หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

พอร์ซเลนที่ใช้ในทางทันตกรรมเป็นวัสดุที่ให้ความสวยงาม โปร่งแสง แข็ง มีสีขาว สามารถผสมเป็นสีอื่นได้ พอร์ซเลนได้จากการเผาส่วนผสมของดินขาว เฟลด์สปาร์ และควอตซ์ หรือวัสดุอื่นที่มีซิลิกา ส่วนสารอื่นจะเติมลงไปเพื่อให้มีคุณสมบัติพิเศษ (Lacy, 1977) ช่างทันตกรรมที่มีทักษะทางศิลปะที่ดีสามารถทำพอร์ซเลนให้มีสีใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติได้ ร่วมกับการที่พอร์ซเลนมีการสึกหรอน้อยมากและอายุคงทนจึงทำให้พอร์ซเลนได้รับความนิยมทางทันตกรรมอย่างแพร่หลาย

ในการเผาพอร์ซเลนโดยการเผาในเตาเผาที่มีอากาศ (air firing) จะเกิดฟองอากาศมากกว่าเผาในเตาเผาสุญญากาศ (vacuum firing) Barghi (1982) พบว่าฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะทำให้ผิวขรุขระ และ คุณสมบัติทางสีเปลี่ยนไป และพบว่าฟองอากาศเป็นผลจากการมีก๊าซเข้าไปฝังอยู่ช้างในเฟลด์สปาร์ขณะที่มีการหลอมเหลวและเชื่อมติดกัน เมื่อเผาสารอินทรีย์ออกไปที่ขั้นบรรยากาศอุณหภูมิ 900-980 องศาเซลเซียส ก่อนการซินเทอริงจะเกิดขึ้นควรดูดอากาศออก และคงสภาพไว้จนกว่าจะมีการหลอมและมีการหดตัวที่สมบูรณ์แล้วจึงปล่อยอากาศเข้าแทนการเผาในอากาศ

พอร์ซเลนเป็นวัสดุนำความร้อนที่ไม่ดี ดังนั้นถ้าเพิ่มความร้อนเร็วมากจะทำให้เกิดการหลอมมากเกินไปในชั้นนอกก่อนที่ชั้นในจะหลอมเข้าด้วยกันเรียบร้อย (Craig, 1993) พอร์ซเลนหลังจากเผาแล้วจะมีการหดตัวเนื่องจากสูญเสียน้ำในการทำให้แห้ง และมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นโดยการซินเทอร์ริง การหดตัวจะเกิดขึ้นประมาณ 30% ดังนั้นชิ้นงานที่ทำควรทำให้มีขนาดใหญ่กว่าที่ต้องการ เพื่อชดเชยการหดตัวด้วย และการเผาภายใต้สุญญากาศ จะลดความพรุนของพอร์ซเลนจาก 4.6% เหลือเพียง 0.5% ซึ่งก็จะทำให้การหดตัวหลังเผาลดลง (McCabe, 1990) การแตกของพอร์ซเลนที่เกิดขึ้นทั่วทั้งก้อน เป็นการแตกเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เฉียบพลัน ได้แก่การถูกความเย็นอย่างรวดเร็วภายหลังเผา การเย็นตัวลงที่เหมาะสมจากอุณหภูมิเผาถึงอุณหภูมิห้องจึงเป็นสิ่งที่ควรจะคำนึงถึงอีกประการหนึ่งด้วย วิธีที่แนะนำคือทำให้พอร์ซเลนเย็นตัวลงอย่างช้า ๆ และสม่ำเสมอ (slowly and uniformly) (Combe, 1986)

การอัดแน่น (condensation) จะทำให้ผิวของพอร์ซเลนเรียบ ขึ้นงานแข็งแรงและสวยงาม นอกจากนี้จะลดการหดตัวหลังการเผาได้ เนื่องจากการหดตัวของพอร์ซเลนชนะเผาเกิดจากการสูญเสียความชื้นและเพิ่มความหนาแน่นของผงพอร์ซเลนขณะที่หลอมเหลวและเชื่อมเข้าด้วยกัน ดังนั้นการเพิ่มความหนาแน่นก่อนเผาโดยการอัดแน่นจึงทำให้ลดการหดตัวหลังเผาได้ ซึ่งทำได้หลายวิธีได้แก่ วิธีซับ (capillary action, gravitation method) วิธีการเขย่า (vibration) วิธีถบด้วยพาย (spatulation) วิธีสลัด (whipping) และวิธีการใช้ผงพอร์ซเลนแห้งพอกเพิ่ม (dry power addition) (Philips, 1991; Muia, 1982; McLean, 1979) การอัดแน่นของพอร์ซเลนยังเป็นปัจจัยสำคัญต่อพื้นผิวที่ได้รับการขัด ถ้าพอร์ซเลนที่จะนำไปขัดได้รับ การอัดที่ไม่ดี พื้นผิวที่เกิดขึ้นหลังจากขัดจะปรากฏฟองอากาศมาก แต่ถ้าพอร์ซเลนได้รับการอัดแน่นที่ดีแล้ว พื้นผิวที่ได้รับการขัดแต่งจนถึงขั้นละเอียด จะมีพื้นผิวใกล้เคียงกับผิวเคลือบ (Sulik และ Plekavich, 1981)

เฟลด์สปาติกพอร์ซเลนเป็นหนึ่งในเซรามิกที่นิยมใช้มากในทางทันตกรรม เฟลด์สปาติกพอร์ซเลนสามารถใช้ในการบูรณะเล็กๆ เช่น อินเลย์ (inlay) เฟลด์สปาติกพอร์ซเลนดั้งเดิมมีส่วนประกอบหลักคือ ซิลิกา (silica, SiO_2) 64% อลูมินา (alumina, Al_2O_3) 18% และ โปแตส (potash, K_2O) กับโซดา (soda, Na_2O) 8-10% เพื่อควบคุมการขยายตัว เฟลด์สปาติกพอร์ซเลนไม่แข็งแรงเพียงพอที่จะนำมาทำการบูรณะด้วยพอร์ซเลนล้วน โดยปราศจากโครงโลหะรองรับได้ เนื่องจากเฟลด์สปาติกพอร์ซเลนมีค่าความแข็งแรงดึง (tensile strength) เพียง 30-40 เมกกะปาสคาล (Noort, 1994) จึงเป็นเหตุผลหลักที่นำโลหะมาเป็นโครงเพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรง ดังนั้นเมื่อผู้ป่วยเริ่มให้ความสนใจกับความสวยงาม จึงมีการพัฒนาพอร์ซเลนขึ้นมา ให้มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น

การใช้พอร์ซเลนเชื่อมกับโลหะ นำมาใช้ประมาณ 35 ปีมาแล้ว โดยในระหว่างนั้นได้พัฒนาตัวโลหะที่รับรองพอร์ซเลน และตัวพอร์ซเลนที่ใช้ร่วมด้วย ทำให้ได้รับการนิยมอย่างแพร่หลาย โดยธรรมชาติแล้วพอร์ซเลนจะมีความเปราะ ความแข็งแรงดึงที่ต่ำและหักได้ภายใต้ความเค้น ในงานพอร์ซเลนเชื่อมกับโลหะพอร์ซเลนจะสามารถเชื่อมกับโลหะได้เป็นอย่างดี ซึ่งโลหะนี้จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุบูรณะ โดยโลหะจะป้องกันการบิดงอของพอร์ซเลน และป้องกันการเจริญของรอยร้าว เนื่องจากโลหะมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนเท่ากับ 13.5-14.5 x 10^{-6} /°C ส่วนของพอร์ซเลนมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 13 - 14 x 10^{-6} /°C โลหะจึงมีการหดตัวมากกว่าพอร์ซเลน ทำให้พอร์ซเลนมีความเค้นตกค้างอยู่ ภายในพื้นผิวได้ (Anusavice, 1996)

เนื่องจากโลหะที่ใช้ในงานพอร์ซเลนเชื่อมกับโลหะ มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนเท่ากับ 13.5-14.5 x 10^{-6} /°C แต่ในโซดาโปแตสเฟลด์สปาร์ (soda-potash feldspar) มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนประมาณ 7x 10^{-6} /°C ดังนั้นพอร์ซเลนในทางทันตกรรมจำเป็นต้องใส่ลูไซต์

(leucite, K_2O-Al_2O_3-$4SiO_2$) ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่มีค่าการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนที่สูง (high expansion mineral) เพื่อให้พอร์ซเลนมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนเหมาะสมกับโลหะที่ใช้ (Mackert, 1988)

นอกจากนี้ลูไซต์ยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับพอร์ซเลนได้ โดยขณะที่พอร์ซเลนเย็นลง ผลึกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนที่สูง ที่อยู่ในเมตริกซ์แก้ว ซึ่งมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อ ได้รับความร้อนที่ต่ำ จะทำให้เกิดความเค้นภายในทิศทางที่สัมผัสกับเส้นรอบวงของผลึกภายในแก้ว (tangential compressive stresses) และเกิดความเค้นตามรัศมีภายในผลึก (radial stresses) ซึ่งมีผลทำให้ความต้านทานต่อการแตกหักของชิ้นงานเพิ่มขึ้น (Dong และคณะ, 1992)

ในส่วนของพอร์ซเลนมีการพัฒนาโดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของลูไซต์ ลูไซต์จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของพอร์ซเลนสูงขึ้นเพื่อเข้ากับโลหะได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ความเค้นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคงค้างอยู่น้อยที่สุด (residual thermal stress) (O'Brien, 1997) ลูไซต์เป็นอนุภาคที่ไม่เสถียร เมื่อมีการเผาซ้ำ (repeating firing) หรือเมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างช้าๆ (slow cooling) (Anusavice และ Gray, 1989; Anusavice, Gray และ Shen, 1991) จะทำให้พอร์ซเลนแตกทันที หรือแตกอย่างช้าๆได้ ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน ดังนั้นพอร์ซเลนที่เผาครั้งเดียวจะแข็งแรงกว่าพอร์ซเลนเผาหลายครั้ง (Fairhurst และคณะ, 1992) และการปล่อยให้พอร์ซเลนเย็นตัวลงอย่างช้าๆ ในเตาเผา จะทำให้ปริมาณลูไซต์เพิ่มขึ้นได้ 11-56% (Mackert และ Evans, 1991)

ในงานพอร์ซเลนเชื่อมกับโลหะ แม้ว่าโลหะจะเพิ่มความแข็งแรงให้กับพอร์ซเลนได้ แต่ข้อด้อยของโลหะก็คือ ทำให้เกิดการทึบแสงบริเวณคอฟัน หรือเห็นขอบของโลหะที่บริเวณคอฟัน จึงมีการแก้ไข ในกรณีที่ขอบเป็นพอร์ซเลน โดยตัดขอบโลหะให้สั้นขึ้นไปทางด้านแก้ม 1-3 มิลลิเมตร เพื่อให้เกิดความสวยงามมากขึ้นกว่าขอบพอร์ซเลนแบบคลุมตลอด (full length margin porcelain) ซึ่งขอบแบบที่สั้นขึ้นนี้พบว่ามีแรงต้านการกด เกือบเท่ากับขอบพอร์ซเลนแบบคลุมตลอด (Lehner, Mannchen และ Scharer, 1995; Behrend, 1982)

ถึงแม้ว่าพอร์ซเลนจะสามารถทำให้มีสีที่ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติได้ แต่การตอบรับต่อการสะท้อนของแสงที่เกิดขึ้นในฟันธรรมชาติกับพอร์ซเลนแตกต่างกัน ปรากฏการณ์ของแสงอันหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นได้ในฟันธรรมชาติ คือการเกิดโอปอลเรสเซนต์ (opalescent) ดังนั้นนักวิจัยจึงพยายามทำให้ฟันปลอมที่ทำขึ้นจากพอร์ซเลนเหมือนฟันธรรมชาติ โดยการใส่ออกไซด์ที่สามารถสะท้อนแสงได้ ซึ่งมีขนาดละเอียดมากและมีขนาด

ใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของแสงที่เราสามารถมองเห็นได้ เนื่องจากโอปอลเรสเซนต์พอร์ซเลน (opalescent porcelain) มีส่วนประกอบที่ไม่แตกต่างจากเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมือนกัน (Hart และ Powers, 1994) นอกจากนี้ยังสามารถขัดแต่งได้เหมือนพอร์ซเลนทั่วไป ส่วนการขัดโอปอลเรสเซนต์พอร์ซเลนจะให้ผิวที่เรียบกว่าการเคลือบด้วยวิธีธรรมชาติ (Ward, Tate และ Powers, 1995)

ปัจจุบันเมื่อผู้ป่วยต้องการงานบูรณะที่ให้ความสวยงามมากขึ้น การบูรณะด้วยเซรามิกล้วน จึงเป็นที่นิยมเนื่องจากไม่มีสีโครงโลหะจึงไม่เห็นเงาสะท้อนของโลหะเหมือนเช่นในงานพอร์ซเลนเชื่อมกับโลหะ แต่เนื่องจากเฟลด์สปาติกพอร์ซเลนดั้งเดิม มีความแข็งแรงไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้โดยปราศจากโครงโลหะ จึงมีการพัฒนาอลูมินัสพอร์ซเลนขึ้น โดยการใส่อลูมิเนียมออกไซด์ลงไป ทำให้วัสดุสามารถทนต่อการแตกร้าวได้ดียิ่งขึ้น (McLean และ Hughes, 1965)

อลูมินัสพอร์ซเลนจะมีวัสดุอัดแทรกคือ อลูมินาผสมอยู่ ส่วนของผงอลูมินามีค่ามอดุลัสความยืดหยุ่นสูงกว่าควอตซ์ จึงสามารถต้านทานการเกิดรานได้ดีกว่า ซึ่งวัสดุอัดแทรกทำหน้าที่เป็นแกนให้เนื้อพอร์ซเลนจับ เนื้อพอร์ซเลนมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเท่ากับอลูมินา โดยที่มีอลูมินาต่อเนื้อพอร์ซเลนเท่ากับร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก จะทำให้กำลังความแข็งแรงเพิ่มกว่าเดิมเท่าตัว แต่มีข้อเสียคือ อลูมินาเป็นวัสดุทึบแสง ถ้าใช้ปริมาณสูงจะลดค่าความโปร่งแสงของฟันพอร์ซเลนลง ดังนั้นอลูมินัสพอร์ซเลนควรใช้ในชั้นที่เป็นเนื้อของครอบฟัน ในปริมาณสูงกว่าชั้นที่เป็นเคลือบฟัน (McLean, 1979) ผลึกจะเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของตัวเนื้อพอร์ซเลนได้ โดยที่ขนาดของผลึกอลูมินา ถ้ายิ่งละเอียดมากจะให้ความแข็งแรงมากขึ้น (McLean และ Hughes, 1965) เมื่อมีการขยายตัวของรอยแตกมาชนกับอนุภาคอลูมินา จะทำให้ทิศทางของการขยายของรอยแตก (crack propagation) มีการเบี่ยงเบนออกไปในอีกระนาบหนึ่งซึ่งการเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้พลังงานที่มีอยู่ในการขยายตัวของรอยแตกถูกลดระดับลงไป ถ้ารอยแตกถูกเบี่ยงเบนออกไปในหลายๆ ระนาบมากยิ่งขึ้นก็จะทำให้พลังงานลดต่ำลงจนไม่สามารถมีการขยายตัวของรอยแตกต่อไปได้ในที่สุด การที่พลังงานของการแตกถูกทำให้ต่ำลง ทำให้วัสดุสามารถทนต่อการแตกร้าวได้ดียิ่งขึ้น เช่น ในอินซีแรม (In-Ceram, Vita zahnfabrik, Germany) จะใช้ผลึกอลูมินากระจายอยู่ในเนื้อวัสดุร้อยละ 99.56 โดยน้ำหนัก ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนรอยแตกร้าวซึ่งเป็นกลไกการเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุได้วิธีหนึ่ง

กำลังดัดขวางที่เพิ่มขึ้นโดยวิธีนี้เป็นวิธีเพิ่มความแข็งแรงภายใน (internal strengthening method) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากผลึกอลูมินาจะทำให้รอยร้าวนั้นเบนออกไป ทำให้พลังงานที่จะนำมาใช้ในการทำให้เกิดรอยร้าวไปตลอดทั้งชิ้นต้องใช้ปริมาณมากขึ้น (Giordano, Campbell และ Pober, 1994) ค่ากำลังดัดขวางของอลูมินัสพอร์ซเลนจะเพิ่มขึ้นจากการขัดได้ เนื่องจากในอลูมินัสพอร์ซเลนจะมีผลึกอลูมินากระจาย

อยู่ทั่วไปในเนื้อพอร์ซเลน ซึ่งผลึกนี้จะสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปในขณะขัดแต่ง (plastically deformed) ทำให้เกิดความเค้นรอบๆ ผลึก (compressive stress) จึงต้องใช้แรงสูงขึ้นในการทำให้วัสดุแตกหักเนื่องจากความเค้นนี้จะยับยั้งการเจริญของรอยร้าวที่จะมีต่อไป (Giordano, Cima และ Pober, 1995)

อินซีแรม ประกอบด้วยอลูมินา 99.56 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนัก ส่วนแก้วที่แทรกเข้าไป เป็นพวกลานแทนนัมอลูมิโนซิลิเกต (lanthanum aluminosilicate) จะไปลดความหนืดของแก้ว และเพิ่มตรรชนีการกระจายแสงเพื่อปรับปรุงความโปร่งแสงของอินซีแรม (Pelletier และคณะ, 1992; Pober และคณะ, 1992) ข้อดีของระบบนี้คือ มีความแนบสนิทที่ดี พบมีรอยเปิดที่ขอบ (marginal opening) 24 ไมโครเมตรในครอบฟันและ 53 ไมโครเมตรในสะพานฟันติดแน่น (Sorensen และคณะ, 1990; Sorenson และคณะ, 1991) มีความแข็งแรงสูง มีค่าทำลังดัดขวาง 500 เมกะปาสคาล ซึ่งมากกว่าเซรามิกชนิดอื่น ประมาณ 3-4 เท่า (Seghi และ Sorrensen, 1995; Seghi และคณะ, 1990; Giordano, Pelletier, และคณะ, 1995; Kanchanatawewat และคณะ, 1997) ข้อเสียคือมีราคาแพง ใช้เวลานานในการทำ ไม่เชื่อมเข้ากับเนื้อฟันธรรมชาติ ไม่สามารถใช้กรดกัดได้ (O'Brien, 1997)

การขัดแต่งผิวของวัสดุบูรณะประเภทเซรามิกเป็นสิ่งสำคัญและมีความเกี่ยวข้องกับความสวยงาม ความแข็งแรง และการสึกของฟันคู่สบหรือวัสดุบูรณะที่อยู่ตรงข้าม พื้นผิวที่เรียบจะมีข้อดีคือ ไม่ระคายเคืองต่อเนื้อเยื่ออ่อนและเนื้อเยื่อแข็ง ทำให้เกิดความสวยงาม คราบจุลินทรีย์มาสะสมได้น้อยลง ลดโอกาสเกิดการสึกกร่อน และดูแลรักษาความสะอาดได้ง่ายขึ้น (Ferracane, 1995) ชิ้นงานที่ขัดแต่งเรียบร้อยควรมีลักษณะดังนี้คือ มีขอบที่ดี ไม่มีฟองอากาศหรือขอบเกินยื่นออกไประคายเคืองเนื้อเยื่อ มีผิวเรียบเพียงพอที่จะไม่ให้คราบจุลินทรีย์หรืออาหารไปติด มีลักษณะพื้นผิวที่เหมาะสม คล้ายกับฟันธรรมชาติข้างเคียงหรือฟันคู่สบ มีสีที่คล้ายกับฟันธรรมชาติ ผิวที่ขัดแต่งเรียบร้อยไม่ควรมีรอยหัวกรอหลงเหลืออยู่ (Goldstien, 1989)

โดยความเป็นจริงแล้ว ในการบูรณะด้วยพอร์ซเลนจะมีการกรอแก้ไขด้านบดเคี้ยวภายหลังจากที่ใส่ให้คนไข้ ความขรุขระที่เกิดขึ้นจากการกรอแต่งพื้นผิวต้องทำให้เรียบเพื่อให้ได้ผิวที่ยอมรับได้และมีอัตราการสึกต่อฟันธรรมชาติที่เป็นคู่สบน้อยที่สุด (Monasky และ Taylor, 1971) วิธีการขัดแต่งพอร์ซเลนชนิดต่างๆได้อธิบายไว้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope) และใช้เครื่องวัดความขรุขระของพื้นผิว (suface roughness analyzer) (Schissel และคณะ, 1980; Klausner, Cartwrigth และ Charbeneau, 1982; Scurria และ Powers, 1994)

ในปี ค.ศ. 1980 Schlissel และคณะ ได้ทำการทดสอบการขัดผิวพอร์ซเลนที่ใช้ทำฟันปลอม โดยทำการขัดทั้งหมด 11 วิธี ดังนี้ วิธีที่ 1 ขัดด้วยหัวกรอกากเพชรชนิดละเอียดโดยใช้เครื่องกรอความเร็วสูง วิธี

ที่ 2 ขัดด้วยหัวกรอกากเพชรชนิดหยาบ โดยใช้เครื่องกรอความเร็วสูง วิธีที่ 3 ขัดด้วยหัวกรอรูปวงล้อ (Bush silent stone, Pfingst and Co., NY, USA) โดยใช้เครื่องกรอความเร็วช้า วิธีที่ 4 ขัดด้วยหัวกรอรูปวงล้อร่วมกับผงพัมมิสขนาดปานกลางและละเอียด วิธีที่ 5 ขัดด้วยหัวขัดยางซิลิโคนรูปวงล้อชนิดนิ่ม (Burlew sulci disc, J.F. Jelenko and Co., New Rochelle, NY, USA) วิธีที่ 6 ขัดด้วยหัวขัดยางซิลิโคนชนิดแข็ง (Dedeco, Dental Development and Mfg. Corp., Brooklyn, NY, USA) วิธีที่ 7 ขัดด้วยหัวกรอรูปวงล้อ ตามด้วยหัวยางแข็งรูปวงล้อและผงพัมมิสขนาดปานกลาง และละเอียด วิธีที่ 8 ขัดด้วยหัวกรอหิน (porcelain adjustment kit, Shofu Dental Corp, Menlo Park, CA, USA) วิธีที่ 9 ขัดด้วยหัวกรอหิน ตามด้วยผงพัมมิสขนาดปานกลาง และละเอียด วิธีที่ 10 ขัดด้วยหัวกรอหิน ตามด้วยหัวยางแข็งรูปวงล้อและผงพัมมิสขนาดปานกลาง และละเอียด วิธีที่ 11 ขัดด้วยชุดขัดยางซิลิโคน (porcelain adjustment kit, Shofu Dental Corp, Menlo Park, CA, USA) เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนชนิดส่องกราดพบว่า การขัดด้วยชุดขัดยางซิลิโคนจะได้พื้นผิวที่มีความเรียบมากที่สุด เมื่อพิจารณาถึงชุดขัดยางซิลิโคน จะประกอบไปด้วยหัวขัด 4 ขนาดด้วยกัน คือหัวกรอหินสีขาวและหัวยางซิลิโคนที่มีความแข็งแตกต่างกันอีก 3 ระดับ ดังนั้นเมื่อนำไปขัดเปรียบเทียบกับวิธีขัดอื่น 10 วิธี จะเห็นได้ว่าการขัดด้วยชุดขัดยางซิลิโคน จะเป็นการขัดที่เป็นลำดับขั้นจากหยาบไปละเอียด จึงให้พื้นผิวที่มีความเรียบได้ดีกว่าวิธีการขัดอื่นในการทดลองนี้ ข้อดีอีกประการของการใช้ชุดขัดยางซิลิโคนก็คือ สามารถควบคุมตำแหน่งที่ต้องการขัดได้ง่ายเมื่อเทียบกับการใช้หัวผ้าขัดร่วมกับผงพัมมิสซึ่งควบคุมตำแหน่งการขัดยากกว่า

ต่อมาได้มีการศึกษาถึงวิธีการขัด 4 วิธี เปรียบเทียบกับการเคลือบผิวพอร์ซเลน โดยมีวิธีการขัดดังนี้ วิธีที่ 1 ใช้หัวกรอกากเพชรชนิดละเอียดมาก (superfine diamond, Hanan-Densco Teledyne Dental Equipment Co., Denver, CO, USA) ตามด้วยหัวขัดยางรูปวงล้อและครีมผสมอลูมินา วิธีที่ 2 ใช้หัวขัดยางซิลิโคน วิธีที่ 3 ใช้หัวกรอกากเพชรชนิดละเอียดมากตามด้วยหัวยางฝังอนุภาคขัดขนาดกลาง ตามด้วยหัวขัดยางรูปแผ่นกลมและครีมผสมอลูมินา ส่วนวิธีที่ 4 ใช้หัวกรอพอร์ซเลน (Jelenko porcelain carving, J.F Jelenko & Company, Armonk, NY, USA) ตามด้วยหัวขัดรูปวงล้อ เมื่อวัดค่าความขรุขระของผิวของการขัดทั้ง 4 วิธี ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ บนพื้นผิวที่ได้รับการขัดขั้นสุดท้ายของการขัดทั้ง 4 วิธี เมื่อเทียบกับผิวเคลือบ แต่จะพบว่าค่าความขรุขระของพื้นผิวที่แตกต่างกัน ในการขัดแต่ละลำดับขั้นของแต่ละวิธี ความขรุขระของพื้นผิวเป็นเพียงค่าเชิงปริมาณค่าหนึ่งที่นำมาพิจารณาถึงความเรียบที่เกิดขึ้นจากการขัดแต่งเท่านั้น แต่การตัดสินว่าวิธีการแบบใดจะให้ประโยชน์สูงสุดควรคำนึงถึงปัจจัยอื่นร่วมด้วยเช่น ความขรุขระบนพื้นผิวที่เกิดขึ้นร่วมกับการอักเสบของเนื้อเยื่อที่สัมผัสกับผิวพอร์ซเลน หรือการสึกของวัสดุที่เป็นคู่สบ (Klausner และคณะ, 1982) และในปีเดียวกันนี้เอง ได้มีการสนับสนุนให้ทำการขัดแต่งพื้นผิวพอร์ซเลนขั้นสุดท้ายด้วยผงพัมมิสชนิดละเอียด หรือครีมขัดพอร์ซเลน ซึ่งจะให้พื้นผิวที่ยอมรับใกล้เคียงกับผิวเคลือบเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนชนิดส่องกราด (Newilter, Schlissel และ Wolff, 1982)

การที่จะทำให้ผิวพอร์ซเลนเรียบได้ เครื่องมือควรจะมีคุณสมบัติในการขัดคือมีอนุภาคขนาดเล็กสม่ำเสมอ และการขัดควรขัดไปในทิศทางเดียวกันเบา ๆ เป็นจังหวะ (light intermittent pressure) จนกระทั่งผิวเรียบแล้วจึงเปลี่ยนเป็นหัวขัดชนิดต่อไป Haywood, Heymann และ Scuria (1989) ได้แนะนำวิธีการที่ขัดที่เรียบที่สุดและเรียบกว่าผิวเคลือบคือ เริ่มกรอด้วยหัวกรอกากเพชร (micron finishing system, Premier Dental Products, Norristown, PA, USA) หัวคาร์ไบด์ชนิด 30 ฟลุต (Brasseler USA, Inc., Savannah, GA, USA) ตามด้วยครีมขัดพอร์ซเลน (Truluster polishing system, Brasseler USA) ตามลำดับแต่วิธีนี้จะเสียเวลาในการขัดแต่งมาก นอกจากนี้ความเร็วในการกรอยังมีผลต่อความเรียบของพื้นผิวด้วย โดยเขาแนะนำว่าเมื่อใช้หัวกรอกากเพชรควรใช้ความเร็วปานกลางและมีน้ำร่วมด้วย แต่เมื่อใช้หัวกรอคาร์ไบด์ควรใช้ความเร็วสูงและไม่ต้องใช้น้ำ จากการดูด้วยตาเปล่าร่วมกับการดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด โดยเปรียบเทียบความเรียบของพื้นผิวที่ขัดด้วยครีมขัดพอร์ซเลน 4 ชนิดดังนี้ คือ ครีมกากเพชรขัดพอร์ซเลนทรูลัสเตอร์ ครีมกากเพชรของไดมอนด์ดัสท์ (DiamondDust porcelain polish, Advanced Dental Products Corp., Los Olivos, CA, USA) ครีมกากเพชรขัดพอร์ซเลนของเกลซเอ็นไชน์ (Glaze' N Shine, Dental Ventures of America, Anaheim, CA, USA) ครีมกากเพชรขัดพอร์ซเลนของไดอะกลอส (Dia-Gloss porcelain finishing kit, Vic Pollard Dental Products, Inc, CA, USA) การขัดด้วยหัวขัดยางซิลิโคน และการเคลือบผิวในฟลด์สปาติกพอร์ซเลน พบว่า ครีมกากเพชรขัดพอร์ซเลนทรูลัสเตอร์จะมีความเรียบมากที่สุด จากการดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอน และแนะนำว่าควรขัดพอร์ซเลนให้เรียบก่อนด้วยหัวขัดยางซิลิโคน ก่อนขัดด้วยครีมขัดพอร์ซเลนในขั้นตอนสุดท้ายต่อไป (Raimondo, Richardson และ Wiedner, 1990) ในการศึกษานี้ใช้จำนวนชิ้นทดสอบใน แต่ละกลุ่มเพียง 5 ชิ้นเท่านั้น เนื่องจากการประเมินด้วยสายตาอาจทำให้เกิดความผิดพลาดโดยผู้ทดสอบเกิดความลำเอียงได้ จึงควรใช้จำนวนชิ้นทดสอบในแต่ละกลุ่มเพิ่มขึ้น อาจเป็นกลุ่มละประมาณ 15 ชิ้น เพื่อลดความลำเอียงที่จะเกิดขึ้น ทำให้ผลการทดลองน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น

ในการประเมินด้วยเครื่องวิเคราะห์ความขรุขระของพื้นผิว Hulterstrom และ Bergman (1993) ได้เปรียบเทียบการขัดผิวของเซรามิกบล็อก (Cerec Vitablocs Mark I-porcelain, Vita Zahnfabrik, Germany) ด้วยผงพัมมิส หัวขัดยางซิลิโคน ชุดขัดกระดาษทรายรูปแผ่นกลม (3M SofLex discs, 3M Dental Products Division, St. Pual, MN, USA) ในเวลาต่าง ๆ คือ 120, 60 และ 30 วินาที และหัวผ้าสักหลาดที่ฝังครีมกากเพชรขัดพอร์ซเลนอยู่ภายใน (Identoflex Diam-superfinish felt polishing wheel, Identoflex, Buchs SG, Switzerland) พบว่าผิวที่ถูกกรอด้วยหัวกรอกากเพชรเมื่อได้รับการขัดด้วยชุดขัดกระดาษทรายรูปแผ่นกลมหรือใช้หัวขัดยางซิลิโคน จะได้ผิวเรียบที่สุดเมื่อใช้เวลา 60 วินาที ผลการวิเคราะห์พบว่าในการขัดขั้นสุดท้ายด้วยครีมกากเพชรขัดพอร์ซเลนหลังจากการใช้ชุดขัดกระดาษทรายรูปแผ่นกลม จะไม่ช่วยปรับปรุงความเรียบของพื้นผิว แต่ในกลุ่มของหัวขัดยางซิลิโคนจะพบว่ามีผลที่หลากหลาย การใช้ครีม

กากเพชรขัดพอร์ซเลนหลังจากการใช้ชุดขัดยางซิลิโคนจะลดความขรุขระของพื้นผิวจาก 30 วินาที และ 60 วินาที ($p<0.01$) แต่ไม่พบความแตกต่างในทางสถิติในการขัดที่ 100 และ 20 วินาที ในเซรามิกบล็อกจะไม่มีการเคลือบผิว ดังนั้นเมื่อต้องการให้ผิวเรียบขึ้นจึงได้จากการขัดแต่งอย่างเพียงพอ ซึ่งจากการศึกษานี้จะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการขัดแต่งก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่ง ถ้าเราใช้เวลาในการขัดที่เหมาะสม ก็จะได้พื้นผิวที่มีความเรียบที่ต้องการได้

ส่วนอีกการศึกษาทำการทดสอบในเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน (Ceramco II ceramic, Ceramco Inc., Burlington, NJ, USA) และไดคอร์เอ็มจีซี (Dicor MGC ceramic, L.D. Caulk Division, Dentsply International Inc., Milford, DE, USA) (Scurria และ Powers, 1994) ซึ่งประเมินโดยวัดค่าความขรุขระของพื้นผิว และดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ในการขัดที่เริ่มกรอด้วยหัวกรอกากเพชรชนิดหยาบ 60 ไมโครเมตร ตามด้วยหัวกรอกากเพชรชนิดละเอียด 45, 25, 10 ไมโครเมตร ในการขัดขั้นสุดท้ายจะแตกต่างกันไปดังนี้ คือใช้เจลกากเพชรขัดพอร์ซเลน (Two-striper MPS, Premier Dental Products Co., Norristown, PA, USA) ใช้หัวขัดซิลิกอนคาร์ไบด์ขนาด 48 และ 28 กริต และครีมอลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 1 และ 0.3 ไมโครเมตร (Enhance finishing/polishing system, L.D. Caulk Division, Dentsply International Inc., Milford, DE, USA) ค่าที่ได้จากการทดลองพบว่า ไดคอร์เอ็มจีซีจะให้ผิวที่เรียบกว่าเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน และการขัดละเอียดขั้นสุดท้ายในทุกกลุ่มของพอร์ซเลนทั้งสองชนิดให้ผิวที่เรียบกว่าผิวเคลือบ แต่เนื่องจากในไดคอร์เอ็มจีซี มีพื้นผิวที่แตกต่างกันน้อยมาก ดังนั้นในการประเมินด้วยการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนจึงไม่ค่อยเหมาะสมนัก เพราะเนื้อของไดคอร์เอ็มจีซี มีตำหนิน้อยมากทำให้การปรับระยะชัดของเครื่องมือจึงทำได้ยากด้วย

ได้มีการเปรียบเทียบวิธีการขัดผิวเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน 2 ชนิด (Biobond porcelain, Dentsply International, York, PA, USA และ Ceramco porcelain, J&J Dental Products Co., East Windsor, NJ, USA) ที่ได้รับการขัดแต่งแตกต่างกัน 5 วิธี ได้แก่ การใช้หัวขัดยางรูปวงล้อของดีเดโก หัวขัดยางซิลิโคนของโซฟุ ชุดขัดพอร์ซเลน (Brasseler Truluster polishing system, Brasseler USA, Inc., Savannah, CA, USA) ครีมขัดพอร์ซเลนของทรูลัสเตอร์ และครีมขัดพอร์ซเลนของเดนแมท (Den-Mat Diamond/Porcelain polishing paste, Dent-Mat Corp., Santa Maria, CA, USA) โดยใช้เครื่องมือวัดความขรุขระของพื้นผิว (profilometer) ร่วมกับการดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด และการดูด้วยตาเปล่า การศึกษานี้ ค่าความขรุขระของพื้นผิวจะแสดงได้ในเชิงปริมาณ ส่วนการดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนชนิดส่องกราดและการดูด้วยตาเปล่าเป็นการแสดงในเชิงคุณภาพ Goldstein และคณะได้พยายามเปลี่ยนค่าในเชิงคุณภาพให้กลายเป็นเชิงปริมาณโดยใช้การให้เป็นคะแนนความเรียบที่ได้จากการดูแล้วนำมาเรียงลำดับความเรียบในแต่ละวิธี เพื่อนำไปประเมินร่วมกับค่าความขรุขระของพื้นผิว ซึ่งได้ผลดังนี้

คือ หัวยางรูปวงล้อ หัวขัดยางซิลิโคน ครีมขัดพอร์ซเลนของทรูลัสเตอร์ขัดได้เรียบกว่าผิวเคลือบ ส่วนครีมขัดพอร์ซเลนของเดนแมทขัดแล้วผิวยังไม่เรียบ (Goldstein, Barnhard และ Penugonda, 1991)

จากการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าการประเมินพื้นผิวสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องวัดความขรุขระของพื้นผิว ซึ่งแสดงค่าในเชิงปริมาณและสามารถแสดงความแตกต่างออกมาในเชิงสถิติได้ ส่วนการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดหรือการดูด้วยตาเปล่า จะเป็นการแสดงความขรุขระออกมาในเชิงคุณภาพ ซึ่งถ้าจะแสดงความแตกต่างที่ชัดเจนเพิ่มขึ้น จำเป็นต้องมีการให้คะแนนความเรียบ แต่ค่าที่ได้จะบอกแต่เพียงว่าการขัดแบบใดเรียบกว่ากัน คะแนนที่ได้ไม่สามารถนำมาคำนวณทางสถิติได้ นอกจากนี้การดูด้วยตาเปล่าอาจมีความผิดพลาดที่เกิดจากผู้ทดลองเกิดขึ้น เช่นมีความลำเอียง (bias) ในกลุ่มทดลอง เพื่อที่จะลดความลำเอียงลง จึงควรเพิ่มจำนวนทดลองในแต่ละกลุ่มให้มากขึ้นไม่ควรทดสอบน้อยชิ้น ที่ผ่านมาจะพบว่า การขัดด้วยวิธีต่างๆ ให้ผลใกล้เคียงกับการเคลือบผิวแต่ยังมีผู้ศึกษาอีกหลายคนที่พบผลตรงกันข้าม คือ พบว่าไม่มีวิธีการหรือการขัดแบบใดที่สามารถขัดพอร์ซเลนให้เรียบเท่าผิวเคลือบได้ (Smith และ Wilson, 1981; Campbell, 1989; Zalkind, Lauer และ Stern, 1986)

จากการทดสอบด้วยเครื่องวัดความขรุขระของพื้นผิว ร่วมกับการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ในอลูมินัสพอร์ซเลน ที่ได้รับการขัดแตกต่างกันดังนี้คือ กลุ่มที่ 1 กรอด้วยหัวกรอกากเพชร กลุ่มที่ 2 ใช้หัวขัดรูปวงล้อ (Bush silent stone, Pfingst and Co., NY, USA) กลุ่มที่ 3 ใช้หัวขัดรูปวงล้อของบุช ร่วมกับหัวยางขัดรูปวงล้อฝังกากเพชรอยู่ภายใน (Impregnated rubber wheel, Svedia Dental Industri ab Enkoping, Sweden) กลุ่มที่ 4 ใช้หัวขัดกระดาษทรายรูปแผ่นกลมชนิดหยาบ (SofLex discs) กลุ่มที่ 5 ใช้หัวขัดรูปวงล้อของบุชร่วมกับหัวขัดกระดาษทรายรูปแผ่นกลมชนิดปานกลาง กลุ่มที่ 6 ใช้หัวขัดรูปวงล้อของบุช ร่วมกับหัวขัดกระดาษทรายรูปแผ่นกลมชนิดปานกลาง ตามด้วยชนิดละเอียด และชนิดละเอียดมาก กลุ่มที่ 7 ใช้หัวกรอกากเพชรตามด้วยหัวขัดกระดาษทรายรูปแผ่นกลมขนาดปานกลาง กลุ่มที่ 8 หัวกรอ กากเพชรตามด้วยหัวขัดกระดาษทรายรูปแผ่นกลมขนาดหยาบปานกลาง ละเอียด และชนิดละเอียดมาก กลุ่มที่กรอด้วยหัวกรอกากเพชรจะมีความไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวมากที่สุด ส่วนการกรอด้วยหัวขัดรูปวงล้อสามารถกำจัดพื้นผิวที่ขรุขระใหญ่ ๆ ออกไปได้ แต่จะทิ้งร่องรอยเอาไว้ ชุดขัดกระดาษทรายรูปแผ่นกลมสามารถทำให้ผิวพอร์ซเลนสม่ำเสมอได้ แต่ไม่เหมาะสมในการกรอพอร์ซเลนหนาๆ ส่วนกลุ่มที่ได้รับการขัดจนถึงขั้นละเอียด จะได้พื้นผิวที่มีความขรุขระน้อยกว่า จึงเป็นการยืนยันถึงความสำคัญที่จะต้องขัดแต่งจนละเอียดขั้นสุดท้าย ถึงแม้ว่าผลการทดลองการขัดขั้นสุดท้ายจะให้ผลที่เรียบไม่เท่ากับผิวเคลือบก็ตาม (Smith และ Wilson, 1981)

Zalkind และคณะ (1986) สนับสนุนว่าการเคลือบผิว สามารถให้พื้นผิวที่เรียบกว่าการขัดแต่ง โดยทำการกรอแต่ง 7 วิธี ดังนี้คือ กลุ่มที่ 1 กรอด้วยหัวกรอกากเพชรใหม่ กลุ่มที่ 2 กรอด้วยหัวกรอกากเพชรที่ใช้แล้ว กลุ่มที่ 3 กรอด้วยหัวกรอคาร์ไบด์ กลุ่มที่ 4 กรอด้วยหัวกรอหินสีขาวของโซฟุ กลุ่มที่ 5 กรอด้วยหัวกรอกระดาษทราย (E.C. Moore Co., Dearborn, MI, USA) กลุ่มที่ 6 ทำการเป่าทรายด้วยผงอลูมินัมออกไซด์ (Hunter Assoc., Bridge Water, NJ, USA) หลังจากกรอด้วยหัวกรอกากเพชรใหม่ และกลุ่มที่ 7 กลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับการกรอแต่งแต่ได้รับการเคลือบผิว นำกลุ่มทดลองทั้งหมดไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ถ่ายรูปไว้ แล้วนำไปทำการเคลือบผิวอีกครั้งในทุกกลุ่ม นำรูปถ่ายที่ได้มาเปรียบเทียบกัน พบว่าพื้นผิวพอร์ซเลนเมื่อโดนกรอแต่งแล้วจะทำให้ผิวขรุขระ ซึ่งการเคลือบผิวจะลดความขรุขระลง เนื่องจากเมื่อได้รับการเคลือบผิว อนุภาคของพอร์ซเลนบางส่วนจะถูกหลอมเชื่อมกันทำให้พื้นผิวลดความขรุขระลงได้ อย่างไรก็ตามผิวที่ได้จะไม่เรียบโดยสมบูรณ์ด้วยการเคลือบผิวเพียงอย่างเดียว จึงพบพื้นผิวมีความขรุขระมากกว่ากลุ่มที่ได้รับการเคลือบผิว การเป่าทรายด้วยผงอลูมินัมออกไซด์ก่อนการเคลือบผิวจะช่วยให้ได้ผิวที่เรียบเท่าก่อนขัดได้

ในปี คศ. 1989 Campbell ได้ศึกษาถึงลักษณะพื้นผิวของซีเรสตอร์ (Cerestore, Coors Biomedical, Lakewood, CO, USA) ไดคอร์ โดยนำมาขัดแต่งด้วยหัวขัดยางซิลิโคนของโซฟุ ครีมกากเพชรขัดพอร์ซเลนของวีเดนท์ ขนาด 0.2 ไมโครเมตร และกลุ่มที่กรอผิวออก 0.2 มิลลิเมตร ด้วยหัวกรอกากเพชรชนิดความหยาบปานกลางแล้วขัดต่อด้วยหัวขัดยางซิลิโคนของโซฟุ นำมาเปรียบเทียบกับเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน (Vita, Vident, Baldwin Park, CA, USA) ที่ได้รับการเคลือบผิว จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าการขัดแต่งผิวของซีเรสตอร์ จะได้พื้นผิวที่มีความขรุขระมากว่าในไดคอร์ และพบว่าผิวที่ได้รับการขัดในพอร์ซเลนทั้งสองมีผิวที่หยาบกว่าเฟลด์สปาติกพอร์ซเลนที่ได้รับการเคลือบผิว

มีการประเมินความเรียบของผิวเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน โดย Patterson และคณะ (1991) ได้ใช้เครื่องมือวัดความขรุขระของพื้นผิว และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด เปรียบเทียบพื้นผิวที่มีการเตรียมแตกต่างกัน 4 วิธี กลุ่มที่ 1 ได้รับการเคลือบผิว กลุ่มที่ 2 พื้นผิวที่ได้รับการขัดด้วยครีมกากเพชรขัดพอร์ซเลน (Chameleon diamond paste, Chameleon Dental Products Inc., Kansas City, KS, USA) กลุ่มที่ 3 พื้นผิวที่ได้รับการกรอด้วยหัวกรอกากเพชรชนิดละเอียด (Komet diamond bur, Gebr. Brasseler Gmbh&Co.KG, Lemgo, Germany) และกลุ่มที่ 4 พื้นผิวที่ได้รับการกรอด้วยหัวกรอกากเพชรชนิดละเอียด ตามด้วยครีมกากเพชรขัดพอร์ซเลน ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความขรุขระของพื้นผิว (Ra values) วัดได้ดังนี้ กลุ่มที่ 1) 0.02±0.05 2) 0.18±0.03 3) 1.67±0.19 4) 0.85±0.25 จะเห็นได้ว่าครีมขัดที่ใช้สามารถให้ผิวที่เรียบขึ้นกว่าการกรอด้วยหัวกรอกากเพชรชนิดละเอียดอย่างมีนัยสำคัญ

แต่ไม่สามารถขัดได้เรียบเท่าผิวเคลือบที่ไม่ได้รับการกรอแต่งใด ๆ ซึ่งในปีต่อมา Patterson และคณะ (1992) ได้ทำการศึกษาในลักษณะนี้อีก แต่เปรียบเทียบเพิ่มโดยใช้หัวกรอกากเพชรชนิดละเอียด (30 ไมโครเมตร) และหัวกรอกากเพชรชนิดละเอียดมาก (15 ไมโครเมตร) แล้วขัดต่อด้วยครีมกากเพชรขัดพอร์ซเลน พบว่า หลังการกรอแต่งด้วยหัวกรอกากเพชรชนิดละเอียดมาก แล้วขัดแต่งด้วยครีมขัดพอร์ซเลนจะให้ผิวที่เรียบกว่า หลังการกรอแต่งด้วยหัวกรอกากเพชรชนิดละเอียดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่สามารถให้ผิวที่เรียบเท่าผิวเคลือบได้ จะเห็นว่าเมื่อพื้นผิวได้รับการขัดแต่งหัวกรอที่ละเอียดขึ้น ก็จะให้พื้นผิวที่เรียบขึ้น ดังนั้นเมื่อการกรอแก้ไขในช่องปากเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ จึงควรจะหาวิธีการขัดเพื่อให้ได้ผิวที่เรียบใกล้เคียงกับผิวเคลือบมากที่สุด

สภาวะของพื้นผิววัสดุจึงมีความสำคัญในการควบคุมการหักจากความล้าโดยพื้นผิวของวัสดุควรจะต้องเรียบ ปราศจากตำแหน่งสะสมความเค้น (White, 1993; Fairhurst และคณะ, 1993; Wagner, O'Brien และ Mora, 1992) ในพอร์ซเลนการแตกหักที่เกิดขึ้นจะเป็นการหักเปราะ (Askeland, 1985; Callister, 1991) ซึ่งเป็นการแตกหักในลักษณะที่เกิดรอยร้าว (crack) ขึ้นภายในวัสดุ และมีการแพร่กระจายรอยร้าวไปตลอดชิ้นวัสดุก่อน หรือ ณ จุดที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนรูป (plastic flow) (Brick, Rense และ Gordon, 1977) การแตกหักอาจมีผลสืบเนื่องมาจากการสะสมความล้า (fatigue) ในการใช้งานได้อีกด้วย กระบวนการที่เกิดขึ้นคล้ายกับการแตกหักเปราะ แต่มีปัจจัยเสริมที่แตกต่างกัน การแตกหักจากความล้าเริ่มต้นโดยเกิดรอยร้าวจากความล้าบริเวณผิวที่ได้รับความเค้นดึง (tensile stress) จากแรงที่กระทำเป็นรอบ (cyclic loading) มีลักษณะเป็นรอยเปิดเล็ก ๆ ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของกลุ่มระนาบผลึกที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งที่บริเวณใกล้ผิวด้านนอกและมีการขยายตัวในอัตราที่ช้ามากเมื่อเริ่มมีรอยเปิด

การแตกหักของวัสดุเป็นขบวนการที่ซับซ้อน และมีลำดับขั้นภายในวัสดุนั้นๆ รูปแบบของการ แตกหักที่สังเกตุได้ภายนอกอาจเกิดได้หลายลักษณะเช่น หักในทันทีทันใด หักเมื่อได้รับแรงกระทำซ้ำๆ หรือหักภายหลังที่มีการเปลี่ยนรูป ซึ่งกระบวนการเริ่มแรกจำกัดอยู่ในระดับที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ทำให้การศึกษาหาทฤษฎีที่สามารถอธิบายขั้นตอนของกระบวนการดังกล่าวอย่างถูกต้องนั้นทำได้ยาก จุดกำเนิดของการแตกหัก สามารถตรวจสอบได้โดยแฟ็คโตกราฟฟี (fractography) ตาม ASTM C 1256-93 และความเสียหายที่เกิดสามารถคำนวณได้โดยใช้วิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ (finite element techniques) (Peters, De Vree และ Brekelmans, 1993)

การแตกหักของชิ้นพอร์ซเลนอาจเกิดขึ้นในขณะระหว่างขึ้นรูป (fabrication) ขณะใส่ให้ผู้ป่วย (placement) หรือในขณะที่ผู้ป่วยใช้งานไปแล้ว (service) ซึ่งสาเหตุของการแตกนั้นอาจเกิดขึ้นได้จาก การมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนไม่เข้ากันระหว่างโลหะกับพอร์ซเลน การมีการออกแบบที่ไม่

เหมาะสม บางมุมที่แหลม มีส่วนที่รองรับพอร์ซเลนไม่เพียงพอ หรือเกิดจากการที่มีขบวนการเผาที่ไม่เหมาะ (Preston, 1988)

เมื่อนำชิ้นงานที่แตกไปส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จะพบรอยตำหนิ (flaw) หรือฟองอากาศอยู่ที่บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันพอร์ซเลนและส่วนโครงซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดรอยร้าว (Peters, De Vree และ Brekelmans, 1993) และทำให้เกิดรอยร้าวเจริญต่อไป ดังนั้นถ้าเราสามารถลดรอยตำหนิที่เกิดขึ้นได้ จะทำให้ชิ้นงานมีโอกาสแตกได้น้อยลง ซึ่งการลดรอยตำหนิที่พื้นผิวอาจทำได้โดยการขัดพื้นผิวให้เรียบหรือการเคลือบผิว ซึ่งมีรายงานพบว่า การเคลือบผิวสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับพอร์ซเลนได้ (Wagner และคณะ, 1992)

จากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์อิลิเมนต์ พบว่ารอยตำหนิที่เกิดขึ้นภายในจากการเกิดแรงเค้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หรือความพรุนที่เกิดขึ้นบนพื้นผิว (surface porosity) เนื่องจากขั้นตอนในการอัดแน่นไม่ดีพอ (McLean, 1979) หรือรอยตำหนิที่เกิดขึ้นจากการขัดสี (abrasion) การกรอแต่ง และฟองอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างซีเมนต์ จะมีผลเพิ่มความเค้นภายในได้ (internal stress) ทำให้เกิดการแตกหักตามมา (Anusavice และ Hojjatie, 1992)

รอยตำหนิที่เกิดขึ้นภายในวัสดุ จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของผลึก (dislocation in crystals) ส่งผลให้เกิดความเค้นภายในวัสดุจนทำให้เกิดรอยร้าวภายใน ซึ่งสามารถเจริญต่อไปอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเกิดการแตกหักขึ้นได้ นอกจากรอยตำหนิภายในแล้ว รูพรุนซึ่งเกิดขึ้นในเนื้อวัสดุและรอยขีดข่วนที่พื้นผิวอาจทำให้เกิดบริเวณจุดรวมของความเค้นสะสม ซึ่งจะเกิดขึ้นในบริเวณที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ (Anusavice และ Hojjatie, 1992)

ปัจจุบันซีเมนต์ที่นิยมใช้ยึดชิ้นเซรามิกเข้ากับเนื้อฟัน ได้แก่ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (zinc phosphate cement) กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และเรซินซีเมนต์ Yoshinari และ Derand (1994) พบว่า เซรามิกที่ยึดด้วยเรซินซีเมนต์ จะมีความแข็งแรงสูงกว่าที่ยึดด้วยกลาสไอโอโนเมอร์และซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ เนื่องจากขบวนการทำกรดกัด (etching) ทำให้จุดปลายของรอยตำหนิมนลง และมีการฉาบบริเวณรอยตำหนิด้วยสารเชื่อมยึดไซเลน (silane bonding agent) และเรซินซีเมนต์ นอกจากนี้ยังเกิดพันธะทางเคมีระหว่างเรซินซีเมนต์กับครอบฟันเซรามิกและตัวฟันทำให้ลดการเกิดแรงเค้นตามด้านในของครอบฟัน ซึ่งเป็นบริเวณที่จะเกิดแรงเค้นดึงสูงสุด ซึ่งตรงกับการศึกษาของ Rosenstiel และคณะในปี 1993 ซึ่งกล่าวถึงการฉาบบริเวณรอยตำหนิด้วยสารเชื่อมยึดจะลดการรั่วซึมของน้ำในการผ่านไปสู่รอยร้าวได้ ทำให้เกิดการสึกกร่อนเนื่องจาก

ความเค้น (stress corrosion) น้อยลง ดังนั้น การใช้การกัดที่ผิวด้านในร่วมกับการฉาบด้วย คอมโพสิตที่มีความหนืดต่ำ (low viscosity composite) จะลดอิทธิพลของรอยตำหนิที่พื้นผิวที่จะยึดซีเมนต์ได้

นอกจากนี้ความเค้นกดบนพื้นผิวสามารถเกิดขึ้นได้ในขณะเคลือบ เวิกค์ฮาดเดนนิง (work hardening) และการแลกเปลี่ยนอิออน (ion exchange) (McLean, 1979; Anusavice, 1996; McLean, 1991) การเคลือบผิวจะทำให้เกิดความเค้นกดได้เท่าเซรามิกที่อยู่ข้างใต้หดตัวมากกว่าทำให้พื้นผิวที่เคลือบอยู่ในสภาวะแรงกด ความเค้นกดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวจะเพิ่มความแข็งแรงโดยยับยั้งการเจริญของรอยร้าวที่จะเกิดขึ้นจากพื้นผิวไปตลอดชิ้นงาน เช่นเดียวกันเวิกค์ฮาดเดนนิง ของเซรามิกสามารถทำให้เกิดความเค้นกดโดยการกรอละเอียดและการขัดแต่ง (fine grinding and polishing)

พื้นผิวของพอร์ซเลนที่เรียบ นอกจากจะให้ความสวยงามยังทำให้อัตราการสึกของฟันคู่สบลดลง (Jacobi, Shillingburg และ Duncanson, 1991; Monasky และ Taylor, 1971) ลดการรบกวนต่อเนื้อเยื่อรอบๆ และลดการเกาะของแผ่นคราบจุลินทรีย์ (Caputo, 1980) ยังพบว่าพื้นผิวเรียบทั้งจากการเคลือบผิวและการขัดแต่งสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับพอร์ซเลนได้ด้วย เนื่องจากมีการกำจัดพื้นผิวที่เป็นรอยแตกเล็กๆ ออกไปซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดรอยร้าวต่อไปได้ และเหนี่ยวนำให้เกิดความเค้นตกค้างอยู่ภายในวัสดุ (introduction of residual compressive stresses) (Anusavice, 1996)

ผงขัดเมื่อสัมผัสที่ผิวของพอร์ซเลนจะเกิดแรงจากการสัมผัสทำให้มีการไหลแบบพลาสติก (plastic flow) การคืนตัวแบบยืดหยุ่น (elastic recovery) และการกระเทาะของผิวพอร์ซเลนบางส่วน เป็นผลให้เกิดความเค้นตกค้างอยู่ภายใน และรอยร้าวที่แผ่ออกเป็นรัศมีในทางด้านข้าง (radial-lateral crack network) ซึ่งสามารถยืนยันได้โดยการศึกษาภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ถึงลักษณะของการแตกหัก แรงกดที่เกิดขึ้นเมื่อผงขัดสัมผัสกับพื้นผิว จะมีผลต่อรอยตำหนิที่เรียงตัวขนานและตั้งฉากกับพื้นผิว บริเวณของแรงกดที่เกิดขึ้น (compressive zone) ภายใต้อนุภาคของผงขัดแต่ละชั้น จะคาบเกี่ยวกัน เกิดเป็นชั้นของแรงกด (layer of compression) ชั้นของแรงกดนี้จะมีผลต่อรอยร้าวที่อยู่ ใกล้เคียงโดยจะเพิ่มความต้องการของแรงที่จะทำให้รอยร้าวเจริญต่อไป จึงเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุ (Giordano, Cima และ Pober, 1995)

ในปี ค.ศ.1965 McLean และ Hughes ได้รายงานว่าแท่งพอร์ซเลนที่ได้รับการเคลือบจะมีกำลังดัดขวางเป็นสองเท่าของชิ้นงานที่กรอแต่ง เนื่องจากรอยตำหนิที่พื้นผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อแท่งเซรามิกถูกกรอ อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้มีการเตรียมชิ้นงานที่แตกต่างไปจากการเตรียมปกติ โดยแท่งพอร์ซเลนจะถูกอัดด้วยไฮดรอลิก (hydraulic) และผงพอร์ซเลนที่ใช้เป็นพอร์ซเลนที่อุณหภูมิหลอมเหลวปานกลาง (medium fusing porcelain)

จากการศึกษาของ Sherrill และ O'Brien ในปี ค.ศ.1974 โดยวัดค่ากำลังดัดขวางของแท่งเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน และอลูมินัสพอร์ซเลน ที่นำไปเคลือบผิว และกรอแต่ง ค่ากำลังดัดขวางในอลูมินัสพอร์ซเลนมีดังนี้คือ ภายใต้การทดสอบในสภาวะที่แห้ง กลุ่มที่กรอแต่ง 14.0 kg/mm^2 (19,000 psi) ในอลูมินัสพอร์ซเลน และ 9.0 kg/mm^2 (13,000 psi) ในเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน กลุ่มเคลือบผิว 11.0 kg/mm^2 (15,600 psi) ในอลูมินัสพอร์ซเลน และ 9.0 kg/mm^2 (13,000 psi) ในเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน ภายใต้การทดสอบในสภาวะที่เปียก กลุ่มที่กรอแต่ง 11.2 kg/mm^2 (16,200 psi) ในอลูมินัสพอร์ซเลน และ 6.6 kg/mm^2 (9,400 psi) ในเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน กลุ่มเคลือบผิว 8.77 kg/mm^2 (12,600 psi) ในอลูมินัสพอร์ซเลน และ 7.3 kg/mm^2 (10,000 psi) ในเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน จะเห็นว่าในอลูมินัสพอร์ซเลนมีค่ากำลังดัดขวางสูงกว่าเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน 40% ทั้งนี้เนื่องจากผลึกอลูมินาที่อยู่ภายในอลูมินัสพอร์ซเลนจะช่วยต้านทานการเจริญของรอยร้าว (crack propagation) นอกจากนี้อลูมินัสพอร์ซเลน ที่ได้รับการกรอแต่งในการศึกษานี้จะให้ค่ากำลังดัดขวางสูงกว่าชิ้นงานที่เคลือบผิว 27% การที่ค่ากำลังดัดขวางในชิ้นงานเคลือบผิวลดลงเป็นผลจากความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน ระหว่างวัสดุที่เป็นแกน กับชั้นเนื้อฟันที่เคลือบผิว ทำให้ผิวเคลือบเกิดแรงเค้นแตกต้างขณะเย็นตัวร่วมกับ เมื่อมีการเติมชั้นผิวเคลือบแล้ว ทำให้ขนาดของวัสดุไม่สม่ำเสมอ (loss of dimensional uniformity)

ส่วน Rosenstiel และคณะ (1989) ได้นำแท่งเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน ขนาดความกว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 10 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร จำนวน 22 ชิ้นมาทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานแตกหัก (fracture toughness) และความสามารถในการติดสี (stainability) ระหว่างพอร์ซเลนที่เคลือบผิว กับพอร์ซเลนที่ขัดด้วยผงพัมมิสจนมีความเงาเท่าผิวเคลือบ ค่าพลังงานแตกหักของกลุ่มที่ได้รับการขัดแต่ง 2.34 MPa.m$^{1/2}$ กลุ่มเคลือบผิว 1.73 MPa.m$^{1/2}$ พบว่าค่าพลังงานแตกหักสูงขึ้นในชิ้นงานที่ขัดด้วยผงพัมมิส ส่วนในชิ้นงานที่มีการเคลือบผิวจะมีการอบอ่อนเกิดขึ้น (annealing) ทำให้คลายความเค้นกดลง (compressive stresses) และชิ้นงานที่ทำการทดสอบเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมแบนซึ่งแตกต่างจากรูปร่างของวัสดุบูรณะในปากจริงที่มีลักษณะโค้งนูน ดังนั้นภาวะแรงเค้นกดที่เกิดขึ้นในกลุ่มเคลือบผิวจึงต่ำกว่าที่ควรจะเป็น อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการขัดแต่งจะให้ค่าพลังงานแตกหักสูงก็ตาม แต่ค่านี้จะไม่ขึ้นกับรอยตำหนิบนพื้นผิวซึ่งเป็นจุดกำเนิดของการแตกหัก อายุการใช้งานของเซรามิกอาจลดลงได้ ถ้าพื้นผิวยังคงมีรอยตำหนิอยู่มาก ดังนั้นการขัดแต่งควรทำการขัดจนไม่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวเกิดขึ้น ส่วนความสามารถในการติดสี ในกลุ่มที่ได้รับการขัดแต่งมีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของสี (Mean ΔE) 3.6 ในสัปดาห์ที่ 1 และ 3.04 ในสัปดาห์ที่ 8 ส่วนกลุ่มเคลือบผิว 3.9 ในสัปดาห์ที่ 1 และ 3.31 ในสัปดาห์ที่ 8 ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการเคลือบผิว และการขัดด้วยผงพัมมิส การขัดแต่งจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งแทนการเคลือบผิวได้

ต่อมาได้มีการทดสอบค่ากำลังดัดขวางของเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน ที่ใช้สำหรับงานพอร์ซเลนเชื่อมกับโลหะที่ขอบเป็นพอร์ซเลนทั้งหมด (all porcelain margin) 5 ชนิด ขนาดความกว้าง 2 มิลลิเมตร ยาว 15 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร จำนวนชนิดละ 30 ชิ้น ชนิดที่ 1 พอร์ซเลนที่ใช้ทำส่วนตัวฟัน (Vita body porcelain, Vita VMK-68, Vident, Baldwin Park, CA, USA) ผสมกับส่วนเหลวที่ใช้สำหรับขึ้นรูป (modeling fluid) ชนิดที่ 2 พอร์ซเลนที่ใช้ทำส่วนของขอบ (Vita shoulder porcelain) ผสมกับส่วนเหลวที่ใช้สำหรับขึ้นรูป ชนิดที่ 3 พอร์ซเลนที่ใช้ทำส่วนของขอบ (Vita shoulder porcelain) ผสมกับส่วนเหลวซิลิกาอินเวสเมนต์ (silica investment liquid) ชนิดที่ 4 พอร์ซเลนที่ใช้ทำส่วนของขอบ (Crystar shoulder porcelain, Unitek Corporation, Monrovia, CA, USA) ผสมกับส่วนเหลวที่ใช้สำหรับขึ้นรูป ชนิดที่ 5 พอร์ซเลนที่ใช้ทำส่วนของขอบ (Crystar shoulder porcelain) ผสมกับส่วนเหลวซิลิกาอินเวสเมนต์ แต่ละชนิดจะได้รับการเคลือบผิว การเคลือบทับ และการเคลือบผิวแล้วทำการขัดแต่งด้วยชุดขัดยางซิลิโคน ในพอร์ซเลนทั้ง 5 ชนิด พบว่า ค่าพอร์ซเลนในกลุ่มที่ 4 มีค่ากำลังดัดขวางสูงสุด เนื่องจากไคร์สตาร์พอร์ซเลนที่ใช้ในกลุ่มนี้จะมีอุณหภูมิหลอมตัวที่สูงกว่าพอร์ซเลนทั่วไปที่ใช้ทำส่วนตัวฟันประมาณ 60 องศาเซลเซียส และสูงกว่าพอร์ซเลนของวิตาที่ใช้ทำส่วนขอบประมาณ 30 องศาเซลเซียส จึงทำให้มีการซินเทอร์ริงที่สมบูรณ์เกิดขึ้นได้ดีกว่าพอร์ซเลนชนิดอื่น ดังนั้นค่ากำลังดัดขวางจึงมีสูงขึ้น ส่วนการใช้ส่วนเหลวซิลิกาอินเวสเมนต์ ซึ่งเดิมเชื่อว่าช่วยลดการหดตัวและเพิ่มความแข็งแรงได้ แต่จากการศึกษาจะเห็นว่าค่ากำลังดัดขวางที่ได้ มีค่าต่ำกว่ากลุ่มของพอร์ซเลนผสมกับส่วนเหลวที่ใช้สำหรับขึ้นรูป นอกจากนี้เมื่อดูด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด เปรียบเทียบกันแล้วยังพบว่ากลุ่มที่ใช้ส่วนเหลวซิลิกาอินเวสเมนต์จะพบความขรุขระ และฟองอากาศมากกว่าในกลุ่มที่ใช้ส่วนเหลวสำหรับขึ้นรูป ดังนั้นจึงไม่แนะนำให้ใช้ส่วนเหลวซิลิกาอินเวสเมนต์ ในการผสมกับพอร์ซเลน ส่วนการเตรียมพื้นผิวของพอร์ซเลนที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่มนั้น พบว่าการเคลือบทับจะให้ค่ากำลังดัดขวางสูงสุด เนื่องจากการเคลือบทับจะป้องกันการขยายของรอยร้าว ส่วนกลุ่มของการเคลือบผิวในการศึกษานี้ใช้อุณหภูมิเผาครั้งแรกที่อุณหภูมิสมบูรณ์ของส่วนตัวฟันซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิสมบูรณ์ของส่วนขอบ 30 องศาเซลเซียส ทำให้การเคลือบผิวของพอร์ซเลนที่ใช้สำหรับทำขอบเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ในการทดลองนำพอร์ซเลนที่ได้หลังเผามาเคลือบทับ โดยที่ไม่มีการกรอแต่งใดๆ เลย ทำให้ไม่เหมือนสภาพการใช้งานจริงที่จะต้องมีการกรอแก้ไขก่อน ค่ากำลังดัดขวางที่ได้หลังการเคลือบทับมีค่าสูงกว่าเพราะรอยตำหนิซึ่งเป็นต้นกำเนิดของรอยร้าวจะถูกปิดด้วยพอร์ซเลนที่นำมาเคลือบทับ ส่วนในกลุ่มที่ขัดแต่งจะมีการกรอผิวเคลือบออกด้วยหัวกรอหินสีขาว แม้ว่าจะมีการขัดแต่งแล้วก็ตาม แต่รอยตำหนิบนพื้นผิวก็ยังคงอยู่ (Brackett และคณะ, 1989)

Fairhurst และคณะ (1992) ได้นำแผ่นกลมพอร์ซเลน (Jelenko Gingival, Jelenko Dental Health Products, Armonk, NY, USA) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร มาทดสอบกำลังดัดขวาง โดยทุกชิ้นงานจะกรอด้วยหัวกรอกากเพชร (Buchler Ltd., Lake Bluff, IL, USA)

ขนาด 70 ไมโครเมตร ตามด้วยครีมขัดพอร์ซเลน (ECOMET - III, Buchler Ltd., Lake Bluff, IL, USA) ขนาด 15 ไมโครเมตร จากนั้นแบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มแรกนำไปเคลือบผิวแล้วขัดด้วยครีมขัดพอร์ซเลนอีกครั้ง กลุ่มที่ 2 ขัดด้วยครีมกากเพชร ขนาด 1 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปเคลือบผิว กลุ่มที่ 3 ขัดด้วยครีมกากเพชร ขนาด 1 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปเคลือบผิวและค้างไว้ที่อุณหภูมิเคลือบผิว 1 นาที กลุ่มที่ 4 ขัดด้วยครีมกากเพชรขนาด 1ไมโครเมตร ไม่ต้องเคลือบผิว ได้ค่ากำลังดัดขวางเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังนี้ 1) 47.65±3.77 MPa 2) 45.27±4.26 MPa 3) 47.24±4.04 MPa 4) 51.56±4.10 MPa จะเห็นว่าความแข็งแรงในกลุ่มที่เผาครั้งเดียวคือกลุ่มที่ 4 สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ ที่เผาสองครั้งถึง 8% ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการแตกของชิ้นพอร์ซเลนที่ได้รับการขัดแต่งถูกควบคุมโดยการกระจายของรอยตำหนิที่เกิดขึ้นภายใน ซึ่งการกระจายของรอยตำหนินี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งและธรรมชาติของอนุภาคลูไซต์ ที่มีเมตริกซ์แก้ว (glass matrix) ล้อมรอบ เมตริกซ์แก้วมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำ ความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์นี้ทำให้เกิดรอยร้าวเล็กๆ ได้ในขณะที่เมตริกซ์แก้วเย็นตัว เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ในกลุ่มที่มีการเคลือบผิว จะพบรอยตำหนิขนาดใหญ่กว่า ซึ่งรอยตำหนิขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นนี้ยังไม่สามารถอธิบายได้ว่าเกิดจากอะไร แต่รอยตำหนิที่มีขนาดใหญ่กว่านี้เองที่ส่งผลให้ความแข็งแรงของพอร์ซเลนที่เคลือบผิวลดลง เมื่อเปรียบเทียบในกลุ่มที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยกัน กลุ่มที่ 3 ที่มีการค้างไว้ที่อุณหภูมิเคลือบผิว 1 นาที จะมีค่ากำลังดัดขวางสูงกว่ากลุ่มเคลือบผิวอื่น ๆ ซึ่งอธิบายได้ว่า เวลา 1 นาทีที่ค้างไว้นั้น จะทำให้รอยตำหนิที่มีขนาดใหญ่เหล่านั้นถูกปิด เนื่องจากมีการหลอมตัวของอนุภาคเข้ามาชนกัน จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อกำลังดัดขวางของเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน นอกจากการเตรียมพื้นผิวที่แตกต่างกัน ยังต้องคำนึงถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการเคลือบผิว เวลาที่ค้างไว้ที่อุณหภูมิเคลือบผิว ซึ่งน่าจะต้องทำการศึกษาต่อไปว่าช่วงเวลาเท่าใดที่เหมาะสมที่สุดในการคงไว้ที่อุณหภูมิเคลือบผิว โดยทำให้ความแข็งแรงของพอร์ซเลนเพิ่มขึ้นด้วย

จากการศึกษาถึงค่ากำลังดัดขวางของเฟลด์สปาติกพอร์ซเลนที่มีปริมาณลูไซต์สูง (Optec HSP, Shade A-2, Lot No. G191 2A, Jeneric/Pentron, Inc., Wallingford, CT, USA) ขนาดความกว้าง 5 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร จำนวน 60 ชิ้นโดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรกนำไปกรอแต่งด้วยหัวกรอกากเพชรขนาด 45 ไมโครเมตร กลุ่มที่สองนำไปเคลือบทับ และกลุ่มที่สามขัดแต่งด้วยครีมขัดผสมกากเพชร ขนาด 3-4 ไมโครเมตร (Truluster polishing system for porcelain, Brasseler USA Inc., Savannah, GA, USA) ชิ้นงานครึ่งหนึ่งจะนำไปเก็บและทดสอบกำลังดัดขวางในสภาวะที่แห้ง ได้ค่ากำลังดัดขวางเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังนี้ กลุ่มที่ 1) 82.82±23.98 MPa 2) 132.54±15.97 MPa 3) 106.15±14.71 MPa ส่วนที่เหลือจะนำไปเก็บและทดสอบกำลังดัดขวางในสภาวะที่เปียก ได้ค่ากำลังดัดขวางดังนี้ กลุ่มที่ 1) 84.89±19.40 MPa 2) 141.74±17.70 MPa 3) 103.93±14.65 MPa จะเห็นได้ว่าพื้นผิวที่หยาบจะทำให้ชิ้นงานอ่อนแอกว่าชิ้นงานที่ทำการเคลือบทับ หรือพื้นผิวที่ขัดแต่ง ส่วนในกลุ่มที่มีการ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เคลือบทับ เปรียบเทียบกับ กลุ่มที่มีการเคลือบทับแล้วขัดแต่ง พบว่าเมื่อผิวเคลือบถูกกรอออกไปจะทำให้ค่ากำลังดัดขวางลดลง ทำให้กลุ่มที่เคลือบทับแล้วขัดแต่งมีค่ากำลังดัดขวางต่ำกว่ากลุ่มที่มีการเคลือบทับ การเคลือบทับจะทำให้บริเวณพื้นผิวเกิดความเค้น ถ้ามีการหดตัวของผิวเคลือบน้อยกว่าพอร์ซเลนที่อยู่ข้างใต้เมื่อเย็นตัวลง จะทำให้เกิดความเค้นตกค้างที่พื้นผิวของการเคลือบทับ ซึ่งจะยับยั้งการเจริญของรอยร้าวที่เป็นสาเหตุให้ชิ้นงานแตกหัก เสียหาย (Williamson, Kovarik และ Mitchell, 1996)

ในปี 1994 Giordano, Campbell และ Pober ได้นำเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน ขนาดความกว้าง 3 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ที่มีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกัน มาเปรียบเทียบกำลังดัดขวาง ระหว่างการนำไปแลกเปลี่ยนอิออน โดยทาสารทัฟโคด (Tuf-Coat, G-C International Corp., Tokyo, Japan) การเคลือบทับ และการขัดแต่งด้วยหัวกรอกากเพชรขนาด 50 ไมโครเมตร ตามด้วยครีมขัดพอร์ซเลน (Diamond polishing paste, Buehler Ltd., Lake Bluff, IL, USA) ที่มีกากเพชรขนาด 35 ไมโครเมตร และ 15 ไมโครเมตรตามลำดับ พบว่าการแลกเปลี่ยนอิออน การเคลือบทับ และการขัดแต่งด้วยครีมขัดพอร์ซเลน สามารถเพิ่มค่ากำลังดัดขวางของเฟลด์สปาติกพอร์ซเลนได้ แต่ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นโดยการแลกเปลี่ยนอิออนจะสูญเสียไป ถ้าพอร์ซเลนนั้นถูกนำไปเคลือบผิว เนื่องจากเมื่อทำการเคลือบผิว ความเค้นกดที่เกิดขึ้นจากการแลกเปลี่ยนอิออนจะคลายตัวลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มถึงอุณหภูมิที่แก้วเปลี่ยนสถานะ (glass transition temperature) และเกิดการเรียงตัวใหม่ของโครงสร้างของแก้ว ทำให้โปตัสเซียมอิออนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ไม่เบียดในโครงสร้างจึงไม่เกิดความเค้นตกค้างที่พื้นผิวเหมือนที่พบในการแลกเปลี่ยนอิออนตามปกติ นอกจากนี้พื้นผิวที่มีการแลกเปลี่ยนอิออนจะมีค่ากำลังดัดขวางลดลง เมื่อมีการกรอแต่งพื้นผิวนั้น ดังนั้นจึงแนะนำให้ทำการแลกเปลี่ยนอิออนเป็นขั้นตอนสุดท้าย ส่วนการขัดแต่งเป็นลำดับจากหยาบไปละเอียด สามารถเพิ่มกำลังดัดขวางของเฟลด์สปาติกพอร์ซเลนได้ ซึ่งจากการศึกษานี้พบว่าเพิ่มขึ้น 22% กำลังดัดขวางที่เพิ่มขึ้นเกิดขึ้นเนื่องจากเกิดแรงเค้นตกค้างที่ภายในพื้นผิว ร่วมกับมีการกำจัดรอยตำหนิบนพื้นผิวซึ่งเป็นจุดกำเนิดของรอยร้าวออกไป จากการศึกษาในกลุ่มของการเคลือบทับ พบว่าสามารถเพิ่มกำลังดัดขวางของพอร์ซเลนชนิดนี้ได้ ซึ่งต้องใช้ผงเคลือบทับโดยเฉพาะจึงจะให้ผลที่ดี ปกติโดยทั่วไปหลังจากมีการแต่งสี แล้วจะใช้กลีเซอรีนทา ตามด้วยการเคลือบผิว ซึ่งวิธีนี้ไม่ทำให้เกิดความเค้นตกค้างที่พื้นผิวและไม่สามารถเพิ่มกำลังดัดขวางของเฟลด์สปาติกพอร์ซเลนได้

ในปีต่อมา Giordano, Cima และ Pober (1995) ได้มีการทดสอบกำลังดัดขวางในเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน และอลูมินัสพอร์ซเลน ขนาดความกว้าง 3 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ที่มีการเตรียมพื้นผิวลักษณะต่างๆ ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ไม่ได้รับการเตรียมพื้นผิวใดๆ หลังเผา กลุ่มที่ 2 ได้รับการเคลือบผิว กลุ่มที่ 3 ได้รับการเคลือบทับ กลุ่มที่ 4 ได้รับการกรอแต่งด้วยหัวกรอกากเพชรรูปวงล้อ (Buehler Ltd., Lake Bluff, IL, USA) ขนาด 30 ไมโครเมตร กลุ่มที่ 5 ได้รับการขัดแต่งด้วยครีมกากเพชรขนาด 15-

9-6-3 ไมโครเมตร ตามลำดับ กลุ่มที่ 6 กรอแต่งเหมือนกลุ่มที่ 4 แล้วทำการอบอ่อน กลุ่มที่ 7 ขัดแต่งเหมือนกลุ่มที่ 5 แล้วทำการอบอ่อน ได้ค่ากำลังดัดขวางเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังนี้ ในเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน (Mean±SD, MPa) 1) 67.53±2.95 2) 69.74±5.47 3) 79.32±3.23 4) 85.00±2.93 5) 93.14±3.96 6) 74.88±6.87 7) 76.71±5.19 ส่วนอลูมินัสพอร์ซเลน กลุ่มควบคุม 90.60±6.61 MPa กลุ่มที่ได้รับการกรอแต่ง 108.27±6.71 MPa กลุ่มที่ได้รับการขัดแต่ง 124.14±5.24 MPa พบว่าการขัดแต่งด้วยครีมกากเพชรตามลำดับจากหยาบไปละเอียด สามารถเพิ่มค่ากำลังดัดขวางให้กับพอร์ซเลนทั้ง 2 ชนิดได้ ส่วนการเคลือบทับจะเพิ่มกำลังดัดขวางได้แต่ต่ำกว่าที่ได้จากการขัดแต่ง และจากการศึกษานี้เองพบว่าการเคลือบผิว ไม่สามารถเพิ่มกำลังดัดขวางของพอร์ซเลนได้ วิธีการขัดที่ใช้ในการศึกษานี้ จะเริ่มจากครีมกากเพชรขนาด 15-9-6 และ 3 ไมโครเมตร ตามลำดับ ชนิดละ 20 วินาที ซึ่งให้ผลที่ดีหลังจากได้รับการขัดแต่ง แต่การขัดด้วยครีมกากเพชรตามลำดับนี้จะเสียเวลามากและราคาสูง จึงน่าจะนำชุดขัดที่นิยมใช้ในเมืองไทยที่มีราคาไม่สูงมากมาทำการศึกษา จะได้ข้อมูลที่เหมาะสมมากกว่า

จากการศึกษาที่ผ่านมาจะพบว่ามีวิธีการทดสอบหลายวิธีสำหรับประเมินความแข็งแรงของพอร์ซเลน การใช้แรงกดสามจุด (three point bending test) เป็นวิธีที่ง่ายและน่าเชื่อถือ วิธีนี้เป็นวิธีที่ไว (sensitive) ต่อภาวะของพื้นผิวสำหรับการประเมินวัสดุที่เปราะโดยเฉพาะเซรามิก (Edward, Jacobsen และ Williams, 1983) องค์การมาตรฐานสากล (International standard organization, ISO-6872, 1984) ได้สนับสนุนให้มีการใช้วิธีการทดสอบโดยใช้แรงกดสามจุดสำหรับประเมินกำลังดัดขวางของพอร์ซเลน (Seghi, Daher และ Caputo, 1990)

การขัดแต่งควรจะมีการศึกษา เนื่องจากการขัดซ้ำหลังจากการกรอแต่ง เป็นขั้นตอนที่สำคัญสำหรับทันตแพทย์ แต่จากการศึกษาที่ผ่านมายังเป็นที่วิพากษ์วิจารณ์กันอยู่ว่า การขัดแบบใดจะให้ผลเพิ่มกำลังความแข็งแรงของพอร์ซเลนได้บ้าง เพื่อให้เลือกใช้วัสดุที่มีคุณภาพและเหมาะสมกับการขัดพอร์ซเลน การวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาถึงผลของการขัดแต่งที่มีต่อกำลังดัดขวางของพอร์ซเลน 2 ชนิด คือ เฟลด์สปาติกและอลูมินัสพอร์ซเลน โดยพอร์ซเลนทั้งสองชนิดจะได้รับการขัดด้วยหัวขัดยางซิลิโคน (silicone rubber polishing, Shofu porcelain adjustment kit, Shofu Dental Co., Ltd., Japan) หัวขัดกระดาษทรายรูปแผ่นกลม (3M SofLex polishing disc, 3M Dental Product Division, CA, USA) หัวขัดผ้าสักหลาดรูปแผ่นกลมฝังผงกากเพชรอยู่ภายใน (diamond impregnated felt polishes, Shofu Dental Co., Ltd., Japan) และครีมกากเพชรขัดพอร์ซเลน (Vita karat diamond polishing set, Vita Zahnfabrik, Germany) เปรียบเทียบกับการเคลือบผิว และการเคลือบทับ โดยใช้แรงกดสามตำแหน่งสำหรับประเมินกำลังดัดขวางของพอร์ซเลนตาม ASTM Standard C 1161-90

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อประเมินผลของการขัดพื้นผิวที่มีต่อกำลังดัดขวางของพอร์ซเลน 2 ชนิด คือเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน และ อลูมินัสพอร์ซเลน

2. เพื่อประเมินผลของการเคลือบผิวที่มีต่อกำลังดัดขวางของพอร์ซเลน 2 ชนิด คือเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน และ อลูมินัสพอร์ซเลน

3. เพื่อประเมินผลของการเคลือบทับที่มีต่อกำลังดัดขวางของพอร์ซเลน 2 ชนิด คือเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน และ อลูมินัสพอร์ซเลน

4. เพื่อเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นระหว่างวิธีขัดแบบต่าง ๆ การเคลือบผิวและการเคลือบทับที่มีต่อกำลังดัดขวางของพอร์ซเลน 2 ชนิด คือเฟลด์สปาติกพอร์ซเลน และ อลูมินัสพอร์ซเลน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย