บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โครงโลหะ (framework) ในฟันปลอมบางส่วนถอดได้ (removable partial denture) เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำหน้าที่หลายประการ ซึ่งล้วนแต่จำเป็นต่อการทำงานของฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะ ตั้งแต่ให้การยึดอยู่, สร้างเสถียรภาพ, กระจายแรงบดเคี้ยว และช่วยรองรับแรงที่ฟันปลอมได้รับ โครงโลหะจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ช่วยเสริมประสิทธิภาพของฟันปลอม ซึ่งทำให้มีการศึกษาและให้ความสำคัญอย่างมากต่อการออกแบบโครงโลหะให้เข้ากันได้กับสภาพช่องปากที่จะใส่ฟันปลอม และให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุดในขณะเดียวกัน โครงโลหะจึงมีความสำคัญที่จะส่งผลต่อความสำเร็จหรือความล้มเหลวของฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะ

1. ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะ

ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะมีหลายรูปแบบ ส่วนหนึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เป็นผลจากการใช้ฟันปลอมเป็นระยะเวลานานๆ เช่น ตำแหน่งศูนย์สบ (centric occlusion) เปลี่ยนไป การเปลี่ยนแปลงสมดุลย์ในการสบเยื้องฟันอันเนื่องมาจากซี่ฟันปลอมสึก การสูญเสียเสถียรภาพหรือการยึดอยู่ของฟันปลอม เป็นต้น ความเสียหายอีกส่วนหนึ่งเกิดขึ้นกับส่วนประกอบต่างๆของฟันปลอมโดยตรง เช่น ซี่ฟันปลอมหลุดออกจากฐานฟันปลอมอะคริลิก ฐานอะคริลิกแตกหรือหลุดออกจากโครงโลหะ และโครงโลหะหัก เป็นต้น

การแตกหักของฟันปลอมเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของความล้มเหลวในการใช้งานฟันปลอมบางส่วนถอดได้ที่พบเห็นได้ทั่วไป ฟันปลอมบางส่วนถอดได้ไม่ว่าจะเป็นฟันปลอมทั้งปากหรือฟันปลอมบางส่วนล้วนแต่มีอายุการใช้งานที่จำกัด แม้แต่ในฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะซึ่งมีโลหะที่มีความแข็งแรงสูงกว่าอะคริลิกเป็นส่วนประกอบในฟันปลอมก็ตาม ฟันปลอมถอดได้

มักมีแนวโน้มที่จะแตกหักได้หลังจากใช้งาน 2-3 ปี (Hargreaves, 1969) ซึ่งสำหรับฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะแล้วนับเป็นความล้มเหลวที่มีความสูญเสียมากเนื่องจากค่าใช้จ่ายในการทำฟันปลอมชนิดนี้สูงกว่าฟันปลอมถอดได้ชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของโครงโลหะ

1.1 ความชุกและตำแหน่งที่โครงโลหะหัก

Derry and Bertram (1970) ได้สำรวจการใช้ฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะในคนไข้จำนวน 54 รายหลังจากใช้งานนาน 2 ปี พบว่ามีส่วนประกอบของโครงโลหะหักทั้งหมด 13 ตำแหน่งจาก 615 ตำแหน่ง คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 2 ซึ่งประกอบด้วย ซิงกิงคุลมเรสท์ (cingulum rest) 5 ตำแหน่งจาก 118 ตำแหน่ง (คิดเป็นร้อยละ 4) แขนตะขอบาร์ 1 ตำแหน่งจาก 43 ตำแหน่ง (คิดเป็นร้อยละ 1) เรสท์บนด้านบดเคี้ยว 1 ตำแหน่งจาก 212 ตำแหน่ง (คิดเป็นร้อยละ 0.5) และแขนตะขอโอบยึด 6 ตำแหน่งจาก 242 ตำแหน่ง (คิดเป็นร้อยละ 2) การศึกษานี้พบความชุกของการหักของโครงโลหะในอัตราต่ำ และตำแหน่งที่หักจำกัดอยู่เฉพาะส่วนประกอบที่มีมิติขนาดเล็กซึ่งสอดคล้องกับการสำรวจโดย Anderson and Bates (1959) ที่พบว่าตะขอและเรสท์เป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ของโครงโลหะที่หักในขณะใช้งาน

การศึกษาโดย Bergman et al.(1982) ในคนไข้ 30 รายพบความชุกของโครงโลหะหักมากขึ้น โดยในฟันปลอมจำนวน 33 ชิ้นที่ได้ติดตามตั้งแต่ 1 ถึง 10 ปี และมีอายุการใช้งานเฉลี่ย 8-10 ปี พบว่ามีโครงโลหะหลวมซึ่งทำให้ฟันปลอมสูญเสียการยึดอยู่และเสถียรภาพถึง 10 ชิ้น (คิดเป็นร้อยละ 30) ในขณะที่มีโครงโลหะหัก 2 ชิ้น (คิดเป็นร้อยละ 6) ซึ่งในระหว่างติดตามผลได้มีการตรวจแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นระยะๆ ค่าความชุกของโครงโลหะหักมีความใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Benson and Spolsky (1979) ในคนไข้ 77 ราย จำนวนฟันปลอมทั้งหมด 135 ชิ้น ในช่วงระยะเวลาใช้งาน 7 ปี พบว่าโครงโลหะหักทั้งหมด 7 ชิ้น (คิดเป็นร้อยละ 5) โดยหักที่ส่วนโยงย่อย 6 ชิ้น (คิดเป็นร้อยละ 4.4) และที่ส่วนโยงใหญ่ 1 ชิ้น (คิดเป็นร้อยละ 0.7) ตำแหน่งของโครงโลหะที่หักเป็นส่วนประกอบที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเทียบกับการศึกษาที่กล่าวถึงในตอนต้น (Anderson and Bate's, 1959; Derry and Bertram, 1970) แสดงให้เห็นว่าการหักมิได้จำกัดเฉพาะในส่วนประกอบที่มีขนาดเล็กเท่านั้น การศึกษาของ Lewis (1978) สนับสนุนแนวความคิดนี้ จากการสำรวจฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะที่หักจำนวน 41 ชิ้น พบว่ามีการหักในทุกส่วนประกอบของโครงโลหะ ได้แก่ ส่วนโยงใหญ่, ส่วนโยงย่อยที่เชื่อมกับเรสท์ซึ่งทำหน้าที่เป็นอิน

ไดเร็คริเทนเนอร์, ส่วนโยงย่อยที่เชื่อมกับฐานฟันปลอม และแขนตะขอโอบยึด ตำแหน่งที่พบความชุกของโครงโลหะหักมากที่สุดคือ ส่วนโยงใหญ่ที่เป็นลิงกวลบาร์ ในขณะที่ไม่พบการหักของเรสท์

การสำรวจทางคลินิกของ Tomlin and Osborne (1961) ซึ่งเป็นการศึกษาต่อเนื่องจาก Anderson and Bates (1959) เป็นอีกงานหนึ่งที่พบความชุกของโครงโลหะหักค่อนข้างมาก โดยพบโครงโลหะหัก 23 ชิ้นจากจำนวนฟันปลอม 160 ชิ้น (คิดเป็นร้อยละ 14) ในระยะเวลาใช้งาน 3 ปี Ben-Ur et al. (1980) กล่าวถึงการหักของโครงโลหะว่าเป็นสิ่งที่พบได้เป็นปกติ โดยอ้างถึงความชุกของโครงโลหะหักที่รวบรวมจากการศึกษาต่างๆ (Harcourt, 1961; Spiekermann, 1974,1975 and Korber et al., 1975) ซึ่งพบได้ตั้งแต่ร้อยละ 8.7-11.8 โดยมีช่วงอายุการใช้งาน 2-5.5 ปี ในปีค.ศ. 1993 Vallittu, Lassila and Lappalainen ได้สำรวจฟันปลอมถอดได้ที่ถูกส่งไปซ่อมตามห้องปฏิบัติการ 24 แห่งในช่วงเวลา 1 เดือน จากฟันปลอมจำนวน 226 ชิ้น มีฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะ 32 ชิ้น ซึ่งในจำนวนนี้มีปัญหาโครงโลหะหัก 18 ชิ้น (คิดเป็นร้อยละ 56) โดยหักที่ตะขอ 7 ชิ้น (คิดเป็นร้อยละ 22) และส่วนอื่นๆ 11 ชิ้น (คิดเป็นร้อยละ 34) ถึงแม้ว่าไม่อาจเปรียบเทียบผลการศึกษานี้กับการศึกษาอื่นได้ เนื่องจากเป็นการศึกษาในช่วงเวลาหนึ่ง (crossectional study) โดยการเก็บข้อมูลของความเสียหายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ มิได้เป็นการติดตามผลการใช้ฟันปลอมในลักษณะการศึกษาต่อเนื่องระยะยาว (longitudinal study) ทำให้ค่าความชุกของโครงโลหะหักมีค่ามากอย่างเห็นได้ชัด แต่ก็แสดงให้เห็นถึงโอกาสที่โครงโลหะหัก และการกระจายของค่าความชุกของโครงโลหะหักในระหว่างใช้งานได้ค่อนข้างชัดเจน ค่าความชุกของจำนวนฟันปลอมบางส่วนถอดได้ที่หักในระหว่างการใช้งานที่พบจากการศึกษาต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1

การศึกษาโดย...	จำนวนชิ้นฟันปลอมทั้งหมด	ระยะเวลาใช้งานเฉลี่ย (ปี)	จำนวนฟันปลอมหัก (ร้อยละ)
Harcourt, 1961	160	2.0	16.0
Tomlin and Osborne, 1961	160	3.0	14.0
Spiekermann, 1974	87	5.5	8.7
Korber et al., 1975	772	5.2	15.3
Spiekermann, 1975	116	4.5	18.9
Benson and Spolky, 1979	135	3.6	5.0

การศึกษาโดย...	จำนวนชิ้นฟันปลอมทั้งหมด	ระยะเวลาใช้งานเฉลี่ย (ปี)	จำนวนฟันปลอมหัก (ร้อยละ)
Bergman et al., 1982	30	8.1	6.0
Vallittu et al., 1993	32	>3	50.0

ตารางที่1. ความชุกของจำนวนฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะที่หักในระหว่างใช้งานที่พบจากการศึกษาต่างๆ (ที่มา: ดัดแปลงจากตารางแสดงความถี่ของจำนวนฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะที่หักของ Ben-Ur et al., Quintessence Int 17 (December, 1986): 797-801)

ดังนั้น ความล้มเหลวที่เกิดจากโครงโลหะหักในระหว่างใช้งานนั้นสามารถพบได้โดยทั่วไป และทุกส่วนประกอบมีโอกาสหักได้ทั้งสิ้น ไม่จำกัดเฉพาะบริเวณที่มีขนาดเล็กหรือบาง เช่น ตะขอ และเรสท์ แม้แต่ส่วนประกอบที่มีความหนามากหรือมีขนาดใหญ่ ก็พบความชุกของการหักในอัตราสูงเช่นกัน เช่น ส่วนโยงใหญ่, ส่วนโยงย่อย และอินไดเร็คทีเทนเนอร์

2. สาเหตุของปัญหาโครงโลหะหัก

2.1 กระบวนการหักของโลหะและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

การหักของวัสดุเป็นผลที่เกิดขึ้นในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการที่ซับซ้อน และมีลำดับขั้นภายในวัสดุนั้นๆ รูปแบบของการหักที่สังเกตุเห็นได้ภายนอกอาจเกิดได้หลายลักษณะ เช่น หักในทันทีทันใด หักเมื่อได้รับแรงกระทำซ้ำๆ หรือหักภายหลังจากที่มีการเปลี่ยนรูป เป็นต้น ความแตกต่างกันของรูปแบบการหัก ทำให้มีความเป็นไปได้ที่กระบวนการที่ดำเนินไปก่อนเกิดการหักนั้นมีความแตกต่างกัน ซึ่งกระบวนการเริ่มแรกนั้นจำกัดอยู่ในระดับที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ทำให้การศึกษาหาทฤษฎีที่สามารถอธิบายขั้นตอนของกระบวนการดังกล่าวอย่างถูกต้องนั้นทำได้ยาก

การหักที่เกิดขึ้นในโลหะอาจแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ (Brick, Pense and Gordon, 1977)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การหักเปราะ (brittle fracture) หมายถึงการหักในลักษณะที่เกิดรอยร้าว (crack) ขึ้นภายในวัสดุ และมีการแพร่กระจายรอยร้าวไปตลอดชิ้นวัสดุก่อนหรือณ จุดที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนรูป (plastic flow) ขึ้น ตัวอย่างที่ชัดเจนคือการแตกหักของแก้ว

แต่สำหรับโลหะ การหักเปราะเริ่มต้นจากการเกิดการเปลี่ยนรูปภายในโลหะก่อน ซึ่งเกิดในบางตำแหน่งในระดับที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น โดยเกิดขึ้นพร้อมกับการเปลี่ยนตำแหน่ง (dislocation) ของระนาบต่างๆของผลึกโลหะ (crystal plane) ปฏิกิริยาระหว่างการเปลี่ยนตำแหน่งที่เกิดขึ้นในหลายๆระนาบผลึก ทำให้เกิดการสะสมความเค้นขึ้นภายใน (stress concentration) ค่าของแรงที่เกิดขึ้นอาจมีค่าถึง 10^6 ปอนด์/ตารางนิ้ว ซึ่งมากกว่าแรงดึงดูดระหว่างผลึกโลหะ ทำให้ผลึกโลหะแยกตัวออกจากกัน เกิดเป็นรอยร้าวและแพร่กระจายไปจนเกิดการหักเปราะหากแรงเค้นที่ทำให้เกิดรอยร้าวนั้นมีค่าสูงกว่าที่ใช้สำหรับการแพร่กระจายรอยร้าว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกลสมบัติของโลหะ

2. การหักยืด (ductile fracture) หมายถึงการหักที่เกิดณ จุดสุดท้ายของการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร เริ่มต้นจากการเกิดรอยร้าวเมื่อได้รับแรงกระทำเช่นเดียวกับการหักเปราะ แต่จะเกิดในบริเวณที่มีอนุภาคแทรก (impurity particles) ในโลหะ เช่น ออกไซด์ (oxide) และอินคลูชัน (inclusion) เป็นต้น แรงที่มากระทำอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายนอกของโลหะที่ สามารถสังเกตุเห็นได้ ตัวอย่างเช่นการเกิดรอยคอดรูปคอขวดของชิ้นตัวอย่างในการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง ขณะเดียวกันกับที่ภายในโลหะก็เกิดรอยร้าวจำนวนมากขึ้น และมีการกระจายตัวรวมกลุ่มและเชื่อมต่อกัน การเปลี่ยนรูปภายในอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดช่อง (cavity) ที่ขยายตัวออกภายนอกในจังหวะที่รอยคอดภายนอกขยายเข้าด้านใน จนเกิดการหักในลักษณะเฉือน (shear) ในที่สุด ข้อสังเกตุสำหรับการหักยืดคือจะดำเนินไปก็ต่อเมื่อเกิดความเครียด (strain) ภายในโลหะเท่านั้น โดยรอยร้าวจะหยุดเมื่อการเปลี่ยนรูปหยุด หรือแรงที่กระทำต่อโลหะคลายตัวลง

นอกเหนือจากการหักในสองลักษณะซึ่งเป็นการหักที่เกิดขึ้นโดยตรงกับโลหะแล้ว การหักของโลหะอาจเป็นผลสืบเนื่องมาจากการสะสมความล้า (fatique) ในการใช้งานได้อีกด้วย กระบวนการที่เกิดขึ้นคล้ายกับการหักเปราะและการหักยืด แต่มีปัจจัยเสริมที่แตกต่างกัน

การหักจากความล้าเริ่มต้นโดยเกิดรอยร้าวจากความล้าบริเวณผิวที่ได้รับความเครียดดึงจากแรงที่กระทำเป็นรอบ (cyclic loading) มีลักษณะเป็นรอยเปิดเล็กๆที่เกิดจากการเคลื่อนตัว

เล็กน้อยในทิศทางหน้าหลัง (antero-posterior) ของกลุ่มระนาบผลึกที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งที่บริเวณใกล้ผิวด้านนอกและมีการขยายตัวในอัตราที่ช้ามาก เมื่อเริ่มมีรอยเปิด ก็เพียงแค่รอเวลาที่รอยร้าวจะขยายตัวจนถึงขนาดที่ทำให้โลหะหักได้ในที่สุด ดังนั้นสภาวะของพื้นผิวโลหะจึงมีความสำคัญในการควบคุมการหักจากความล้า โดยจะต้องเรียบ ปราศจากตำแหน่งสะสมความเค้นและมีความแข็งแรงเทียบเท่ากับโครงสร้างภายใต้ผิวโลหะนั้น

การหักของโลหะทั้งสามลักษณะล้วนแต่เป็นผลจากแรงที่มากระทำ แรงทำให้กระบวนการหักของโลหะเริ่มต้นและเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างภายใน ซึ่งนำไปสู่การหักในลักษณะต่างๆเมื่อแรงที่มากระทำนั้นเกินจากสมดุลย์ที่โครงสร้างภายในโลหะต้านทานได้ การหักของโลหะจึงมีส่วนเกี่ยวข้องกับกลสมบัติของโลหะในแง่ของความสามารถในการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงภายใน ซึ่งกำหนดโดยองค์ประกอบพื้นฐานของโลหะ และรูปแบบของแรงที่มากระทำทั้งในด้านปริมาณ ช่วงเวลา และทิศทางของแรง ดังนั้นแรงและกลสมบัติของโลหะจึงเป็นปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการหักของโครงโลหะ และอาจนำมาใช้อธิบายสาเหตุการหักของโครงโลหะในฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะได้

2.2 สาเหตุการหักของโครงโลหะฟันปลอมบางส่วนถอดได้

ถึงแม้ว่าโครงโลหะในฟันปลอมบางส่วนถอดได้จะทำด้วยโลหะผสมซึ่งมีกลสมบัติดีกว่าโลหะบริสุทธิ์ก็ตาม แต่โดยพื้นฐานแล้วการหักของโครงโลหะเป็นไปตามกระบวนการหักของโลหะทั่วไปดังที่ Brick et al. (1977) ได้อธิบายไว้ แต่เนื่องจากโครงโลหะมีส่วนประกอบหลายส่วนซึ่งต้องการกลสมบัติที่แตกต่างกันสำหรับความเหมาะสมกับการทำหน้าที่ของแต่ละส่วนประกอบ แนวทางในการอธิบายถึงสาเหตุการหักของโครงโลหะตามที่ได้เคยมีผู้ทำการศึกษาจึงมักอิงตามลักษณะการทำหน้าที่ ความสัมพันธ์ที่มีต่อฟันหลัก สันเหงือก หรือขากรรไกร และกลสมบัติของส่วนประกอบส่วนที่หัก ประกอบกับมีความหลากหลายของตำแหน่งที่โครงโลหะหัก ทำให้แนวทางในการมองถึงสาเหตุการหักมีความแตกต่างกันในแต่ละกรณี เช่น การหักของแขนตะขอ อาจเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของรูปร่างและโครงสร้างตะขอที่ผิดพลาดในขั้นตอนขัดแต่ง หรือโลหะผสมที่ใช้ทำตะขอให้การดีดตัวไม่พอกับความคอดที่ตะขอจับ การหักของเรสท์เป็นเพราะความหนาไม่ได้ขนาดตามที่กำหนด และการหักของส่วนโยงใหญ่หรือส่วนโยงย่อยเกิดจากการสูญเสียความแข็งตึงของโครงโลหะ เป็นต้น (McGivney and Castleberry, 1995)

เมื่ออ้างอิงตามทฤษฎีที่อธิบายกระบวนการหักของโลหะโดย Brick et al. (1977) ปัจจัยที่เป็นสาเหตุจะต้องทำให้เกิดรอยร้าวภายในโครงโลหะก่อนที่กระบวนการจะสิ้นสุดในลักษณะที่โครงโลหะหัก Bates (1965a) กล่าวถึงสาเหตุการหักของโครงโลหะว่าเป็นเพราะการขาดความรู้ในการออกแบบโครงโลหะให้เหมาะสมกับโลหะผสมที่เลือกใช้ ร่วมกับการขาดความรู้ในเรื่องแรงในช่องปากที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำให้ฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะหักได้ แนวความคิดของ Bates (1965a) อาจจัดได้ว่าอยู่บนความสำคัญของปัจจัยที่เป็นสาเหตุ 2 ประการเช่นเดียวกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการหักของโลหะทั่วไป คือแรงที่เกิดขึ้นและกระทำต่อชิ้นฟันปลอมในขณะใช้งาน และกลสมบัติของโลหะผสม

2.2.1 แรงที่เกิดขึ้นและกระทำต่อฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะในขณะใช้งาน

แนวความคิดเกี่ยวกับสาเหตุการหักของโครงโลหะฟันปลอมบางส่วนถอดได้ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับแรงบดเคี้ยว เป็นผลจากการศึกษาและติดตามผลการใช้งานที่พบว่า ความเสียหายของชิ้นฟันปลอมนอกจากมีสาเหตุจากแรงที่มากระทำต่อชิ้นฟันปลอมโดยตรงอาทิเช่นจากการกระแทกแล้ว ความเสียหายส่วนหนึ่งเกิดขึ้นในขณะใช้งานโดยที่ฟันปลอมไม่มีประวัติการได้รับแรงกระแทกมาก่อน ในปี 1993 Vallittu et al. ศึกษาถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับฟันปลอมถอดได้จำนวน 226 ชิ้น ซึ่งมีทั้งฟันปลอมทั้งปากฐานอะคริลิก ฟันปลอมบางส่วนชนิดอะคริลิก และฟันปลอมบางส่วนชนิดโครงโลหะ พบว่ามีสาเหตุจากการบดเคี้ยวถึงร้อยละ 61 ขณะที่สาเหตุจากการกระแทกเพียงร้อยละ 39 ภาพรวมของความเสียหายที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จึงเป็นผลจากแรงบดเคี้ยวที่กระทำต่อฟันปลอมเป็นประจำ นอกจากนี้ยังพบว่าการหักของฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะมีนัยสำคัญกับชนิดของฟันคู่สบ โดยส่วนใหญ่ฟันปลอมบนที่หักจะสบกับฟันปลอมบางส่วนถอดได้มากกว่าฟันธรรมชาติและฟันปลอมทั้งปาก ขณะที่ฟันปลอมล่างที่หักสบกับฟันปลอมทั้งปากบนมากกว่าฟันธรรมชาติและฟันปลอมบางส่วนถอดได้บน แสดงถึงแรงบดเคี้ยวที่ทำให้โครงโลหะหักมิได้จำกัดเฉพาะแรงที่มาจากฟันธรรมชาติเท่านั้น แต่อาจเป็นแรงจากฟันปลอมบางส่วน หรือฟันปลอมทั้งปากได้เช่นกัน ถึงแม้ว่าฟันธรรมชาติสามารถสร้างแรงบดเคี้ยวในปริมาณสูงกว่าฟันปลอมบางส่วนและฟันปลอมทั้งปากก็ตาม

การศึกษาโดย Lassila, Holmlund and Koivumaa (1985) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบดเคี้ยวกับการหักของโครงโลหะมากยิ่งขึ้น ในผู้ป่วยจำนวน 89 รายที่ฟันปลอมมีอายุ

การใช้งาน 6 เดือน-1ปี พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าแรงกัดที่วัดได้กับการหักของโครงโลหะ ทั้งในกลุ่มที่ใส่ฟันปลอมทั้งปากบนสบกับฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะล่าง และกลุ่มที่ฟันบนเป็นฟันธรรมชาติหรือฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะสบกับฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะล่าง การศึกษาของ Vallittu et al. (1993) และ Lassila et al. (1985) ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบดเคี้ยวกับการหักของโครงโลหะ ซึ่งอาจเกิดจากการใช้งานร่วมกันระหว่างฟันปลอมถอดได้ หรือระหว่างฟันปลอมกับฟันธรรมชาติ ถึงแม้ว่าการศึกษาดังกล่าวไม่สามารถอธิบายถึงสาเหตุที่แรงบดเคี้ยวทำให้โครงโลหะหักก็ตาม

2.2.1.1 แรงที่เกิดขึ้นขณะมีการทำงานของอวัยวะบดเคี้ยว

ในแต่ละวันของการทำงานของอวัยวะในช่องปาก อาจประมาณค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ฟันสัมผัสกันได้รวมทั้งสิ้น 26.5 นาที โดยแบ่งเป็นช่วงเวลาที่ฟันสัมผัสกันในการบดเคี้ยว 9 นาที และการกลืน 19.5 นาที (Solnit and Curnette, 1988) ทุกครั้งที่ฟันสัมผัสกันจะเกิดแรงกระทำต่อตัวฟันในระนาบต่างๆตามแต่ทิศทางการเคลื่อนที่ของขากรรไกรล่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะเคี้ยวอาหาร

ฟันธรรมชาติสามารถสร้างแรงบดเคี้ยวได้ในช่วง 2.27-79.5 กก. ซึ่งความมากน้อยของปริมาณแรงขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร, สภาพของอวัยวะรองรับรากฟัน, สภาพของตัวฟัน และกล้ามเนื้อบดเคี้ยว (Ortman, 1979) ขณะเดียวกัน การกลืนซึ่งนับได้ว่าเป็นต้นกำเนิดหลักที่สำคัญของแรงในแนวระนาบที่กระทำต่อฟัน สามารถส่งแรงจากด้านข้างของลิ้นได้ถึง 2.845-16.235 กก. แม้แต่ในสภาวะพักก็ยังมีแรงกระทำต่อฟันในปริมาณ 0.5-4.2 กก. (Lowe, Kydd and Smith, 1970) ฟันธรรมชาติจึงได้รับแรงในแต่ละวันในปริมาณค่อนข้างสูง

ถึงแม้ว่าการสูญเสียฟันธรรมชาติจะทำให้ประสิทธิภาพในการบดเคี้ยวลดลง แต่ฟันที่เหลืออยู่สามารถทำงานร่วมกับฟันปลอมในการสร้างแรงบดเคี้ยวได้ แม้แต่การใส่ฟันปลอมทั้งปากที่อาศัยเพียงสันเหงือกเป็นตัวรองรับแรง การศึกษาของ Howelland and Brudevold (1950) และ Brudevold (1951) ถึงแรงบดเคี้ยวในคนไข้ที่ใส่ฟันปลอมทั้งปาก พบว่าค่าเฉลี่ยของแรงในการเคี้ยวอยู่ในช่วง 0.4-2.8 กก. และ 0.6-1.5 กก. ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณแรงที่ค่อนข้างคงที่และมีความแปรปรวนต่ำ โดยที่คนไข้จะเพิ่มจำนวนครั้งในการเคี้ยวอาหารแข็งแทนที่จะเพิ่มปริมาณแรงกัดเนื่องจากทำได้ง่ายกว่าและมีความสบายมากกว่า (Yurkstas and Curby, 1953) ส่วนในฟัน

ปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะซึ่งมีฟันธรรมชาติช่วยในเรื่องการบดเคี้ยวและการรองรับแรง พบว่าให้แรงกัดน้อยกว่าฟันธรรมชาติแต่มากกว่าฟันปลอมทั้งปาก (Lassila et al., 1985)

ในสภาวะที่ฟันธรรมชาติต้องรับแรงตลอดเวลาทั้งในขณะเคี้ยว กลืน และสภาวะพัก ทำให้ฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะที่ใส่ทดแทนฟันธรรมชาติบางซี่ต้องอยู่ในสภาวะเดียวกัน ในวงจรการเคี้ยว 1 รอบ ฟันปลอมต้องรับแรงบดเคี้ยวในแนวดิ่งจากการกัด แรงในแนวระนาบจากการกัดเยื้อง แรงในแนวทแยงเฉียงที่เป็นผลรวมของแรงในแนวดิ่งและแนวระนาบ และแรงดึงในแนวดิ่งจากอาหารเหนียว (Shohet, 1969) รวมถึงแรงดันในแนวระนาบจากด้านข้างของลิ้นในขณะกลืนและพัก ซึ่งจะยิ่งมีค่ามากขึ้นหากปีกฟันปลอมด้านใกล้ลิ้นมีความหนามากขึ้น (Lowe et al., 1970) แรงเหล่านี้ควรจะถ่ายทอดลงสู่ส่วนรองรับโดยไม่ทำให้เกิดภยันตรายต่ออวัยวะเหล่านั้นในฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะที่ออกแบบอย่างถูกต้อง

2.2.1.2 การถ่ายทอดแรงผ่านฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะ

ฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะทำงานโดยอาศัยการถ่ายทอดและกระจายแรงบดเคี้ยว แรงจากการกลืน และแรงจากลิ้นในขณะพักที่ฟันปลอมได้รับลงสู่ส่วนรองรับ ฟันปลอมเป็นเสมือนตัวร่วมสร้างแรงและเป็นตัวกลางในการส่งผ่านแรง โดยที่ส่วนหนึ่งถ่ายทอดลงสู่เนื้อเยื่อผ่านฐานฟันปลอม อีกส่วนหนึ่งถ่ายทอดลงสู่ฟันหลักและเนื้อเยื่อเพดานผ่านทางองค์ประกอบอื่นๆที่เป็นโครงโลหะ การศึกษาถึงกลวิธีในการถ่ายทอดแรงมีความสำคัญต่อความสำเร็จและความล้มเหลวของฟันปลอม รวมถึงการคงสุขภาพที่ดีของเนื้อเยื่อที่เหลืออยู่ภายในช่องปากได้

ปัจจัยหลายอย่างมีส่วนเกี่ยวข้องกับการกระจายแรงของฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะ ซึ่งยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด หลายการศึกษาได้ทำการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการกระจายแรงมีส่วนเกี่ยวข้องกับแบบของโครงโลหะในส่วนที่ให้การรองรับแรง การศึกษาโดย Frechette (1956) ถึงผลของแบบโครงโลหะชนิดต่างๆที่มีต่อทิศทางและระยะทางในการเคลื่อนที่ของฟันหลักในฟันปลอมชนิดไม่มีฟันหลักท้าย พบว่าฟันหลักมีการเคลื่อนที่มากขึ้นเมื่อแบบโครงโลหะลดส่วนที่ให้การรองรับ ในขณะที่การศึกษาโดย McDowell and Fisher (1982) แสดงให้เห็นถึงการทำหน้าที่กระจายแรงของอินไดเร็ครีเทนเนอร์ในฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะที่ไม่มีฟันหลักท้าย ซึ่งสามารถกระจายแรงที่ได้รับในแนวดิ่ง ถ่ายทอดไปสู่ฟันหลักทั้งในแนวดิ่งและแนวระนาบ เป็นการช่วยลดความเค้นที่ลงสู่ฟันหลักมากเกินไป ดังนั้นในกระจายแรงบดเคี้ยวต้องอาศัยการทำงานร่วมกันในหลายส่วนประกอบของโครงโลหะ ลำพังเพียงการทำงานเฉพาะส่วน

รองรับที่มีอยู่จำกัด ทำให้การกระจายแรงไม่ทั่วถึง อาจเกิดภยันตรายต่อฟันหลักได้ แบบโครงโลหะจึงเป็นเสมือนตัวกำหนดสมรรถภาพในการถ่ายทอดแรงของฟันปลอม

จุดเริ่มต้นในการกระจายแรงมักอยู่ที่ฐานฟันปลอมส่วนที่เชื่อมกับโครงโลหะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฟันปลอมที่ไม่มีฟันหลักท้าย ในการกระจายแรงผ่านฟันปลอมจะมีแรงส่วนหนึ่งถูกดูดซับเข้าในชิ้นฟันปลอม ซึ่งค่าของแรงที่ถูกดูดซับมักไม่เกินขีดจำกัดความยืดหยุ่น (elastic limit) ของโครงโลหะ ทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรให้เห็นในทันทีทันใด (Lammie and Laird, 1986) การศึกษาโดย Ogata, Miyake and Okunishi (1992) ในฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดโครงโลหะที่ไม่มีฟันหลักท้าย พบว่าอัตราการกระจายแรงจากฐานฟันปลอมไปยังตะขอข้างเคียงอยู่ในช่วงร้อยละ 20-30 ของปริมาณแรงที่ได้รับ โดยเป็นอัตราคงที่ภายหลังจากใช้งานฟันปลอมนาน 1-1.5 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่เคยทำไว้เมื่อปีค.ศ.1991 โดย Ogata et al. ที่ได้วัดแรงถ่ายทอดจากฐานฟันปลอมไปยังตะขอเอเคอร์ แล้วพบว่าผลรวมของแรงที่ตะขอได้รับเกิดจากการรวมขนาดและทิศทางของแรงที่ถ่ายทอดมา โดยค่าเฉลี่ยของแรงในแนวดิ่งมีค่าคงที่ภายหลังการใช้งาน 4-6 เดือน อาจทำให้คิดได้ว่าปริมาณแรงส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 70-80 ส่วนใหญ่ถ่ายทอดลงสู่สันเหงือก และมีบางส่วนสะสมอยู่ในโครงโลหะ

2.2.1.3 แรงสะสมในโครงโลหะฟันปลอมบางส่วนถอดได้กับการหักของโครงโลหะ

การดูดซับแรงในขณะฟันปลอมกระจายแรงที่ได้รับทำให้เกิดการสะสมแรงภายในโครงโลหะตามบริเวณต่างๆ Craig and Peyton (1967), Craig (1972) และ Cecconi (1978) ศึกษาค่าความเค้นในโครงโลหะฟันปลอมบางส่วนถอดได้ชนิดไม่มีฟันหลักท้าย พบความเค้นสะสมที่ส่วนกลางของลิงกวลบาร์ และบริเวณที่ลิงกวลบาร์เชื่อมต่อกับตะแกรงยึดอะคริลิก เช่นเดียวกับ Sekine et al. (1965a,1965b) ได้วัดค่าความเค้นบนส่วนโยงในขณะฟันปลอมทำงานภายใต้สภาวะการบดเคี้ยวต่างๆ พบว่าความเครียดมีค่าสูงสุด ณ ตำแหน่งที่ส่วนโยงเชื่อมกับตะแกรงยึดอะคริลิกทั้งใน พาลาตัลบาร์และลิงกวลบาร์ การสะสมความเค้นในโครงโลหะอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการหักของโครงโลหะ จากข้อสังเกตุที่พบว่าส่วนของโครงโลหะที่หักมักเป็นบริเวณที่มีความเค้นสะสม เช่น บริเว์ณต้นตะขอโอบยึด ส่วนโยงใหญ่ และส่วนโยงย่อยที่เป็นอินไดเร็คริเทนเนอร์ เป็นต้น (Lewis,1978)

การสะสมความเค้นภายในโครงโลหะเป็นผลให้เกิดการล้าขึ้น การล้าในระดับต่ำกว่าขีดจำกัดยืดหยุ่นจะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายนอกที่สังเกตุเห็นได้ Earnshaw (1961)

อธิบายถึงสาเหตุการหักของโครงโลหะที่พบบริเวณส่วนโยงย่อยที่เชื่อมลิงกวลบาร์กับตะขอ ว่าเป็นเพราะความล้าที่เกิดจากการสะสมความเค้นปริมาณสูง ในขณะที่มีรูปร่างบางเกินกว่าที่จะต้านทานได้ ทั้งนี้ความเค้นที่ระดับ 40,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว ก็สามารถทำให้เกิดการหักเนื่องจากความล้าได้

แต่ Bates (1965a) กลับมีความเห็นต่างออกไป โดยมองปัญหาความล้าว่าเป็นเพียงแค่หนึ่งในหลายกระบวนการที่ส่งผลให้โครงโลหะหักเท่านั้น เนื่องจากพบว่าขีดจำกัดความล้า (fatique limit) ของโลหะผสมโคบอลต์โครเมียม มีค่าสูงกว่าขีดยืดปฏิภาค และค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในช่องปากนั้นไม่ค่อยทำให้เกิดการสะสมความเค้นจนเกินขีดจำกัดความล้า เช่นค่าความเค้นที่วัดได้ในลิงกวลบาร์ของฟันปลอมชนิดไม่มีฟันหลักท้ายมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของขีดยืดปฏิภาคและขีดจำกัดความล้า (Bates, 1966) ความล้าจะมีบทบาทมากขึ้นหากมีปัจจัยที่เอื้อต่อการสะสมความเค้นภายในโครงโลหะอยู่ด้วย เช่น รูพรุนภายในโครงโลหะ บริเวณมุมแหลมของโครงโลหะ (Ben-Ur et al., 1986) การเกิด work hardening จากแรงปรับแต่งด้วยคีม รวมถึงกลสมบัติของโลหะผสมที่ใช้ เป็นต้น

หากวิเคราะห์ถึงผลกระทบของแรงที่สะสมในโครงโลหะที่มีต่อการหักของโครงโลหะอาจกล่าวได้ว่าเป็นผลจากการสะสมความเค้นภายใน ซึ่งโดยปกติทำให้เกิดความล้าในระดับต่ำ เมื่อมีปัจจัยบางอย่างที่เพิ่มการสะสมความเค้นในระดับที่สูงขึ้นจนเกินขีดยืดปฏิภาคและขีดจำกัดความล้า ก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรของโครงโลหะ หากถึงระดับที่สูงกว่าค่าความแข็งแรงดึง และเกินกว่าที่กลสมบัติของโครงโลหะต้านทานได้ก็จะหักในที่สุด

2.2.2 กลสมบัติของโลหะผสม

กลสมบัติของโลหะผสมเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการหักของโครงโลหะ ความบกพร่องในกลสมบัติของโลหะผสม เป็นสาเหตุสำคัญของการหัก Harcourt (1961) และ Ben-Ur et al. (1986) ได้อธิบายถึงสาเหตุของความบกพร่องในกลสมบัติของโลหะผสมที่ใช้ทำโครงโลหะที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1.เกิดจากตำหนิภายในโครงโลหะ โดยการมีสิ่งปนเปื้อนหรือผลิตภัณฑ์บางอย่างจากการเหวี่ยงโลหะที่ส่งผลกระทบต่อกลสมบัติของโลหะผสมที่ได้ ได้แก่ อินคลูชั่น (inclusion), ฟองอากาศ, รูพรุน, วัฏภาคคาร์ไบด์ (carbide phase) และโครงสร้างเดนไดรต์ (dendritic pattern) โดยที่

ฟองอากาศและรูพรุน ทำให้โลหะมีความหนาไม่เท่าที่ควรจะเป็นและมีช่องว่างภายในซึ่งเป็นจุดอ่อนโดยเป็นจุดต้นกำเนิดรอยร้าวเมื่อโครงโลหะได้รับแรง เช่นเดียวกับสิ่งปนเปื้อนที่ทำให้เกิดเป็น inclusion ในเนื้อโลหะ

วัฏภาคคาร์ไบด์ ปริมาณคาร์บอนที่มีมากเกินไปในส่วนผสม (ร้อยละ 1-1.5) ทำให้โลหะที่แข็งตัวเร็วมีวัฏภาคคาร์ไบด์เป็นปริมาณมาก ส่งผลกระทบต่อโลหะผสมโดยลดความแข็งแรงและการยืดตัวลง ขณะที่ความเปราะเพิ่มขึ้น ในโลหะเหวี่ยงที่หักมักพบว่ามีวัฏภาคคาร์ไบด์เชื่อมต่อกันเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่และต่อเนื่องกันจำนวนมาก

โครงสร้างเดนไดรต์ เป็นผลต่อเนื่องจากวัฏภาคคาร์ไบด์ขนาดใหญ่ที่ทำให้โครงสร้างเดนไดรต์มีขนาดเล็ก โลหะผสมมีการยืดตัวลดลง

ตำหนิเหล่านี้ทำให้กลสมบัติของโครงโลหะที่ได้มีค่าต่ำกว่าปกติ ความสามารถในการต้านทานต่อแรงที่มากระทำลดลงและหักได้ง่าย

2.เป็นผลจากการเหวี่ยงโลหะซึ่งไม่ใช่ตำหนิ Harcourt (1961) ได้เสนอความเห็นว่า การหักของโครงโลหะที่ปราศจากตำหนินั้นเป็นผลจากการที่โลหะนั้นมีเกรน (grain) ขนาดใหญ่ ซึ่งทนต่อความเค้นได้ต่ำ แนวทางในการอธิบายเกี่ยวข้องกับอัตราการเย็นตัวของโลหะผสมภายหลังจากเหวี่ยง โดยบริเวณที่โลหะบางจะเย็นตัวเร็วกว่า การเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งเกิดได้พร้อมกันทำให้เกรนมีขนาดเล็ก ขณะที่บริเวณที่โลหะหนามีการเย็นตัวไม่พร้อมกันทั้งก้อนและช้ากว่าบริเวณที่โลหะบาง ทำให้เกรนมีขนาดใหญ่ ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วโลหะที่มีเกรนขนาดเล็กมีกลสมบัติดีกว่าโลหะเกรนใหญ่ สามารถต้านต่อการเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรได้แข็งแรงกว่า มีค่าความแข็งแรงดึงและความยืดหยุ่นสูงกว่า (Anderson,1956 quoted by Harcourt 1961) ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ การหักของตะขอโอบยึดโลหะเหวี่ยงซึ่งมักหักที่ต้นตะขอ เนื่องจากลักษณะที่ตะขอเรียวปลายส่วนต้นตะขอจึงมีขนาดมิติใหญ่กว่าปลายตะขอ ทำให้เย็นตัวช้ากว่า เกิดเกรนขนาดใหญ่กว่ากลางตะขอและปลายตะขอตามลำดับ

แนวทางในการแก้ไขปัญหาโครงโลหะหัก จำเป็นต้องควบคุมปัจจัยต่างๆที่จะส่งผลกระทบต่อกลสมบัติ (mechanical properties) ของโครงโลหะ เป็นต้นว่า การออกแบบขนาดมิติของส่วนประกอบต่างๆให้เหมาะสมกับการรับแรง การคำนึงถึงทฤษฎีการกระจายแรงในการออกแบบ

โครงโลหะ และการควบคุมกระบวนการในห้องปฏิบัติการในขั้นตอนการเหวี่ยงโลหะ เพื่อให้โครงโลหะที่ได้มีกลสมบัติที่ดี

กลสมบัติของโครงโลหะที่เหวี่ยงได้ ขึ้นอยู่กับกลสมบัติของโลหะผสมที่ใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้น การเหวี่ยงโครงโลหะฟันปลอมบางส่วนถอดได้ในปัจจุบันนิยมใช้โลหะผสมโคบอลต์โครเมียม ซึ่งเริ่มต้นใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ.1929 (Paffenbarger and Dickson,1943) โดยใช้แทนทองผสมชนิดที่ 4 (type IV gold alloys) เพื่อลดปัญหาเรื่องค่าใช้จ่าย เนื่องจากในการทำโครงโลหะฟันปลอมบางส่วนถอดได้ต้องใช้โลหะปริมาณมาก และทองคำมีราคาสูง ในระยะแรกที่เริ่มใช้มีการศึกษาจำนวนมากถึงคุณสมบัติของโครงโลหะผสม (base metal alloys) โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะผสมโคบอลต์โครเมียม ในเชิงเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของทองผสมชนิดที่ 4 ในแง่ความเหมาะสมของกายภาพสมบัติ (physical property) และกลสมบัติ ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าโลหะผสมโคบอลต์โครเมียมมีความเหมาะสมของค่าความทนแรงดึง (tensile strength), ความแรงคราก (yield strength), ระยะของการยืดตัว (elongation), ความเหนียว (ductility), สภาพยืดหยุ่นมอดุลัส (modulus of elasticity) และความแข็งผิว (surface hardness) ที่สามารถใช้ทำโครงโลหะฟันปลอมบางส่วนถอดได้ (Paffenbarger, 1943; Lane, 1949; Peyton, 1958; Taylor, 1958; Cunningham, 1973) ภายใต้ข้อกำหนดที่ 14 ว่าด้วยเรื่องวัสดุของสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา (Taylor and Sweeney 1957; ADA, 1976-1978) โลหะผสมโคบอลต์โครเมียมจึงเป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายมาจนถึงปัจจุบัน

แต่ในสภาวะเศรษฐกิจปัจจุบัน โลหะผสมโคบอลต์โครเมียมมีราคาสูงขึ้น ห้องปฏิบัติการหลายแห่งได้ใช้โลหะเก่าที่เหลือจากการเหวี่ยงครั้งก่อนผสมกับโลหะใหม่ สำหรับเหวี่ยงโครงโลหะชิ้นใหม่ เพื่อประหยัดโลหะเหมือนเมื่อครั้งที่ใช้วิธีนี้กับทองผสมชนิดที่ 4 (Phillip, 1991) วิธีการดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อกลสมบัติของโครงโลหะที่ได้ ซึ่งอาจนำไปสู่ปัญหาโครงโลหะหักระหว่างใช้งาน จากสาเหตุดังกล่าวในตอนต้น

มีรายงานการศึกษาค่อนข้างน้อยที่ศึกษาถึงผลกระทบของการเวียนใช้โลหะเก่าที่มีต่อกลสมบัติของโลหะชิ้นใหม่ที่เหวี่ยงได้ Lewis (1975) ได้ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงกลสมบัติของโลหะผสมโคบอลต์โครเมียมที่หลอมด้วยกระบวนการต่างกัน ได้แก่ หลอมด้วยกระแสไฟฟ้า (induction fusion), หลอมภายใต้ความต้านทาน (resistance fusion) และหลอมด้วยก๊าซออกซิเจนอะเซทิลีน (oxy-acetylene fusion) และเหวี่ยงโลหะจำนวน 5, 3 และ 3 รุ่นตามลำดับ โดยใช้โลหะเก่าในรุ่นก่อนหน้าหลังจากที่ทดสอบกลสมบัติแล้วเป็นวัตถุดิบเริ่มต้น พบว่าโลหะที่เหวี่ยงได้ในแต่

ละรุ่นในการหลอมโลหะทั้งสามกระบวนการ มีค่าความแข็งแรงดึง, ร้อยละของการยืดตัว และค่าความแข็งผิววิคเกอร์ลดลง ยกเว้นค่าความแข็งแรงดึงของโลหะที่หลอมด้วยกระแสไฟฟ้า มีค่าคงที่ใน 3 รุ่นแรก แต่ก็ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในรุ่นที่ 4 และ 5 เช่นเดียวกัน

ในขณะที่ Hesby, Kobes, Garver, and Pelleu (1980) ได้ทำการทดลองโดยศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงกลสมบัติของโลหะผสมโคบอลต์โครเมียมที่เหวี่ยงซ้ำ 4 ครั้ง แต่ละครั้งใช้ชิ้นส่วนของโลหะตัวอย่างครั้งก่อนหน้าเป็นโลหะเริ่มต้นโดยไม่ผสมโลหะผสมใหม่ พบว่า ค่าความทนแรงดึง, ความแข็งผิวร็อกเวลล์ และค่าระยะของการยืดตัวของตัวอย่างในแต่ละรุ่น มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

Nelson, Palik, Morris, and Comella (1986) ได้ศึกษาถึงกลสมบัติของโลหะผสมโดยวัดค่าความทนแรงดึง, ความแรงคราก, ระยะของการยืดตัว และความแข็งผิววิกเกอร์ ในโลหะผสมนิกเกิลโครเมียมที่ผ่านการเหวี่ยงซ้ำตั้งแต่ 1-100 ครั้ง โดยทุกครั้งจะผสมโลหะเก่าในครั้งก่อนหน้ากับโลหะใหม่ในอัตราส่วนร้อยละ 50 ในการเหวี่ยงครั้งที่ 1-9 เหวี่ยงเป็นโครงโลหะฟันปลอมบางส่วนถอดได้แล้วนำไปใช้ในคนไข้เพื่อศึกษาผลการใช้งานในคลินิก ส่วนครั้งที่ 10 เหวี่ยงเป็นชิ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบในห้องปฏิบัติการ หลังจากนั้นนำโลหะไปเหวี่ยงซ้ำกระบวนการเดิมจนครบ 10 รุ่น ผลที่ได้จากจำนวนตัวอย่าง 44 ชิ้น พบว่ากลสมบัติของโลหะและลักษณะทางจุลภาคของโลหะแต่ละรุ่นมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนในฟันปลอมบางส่วนถอดได้จำนวน 90 ชิ้น พบแขนตะขอหักในฟันปลอม 4 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 4.4 ซึ่ง Nelson et al.ได้รายงานว่าเป็นเพียงส่วนน้อย และการใช้โลหะเก่าผสมกับโลหะใหม่ในอัตราส่วนร้อยละ 50 ไม่ทำให้เกิดปัญหาต่อกลสมบัติของโลหะที่เหวี่ยงได้

Altay, Oktemer, Demirel, and Kocaderell (1990/1991) ได้พิสูจน์ผลการศึกษาของ Nelson et al. ในโลหะผสมโคบอลต์โครเมียม โดยการเปลี่ยนสัดส่วนของโลหะเก่าต่อโลหะใหม่ในสัดส่วน ร้อยละ 100, ร้อยละ 50, ร้อยละ 75 และร้อยละ 0 และเหวี่ยงโลหะเพียง 1 รุ่น พบว่าสัดส่วนที่ใช้ปริมาณโลหะเก่ามากกว่าร้อยละ 50 มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในของโลหะที่เหวี่ยงได้ โดยสภาวะออกซิเดชัน (oxidation) ที่เกิดขึ้นในการหลอมโลหะทำให้เกิดการสูญเสียธาตุโลหะบางส่วน ทำให้กลสมบัติของโลหะเปลี่ยนไป คือ เหวี่ยงได้ยากขึ้น, การไหลลดลง และความต้านทานต่อการสึกกร่อนลดลง

ผลการศึกษาดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับผลกระทบจากการใช้โลหะเก่า ที่มีต่อกลสมบัติของโลหะใหม่ที่เหวี่ยงได้ คือ จำนวนครั้งในการใช้โลหะเก่าซ้ำ และอัตราส่วนระหว่างโลหะใหม่ต่อโลหะเก่า การศึกษาของ Hesby et.al.(1980) ได้ผลขัดแย้งกับผลการศึกษาของ Lewis (1975) ในเรื่องจำนวนครั้งที่สามารถใช้โลหะเก่าซ้ำได้ ในขณะที่ผลการศึกษาของ Nelson et al. (1986) ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้โลหะเก่าซ้ำกี่ครั้งก็ได้หากผสมโลหะใหม่ในอัตราส่วนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ซึ่งเป็นค่าที่การศึกษาของ Altay et.al. (1990/1991) ให้ผลว่าเป็นอัตราส่วนต่ำสุดที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม ปัญหาในการควบคุมตัวแปรทั้งสองประการยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจน ในขณะที่มีการใช้วิธีนี้ในการผลิตโครงโลหะตามห้องปฏิบัติการต่างๆโดยทั่วไป โดยที่แต่ละห้องปฏิบัติการมีหลักปฏิบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจมีผลต่อคุณภาพของโครงโลหะ และเป็นสาเหตุสำคัญของความล้มเหลวในการใช้งานฟันปลอมบางส่วนถอดได้ ผลที่ตามมาคือผู้ป่วยต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการทำฟันปลอมชิ้นใหม่ ค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ในการทำฟันปลอมบางส่วนถอดได้อยู่ที่การเหวี่ยงโครงโลหะ ซึ่งค่าเฉลี่ยของราคาโครงโลหะต่อชิ้นประมาณ 900-1,000 บาท ดังนั้น หากการใช้โลหะเก่าในการทำโครงโลหะชิ้นใหม่มีผลต่อกลสมบัติของโลหะผสมที่ได้ จึงเป็นการลงทุนที่ไม่คุ้มค่าตราบใดที่ยังไม่มีการควบคุมตัวแปรที่สำคัญอย่างถูกต้องเหมาะสม

ดังนั้น จึงควรมีข้อมูลที่เชื่อถือได้สำหรับรองรับข้อปฏิบัติดังกล่าว และเป็นแนวทางสำหรับการเหวี่ยงโครงโลหะโดยใช้โลหะเก่าหลอมและเหวี่ยงซ้ำ เพื่อให้ได้มาซึ่งงานที่มีคุณภาพและประหยัดค่าใช้จ่ายได้ในขณะเดียวกัน

ปัญหาการวิจัย

การนำโลหะเก่ามาใช้มีผลต่อกลสมบัติของโลหะใหม่ที่หล่อได้หรือไม่

สมมติฐานการวิจัย

การลดปริมาณโลหะใหม่ที่เป็นส่วนผสม และการเพิ่มจำนวนครั้งในการเวียนใช้โลหะเก่าซ้ำ ทำให้กลสมบัติของโลหะที่หล่อได้ด้อยลง และอาจมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนดที่ 14 ของสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา

วัตถุประสงค์การวิจัย

1.เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงกลสมบัติของโลหะผสมโคบอลต์โครเมียม ที่ได้จากการเวียนใช้โลหะเก่าซ้ำหลายครั้งโดยผสมโลหะเก่ากับโลหะใหม่ในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามข้อกำหนดหมายเลข 14 ของสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา

2.เพื่อศึกษาถึงจำนวนครั้งในการเวียนใช้โลหะเก่าซ้ำ และอัตราส่วนผสมระหว่างโลหะเก่ากับโลหะใหม่ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ทำให้กลสมบัติของโลหะที่เหวี่ยงได้เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกลสมบัติของโลหะใหม่

3.เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของจำนวนครั้งในการเวียนใช้โลหะเก่าซ้ำ และอัตราส่วนผสมระหว่างโลหะเก่ากับโลหะใหม่ที่มีต่อกลสมบัติของโลหะผสมโคบอลต์โครเมียมที่ผ่านการเวียนใช้ซ้ำ

ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาถึงจำนวนครั้งในการใช้โลหะเก่าหล่อซ้ำจะสิ้นสุดเมื่อกลสมบัติของโลหะที่หล่อได้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานการยอมรับตามข้อกำหนดหมายเลข 14 ของสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ทราบถึงแนวทางในการควบคุมวิธีการนำโลหะเก่าส่วนที่เหลือกลับมาใช้ซ้ำ โดยไม่มีผลกระทบต่อกลสมบัติของโลหะที่หล่อได้

2.เป็นงานวิจัยขั้นพื้นฐานที่สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำโครงโลหะที่ผ่านการใช้งานแล้ว กลับมาใช้ซ้ำ

นิยามคำที่ใช้ในการวิจัย

โลหะเก่า

หมายถึง ชิ้นส่วนของตัวอย่างโลหะที่ได้จากการหล่อในรุ่นก่อนหน้า และผ่านการทดสอบหาค่าต่างๆของกลสมบัติ รวมถึงชิ้นส่วนที่เหลือในส่วนแกนค้างรูเท (sprue) ที่นำมาเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นสำหรับการเหวี่ยงโครงโลหะในรุ่นต่อไป

โลหะใหม่

หมายถึง โลหะผสมใหม่ที่ใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นสำหรับเหวี่ยงโลหะโดยไม่ผ่านการใช้งานมาก่อน

กลุ่มที่(โลหะ)

หมายถึง อัตราส่วนผสมโลหะเก่ากับโลหะใหม่ของกลุ่มโลหะตัวอย่างซึ่งมี 4 อัตราส่วนตามที่กำหนดไว้ในระเบียบวิธีวิจัย

รุ่นที่(โลหะ)

หมายถึง จำนวนครั้งที่ผ่านการเวียนใช้โลหะเก่าซ้ำของกลุ่มโลหะตัวอย่าง

ความแรงคราก (yield strength)

หมายถึง ค่าความแข็งแรงของวัสดุ ณ จุดที่วัสดุเริ่มมีคุณสมบัติเป็นพลาสติก (plastic) วัดค่าเป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่ (ปอนด์/นิ้ว^2, นิวตัน/เมตร^2) เป็นค่าที่บอกถึงวัสดุเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงที่มีค่ามากกว่าความแรงครากมากระทำต่อวัสดุ มีความสำคัญต่องานโครงโลหะฟันปลอมบางส่วนถอดได้ เช่น ตะขอ ซึ่งมีการเด้งตัวออกจากความคอดของฟัน หากมีแรงกระทำต่อตะขอมากกว่าความแรงคราก จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตะขอ ทำให้สูญเสียการทำหน้าที่

ความทนแรงดึง (ความเค้นดึง, tensile strength)

หมายถึง ค่าของความต้านทานที่เกิดภายในวัสดุในลักษณะที่ต้านต่อแรงดึง (tension) วัดค่าเป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่ (ปอนด์/นิ้ว^2, นิวตัน/เมตร^2) บอกถึงความแข็งแรงของวัสดุ หากวัดค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดที่วัสดุขาดออกจากกัน จะได้ค่าความแข็งแรงที่มากที่สุดที่วัสดุสามารถต้านทานได้ก่อนแตกหัก เรียกว่า ความทนแรงดึงท้ายสุด (ultimate tensile strength) ค่าความทนแรงดึงเป็นค่าที่กำหนดขึ้นโดยไม่มีความเกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพของโลหะ แต่มีประโยชน์ในการเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของโลหะอย่างหนึ่ง

ระยะของการยืดตัว (การยืด, elongation)

หมายถึง การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุอันเนื่องมาจากแรงดึง วัดค่าเป็นร้อยละของความยาวเดิมของวัสดุต่อความยาวที่เพิ่มขึ้น (%การยืดตัว, %elongation) เป็นค่าที่แสดงถึงความเหนียว (ductility) หรือความเปราะ (brittleness) ของวัสดุ วัสดุที่มีค่าร้อยละของการยืดตัวสูงจะมีความเหนียวมากกว่า ทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้โดยไม่ขาดหรือแตกหัก ภายใต้แรงที่ไม่ถึงกำลังดึงประลัย เช่นการดัดตะขอลวดในโครงโลหะฟันปลอมบางส่วนถอดได้ เป็นต้น

ความแข็งผิว (surface hardness)

หมายถึง ความสามารถในการต้านทานการเจาะทะลุ (penetration) การทำให้บุ๋ม (indentation) หรือการขีดข่วน (scratching) บนพื้นผิววัสดุ วัดค่าแตกต่างกันตามแต่วิธีที่ใช้ทดสอบ เช่น ค่าความแข็งผิวบริเนลล์ (Brinell hardness number), ค่าความแข็งผิววิคเคอร์ (Vicker hardness number) และค่าความแข็งผิวนูป (Knoop hardness number) ความแข็งผิวเกี่ยวข้องกับความยากง่ายในการขัดแต่งโครงโลหะ ความทนทานต่อการขีดข่วน และการสึกของโครงโลหะ ค่าความแข็งผิวที่มากเกินไปทำให้ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษในการขัดแต่ง