ด้วย

การศึกษาลักษณะของฐานแบรกเก็ตเซรามิก

Eliades และคณะ (1991) พบว่าการออกแบบของลักษณะฐานแบรกเก็ตเซรามิกจะมีผลต่อกำลังแรงยึด รวมทั้งมีผลต่อบริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติด ดังเช่นแบรกเก็ตเซรามิก Allure III เป็นแบรกเก็ตเซรามิกชนิดโพลีคริสตอลลีน อะลูมินาที่มีลักษณะฐานเป็นร่องลึก (recess) ที่สมมาตร

ซึ่งทำให้เกิดกลไกการยึดติดเป็นแบบเชิงกล บริเวณระหว่างร่องลึกจะเรียบตรงถูกปกคลุมด้วยชั้นของไซเลนเป็นบริเวณต่อเนื่อง ทำให้แบรกเก็ตเซรามิกชนิดนี้มีกลไกการยึดติดเป็นแบบเชิงกลและพันธะเคมีร่วมกัน แต่การที่มีลักษณะของฐานเป็นร่องลึก จะทำให้เพิ่มความหนาของวัสดุยึด ซึ่งการเพิ่มความหนาจะทำให้เกิด polymerization shrinkage และ Thermal expansion ของวัสดุยึด ทำให้กำลังแรงยึดลดน้อยลง และจะพบบริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติดที่บริเวณระหว่าง แบรกเก็ตกับวัสดุยึด และบริเวณระหว่างผิวเคลือบฟันกับวัสดุยึด

Starfire เป็นแบรกเก็ตเซรามิก ชนิดโมโนคริสตอลลีน อะลูมินาที่มีลักษณะของฐานเป็นผิวเรียบถูกปกคลุมด้วยชั้นของไซเลน อย่างต่อเนื่องไม่มีลักษณะเป็นร่อง หรือช่อง เพื่อให้เป็นกลไกการยึดแบบเชิงกล ดังนั้นแบรกเก็ตชนิดนี้จึงมีกลไกการยึดติดเป็นแบบพันธะเคมีเพียงอย่างเดียว และจะพบว่าแบรกเก็ตเซรามิกชนิดนี้ จะมีความหนาของวัสดุยึดบางสุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่นๆ บริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติดของแบรกเก็ตชนิดนี้ คือ บริเวณระหว่างแบรกเก็ตกับวัสดุยึด และบริเวณระหว่างผิวเคลือบฟันกับวัสดุยึด นอกจากนั้นยังพบการแตกหักของแบรกเก็ตชนิดนี้ขณะดีบอนด์ด้วย เนื่องจาก Starfire เป็นโมโนคริสตอลลีน อะลูมินา ที่มีคุณสมบัติแข็งมาก และมีความเหนียวซึ่งต้านทานต่อการแตกหักต่ำ ถ้ามีรอยตำหนิภายในแบรกเก็ต จะทำให้แบรกเก็ตแตกหักได้ง่าย

Transcend เป็นแบรกเก็ตเซรามิกชนิดโพลีคริสตอลลีน อะลูมินา มีลักษณะของฐานเป็นพื้นผิวเรียบและจะพบชั้นของไซเลนปกคลุมเป็นบริเวณที่ต่อเนื่อง ลักษณะเช่นนี้ทำให้มีกลไกการยึดติดเป็นแบบพันธะเคมี ทำให้มีกำลังแรงยึดสูงที่สุด และจะพบบริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติดส่วนมากที่บริเวณระหว่างผิวเคลือบฟันกับวัสดุยึด เพราะฉะนั้นส่วนใหญ่ของวัสดุยึด จะหลงเหลืออยู่บนฐานของแบรกเก็ต และสามารถพบการแตกหักของผิวเคลือบฟันได้ เนื่องจากกำลังแรงยึดติดของแบรกเก็ตกับวัสดุยึดมากกว่ากำลังแรงยึดติดของวัสดุยึดกับผิวเคลือบฟัน

Eliades และคณะ (1991) จึงสรุปได้ว่า ลักษณะการออกแบบของฐานแบรกเก็ตจะมีผลต่อความหนาของแอดฮีซีพ อย่างมีนัยสำคัญ และทำให้มีผลต่อกำลังแรงยึดด้วย

ต่อมา Eliades และคณะ (1993,1994) ได้ศึกษาแบรกเก็ตเซรามิกเพิ่มอีก 3 ชนิดคือ

Transcend 2000 เป็นแบรกเก็ตเซรามิกชนิด โพลีคริสตอลลีน อะลูมินา มีลักษณะของฐานคล้าย Transcend ที่มีอะลูมินา คริสตัลยื่นออกมา และมีขนาดคริสตัลใหญ่ แต่ไม่มีชั้นของไซเลนปกคลุม ทำให้มีกลไกการยึดติดเป็นแบบเชิงกลเพียงอย่างเดียว ทำให้โอกาสที่จะเกิดการแตกหักของผิวเคลือบฟันลดลงเนื่องจากกำลังแรงยึดต่ำลงอย่างไรก็ตาม การดีบอนด์ Transcend 2000 จะพบว่า

มีปริมาณวัสดุยึดหลงเหลือบนผิวเคลือบฟันมากกว่า Transcend และพบบริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติดของ Transcend 2000 คือบริเวณภายในวัสดุยึดเอง และบริเวณระหว่างแบรกเก็ตกับวัสดุยึด

Fascination เป็นแบรกเก็ตเซรามิกชนิดโพลีคริสตอลลีน มีลักษณะของฐานบริเวณตรงกลางขรุขระ ซึ่งถูกทำด้วยวิธี Abrasion, ร่องบริเวณตรงกลางจะไม่มีชั้นของไซเลน จะให้กลไกการยึดติดเป็นแบบเชิงกล (micromechanical retention) และจะพบชั้นของไซเลนปกคลุมบริเวณผิวที่เรียบให้กลไกการยึดติดแบบพันธะเคมี การที่มีลักษณะของฐานเช่นนี้เพื่อลดปริมาณการปกคลุมของชั้นไซเลน แต่ถึงอย่างไรก็ตาม แบรกเก็ตชนิดนี้ก็อาจทำให้เกิดการแตกหักของผิวเคลือบฟันขณะดีบอนด์ ดังนั้นกลไกการยึดติดของฐานจึงเป็นแบบเชิงกลและพันธะเคมีร่วมกัน ทำให้พบบริเวณที่มีความล้มเหลวในการยึดติด คือ บริเวณระหว่างผิวเคลือบฟันกับวัสดุยึด

Lumina เป็นแบรกเก็ตเซรามิกชนิดโพลิคริสตอลลีนอะลูมินา ลักษณะของฐานจะเป็นผิวขรุขระ มีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลม (spherical glass particle) และจะมีความแตกต่างของขนาดอนุภาคทรงกลม ที่เกิดจากการผลิต ไม่พบว่ามีการปกคลุมของชั้นไซเลน ดังนั้นจึงมีกลไกการยึดติดเป็นแบบเชิงกล (micromechanical retention) เพียงอย่างเดียว และจากการที่มีลักษณะการยึดติดเช่นนี้จึงมีผู้ทำการศึกษาหลายท่านที่พบว่าภายหลังการดีบอนด์แบรกเก็ตเซรามิก Lumina จะไม่พบว่ามีการทำลายของชั้นผิวเคลือบฟันเลย และจะพบบริเวณที่มีความล้มเหลวของการยึดติดส่วนใหญ่ที่ภายในวัสดุยึดติดเอง

ข้อแนะนำในการนำแบรกเก็ตเซรามิกมาใช้ในคลีนิก

1. อายุของผู้ป่วย : ผู้ป่วยควรโตพอที่จะสามารถเข้าใจข้อจำกัดในการใช้และสามารถระมัดระวังได้โดยไม่ขาดความรับผิดชอบ กล่าวคือไม่ควรใช้ผู้ป่วยที่เป็นเด็ก

2. บุคลิกภาพของผู้ป่วย : ความจำเป็นที่จะต้องใช้เนื่องจากผู้ป่วยมีอาชีพการงานที่ต้องปรากฏต่อสังคม

3. ลักษณะการสบฟันและตำแหน่งในช่องปาก ห้ามใช้ในผู้ป่วยที่มีการสบฟันลึกเพราะอาจทำให้เกิดการกระแทกหรือขัดถูกับฟันคู่สบ เป็นเหตุให้เกิดการแตกและสึกของฟันคู่สบ นิยมใช้ในฟันหน้าบนซึ่งต้องการประโยชน์ในเรื่องความสวยงาม และไม่มีการกระทบกระแทกของฟันคู่สบ

ในกรณีที่มีการสบฟันแบบครอสไบท์ : ควรแก้ไขตำแหน่งที่ครอสไบท์ให้เรียบร้อยก่อน หรืออาจใช้วิธีใส่เครื่องมือจัดฟันแบบถอดได้ที่มีการยกไม่ให้ฟันสบกระแทก และทันตแพทย์ควรทำการตรวจอย่างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการรักษา เพื่อไม่ให้เกิดผลเสียดังกล่าว

4. ควรอธิบายให้ผู้ป่วยทราบผลดีและผลเสียที่อาจเกิดขึ้นได้เพื่อผู้ป่วยจะได้เพิ่มความระมัดระวังในการดูแลเครื่องมือจัดฟัน เป็นการลดโอกาสของความเสี่ยง

5. ทันตแพทย์จัดฟัน ควรหลีกเลี่ยงการครูด หรือการทำให้เกิดรอยขูดขีดบนแบรกเก็ตขณะทำการรักษา การเปลี่ยนลวดโค้งทันตกรรมควรทำด้วยความระมัดระวัง อาจใช้ลวดที่มีรีซิเลียนซ์สูง การใส่ทอร์คควรค่อย ๆ เพิ่มปริมาณของทอร์ค หรือหลีกเลี่ยงโดยการใช้แบรกเก็ตที่มีพรีทอร์ค การผูกลวดควรใช้ยางแทนลวดมัดฟัน นอกจากนี้การถอดแบรกเก็ตเมื่อสิ้นสุดการรักษาควรทำด้วยความระมัดระวังและใช้วิธีที่ถูกต้องนิ่มนวล

กล่าวคือ ทันตแพทย์จัดฟันจะต้องใช้ความรู้ความสามารถในการพิจารณาผลดี ความจำเป็นในการใช้ของผู้ป่วยและข้อเสียที่อาจเกิดขึ้นนั้นสามารถระมัดระวังและป้องกันได้หรือไม่ เพื่อให้สามารถตัดสินใจเลือกใช้แบรกเก็ตได้ถูกต้องตามความเหมาะสมและบรรลุผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์