

Mechanismen en theorie van occlusale slijtage

P. Pallav, tandarts
A.J. de Gee, chemicus

Uit de vakgroep Tandheelkundige
Materiaalwetenschappen van het
Academisch Centrum Tandheelkunde
Amsterdam (ACTA).

Trefwoorden: Materiaalkunde –
Slijtage – Erosie

Datum van acceptatie: 18 juni 1996.

Adres: P. Pallav, ACTA,
Louwesweg 1,
1066 EA Amsterdam.

Samenvatting. De verschillende mechanismen die tot slijtage van occlusale vlakken leiden, erosie ten gevolge van het voedsel, direct-contactslijtage en oppervlaktevermoeiing, worden vanuit de theorie beschreven. Daarbij wordt vooral aandacht besteed aan de consequenties voor de praktijk.

PALLAV P, GEE AJ DE. Mechanismen en theorie van occlusale slijtage. Ned Tijdschr Tandheelkd 1996; 103: 452-4.

1 Inleiding

Onderzoek naar de slijtage zoals die zich voordoet aan occlusale vlakken heeft vanaf het einde van de jaren zeventig een enorme ontwikkeling doorgemaakt. Omdat klinische studies bewerkelijk, tijdrovend en bovendien onnauwkeurig zijn, nam vooral de vraag naar *in vitro*-onderzoek toe.

Slijtage is een sterk systeemgebonden eigenschap.¹ Bij het ontwikkelen van een simulatiemethode is het dan ook van groot belang dat de resultaten ervan gerelateerd worden aan die van klinische onderzoeken.

Bestuderen van (elektronen-)microscopiefoto's bracht naar voren dat occlusale slijtage op contactvrije gebieden (het zogenaamde CFA)² van een erosief type is en dat op occlusale contactgebieden (zogenaamde OCA)² een mengvorm van erosieve en direct-contactslijtage optreedt. Daar komt ook nog bij dat op het OCA, in het bijzonder bij mechanisch minder sterke materialen zoals amalgamen, composieten en glasionomen, nogal eens oppervlaktevermoeiing waargenomen wordt.

2 Slijtmechanismen

Slijtage aan occlusale vlakken wordt dus veroorzaakt door de volgende drie mechanismen:

- Erosieve slijtage ten gevolge van de voornamelijk mechanische erosie door het voedsel (OCA en CFA).
- Direct-contactslijtage aan gebieden waar contact met de antagonist voorkomt (OCA).
- Oppervlaktevermoeiing als gevolg van de contactbelasting door de antagonist (OCA).

2.1 Erosie

Het exacte mechanisme van het materiaalverlies bij erosie is nog nauwelijks opgehelderd. De eroderende werking van voedsel is waarschijnlijk grotendeels toe te schrijven aan cellulose. In de papierverwerkende industrie is bekend dat cellulose zelfs op de hardste staalsoorten een slijpende werking heeft.

2.2 Direct-contactslijtage

Doordat alle in de mond voorkomende oppervlakken in zekere mate ruw zijn, is werkelijk contact normaal beperkt tot de toppen van (sub-)microscopische ruwheden. Een (schijnbaar) raakvlak tussen twee harde oppervlakken bestaat normaal dus uit een groot aantal zeer kleine (werkelijke) contactpunten, die tezamen normaal slechts een zeer klein percentage van het totale (schijnbare) contactvlak vertegenwoordigen.³

In fysisch-chemisch opzicht komen in de mond geen werkelijk schone oppervlakken voor. Daarom is ook ter plaatse van deze microscopische, werkelijke contactpunten vaak nog steeds geen contact aanwezig tussen de kristalroosters van de materialen.

Vooraf in speksel, maar zeker ook in vele voedingsmiddelen, komen stoffen voor die (zeer) goed aan vele oppervlakken hechten. Vooral keramische oppervlakken bieden door hun polaire karakter gunstige hechttingsmogelijkheden voor dit soort stoffen. In dit verband dient opgemerkt te worden dat onedele metalen in de mond bedekt zijn met een corrosielaag, waardoor ook dit soort materialen feitelijk een keramisch oppervlak hebben. Hierdoor zijn de oppervlakken in de mond in eerste instantie beschermd door een goed hechtende laag hydrofiel organisch materiaal en zal slijtage beperkt blijven tot plaatsen waar door ruwheid en/of hoge belasting deze film doorbroken wordt. Wanneer op deze wijze ruwheidstoppen langs elkaar bewegen, ontstaan beschadigingen. Daarbij worden (sub-)microscopische deeltjes uit de contactvlakken verwijderd. Cumulatie van dit materiaalverlies leidt, in een schijnbaar continu proces, tot macroscopisch waarneembare slijtage.⁴

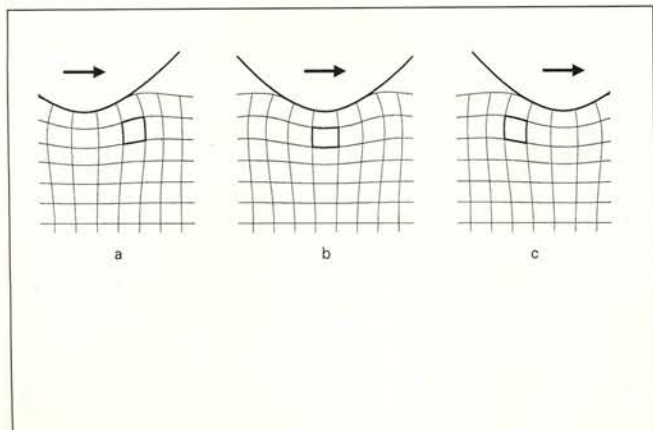
De wijze waarop en de mate waarin materiaalverlies optreedt, zijn zeer variabel en afhankelijk van vele parameters, zoals sterkte, hardheid, deformatiegedrag van beide materialen, hechting, herstellend vermogen en samenstelling van de geadsorbeerde film en de geometrie en het bewegingspatroon van de contactvlakken.

Bij oppervlakken, bestaande uit brosse materialen zoals glazuur, zal glijdend contact van de ruwheidstoppen op (sub-)microscopisch niveau tot breuk leiden. Het gevolg hiervan is, dat de ruwheid plaatselijk steeds verder vereffend wordt en zeer gladde slijtfacetten ontstaan. Bij plastisch deformeerbare materialen zoals metalen (goud, amalgaam enz.) zullen ruwheidstoppen gedefformeerd – als het ware uitgesmeerd – worden, met naar verhouding weinig materiaalverlies. Als de contactpartners niet te veel verschillen in hardheid, worden de contacten dus vaak gladder als gevolg van dergelijke milde slijtprocessen.

Naarmate er een groter hardheidsverschil bestaat tussen de contactoppervlakken, wordt in toenemende mate de ruwheid van het hardste oppervlak en het verloop daarvan in de tijd bepalend voor de ruwheid van beide oppervlakken. Vooral de ruwheid van de hardste contactpartner is dus van invloed op de slijtage.

2.3 Oppervlaktevermoeiing

Oppervlaktevermoeiing wordt niet als slijtage gezien, maar als een vorm van mechanische overbelasting. Dit is nader uiteengezet in afbeelding 1.



Afb. 1. Vervorming onder het oppervlak waar overheen van links naar rechts een antagonist beweegt. Het vetgedrukte vierkant bij b bevindt zich daar waar de hoogste drukspanning optreedt. Bij de vetgedrukte vierkanten bij a en c treedt de grootste schuifspanning op. De vervorming bij a en c is zuiver tegengesteld van richting, wat een zware vermoeiingsbelasting betekent (vergelijk een paperclip die na herhaald heen en weer buigen breekt).

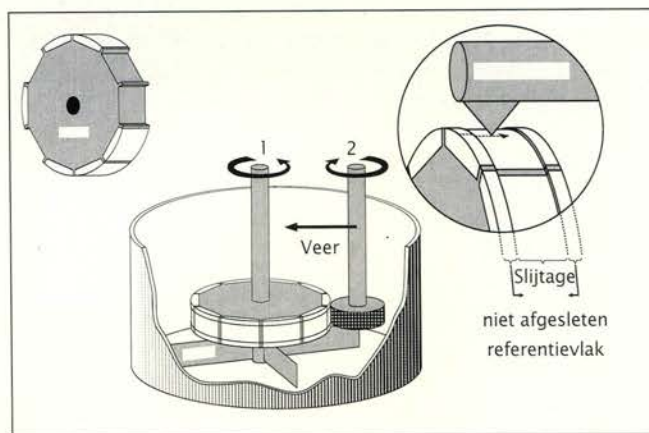
Eén van de kenmerken van oppervlaktevermoeiing is dat er schijnbaar sprake is van een incubatietijd. Omdat de spanning daar het hoogst is,^{5,6} kan na verloop van tijd een aanzienlijk, enigszins onder het oppervlak gelegen netwerk van scheurtjes ontstaan. Als na enige tijd voldoende scheurtjes het oppervlak bereiken, breken in toenemend tempo onregelmatig gevormde brokstukken uit, waarbij een zeer ruw oppervlak achterblijft.² Of vermoeiingsschade optreedt, en de mate waarin, hangt niet alleen af van de uitgeoefende kracht en de (tamelijk complexe) vermoeiingssterkte, maar ook van de maximale elastische deformatie van het materiaal en de afrondingsradius van de oppervlakken. De laatste is vooral van invloed op de hoogte van de optredende contactdruk, die gedefinieerd is als de kracht gedeeld door het oppervlak van het zeer kleine raakvlak.

Wanneer oppervlaktevermoeiing het gevolg is van de snelheid waarmee de contactpunten elkaar treffen, in plaats van de min of meer statisch uitgeoefende kracht, wordt in de tandheelkundige literatuur wel gesproken van impactslijtage.

3 Simulatie

Om de drie slijtprocessen die klinisch optreden te kunnen simuleren, werd een eigen slijtmachine ontwikkeld (afb. 2).⁷ Deze bestaat uit twee onafhankelijk aangedreven cilindrische wielen, waarvan het grootste de te testen materialen bevat en het kleinste de functie van de antagonist vervult. De wielen rollen met een instelbaar slippercentage tegen elkaar aan, ondergedompeld in een slurry van water met (voor)gemalen witte rijst ten behoeve van de consistentie, en kaf van gierstzaad ten behoeve van de erosie. Onder 'standaard' omstandigheden wordt een toerental van 1 Hz, een drukkracht van 15 N en een slippercentage van 15% ingesteld. In tabel I is een aantal materialen vermeld die met de slijtmachine werden onderzocht.

Wanneer de resultaten van de slijtmachine vergeleken worden met die van de klinische onderzoeken, blijkt de beste correlatie (hoogste r-waarde) op te treden bij erosie met de genoemde slurry, zonder direct contact tussen de wielen. De r-waarden die daarbij gevonden worden, zijn ongeveer even groot als die, welke tussen de klinische onderzoeken onderling gevonden worden.⁷ Temeer omdat hoge r-waarden óók



Afb. 2. De procedures rond de zelf ontworpen slijtmachine.

Linksboven: De testmaterialenhouder waarin al enkele te testen materialen zijn aangebracht. Midden: Het antagonistiewiel wordt door middel van een veer tegen de testmaterialenhouder aangedrukt, draaiend ondergedompeld in de slurry.

Rechtsboven: Een met een computer verbonden profilometer tast de oppervlakken af om het materiaalverlies te bepalen.

gevonden worden wanneer fundamenteel verschillende materialen (bijv. amalgaam, composiet en glasionomeer) bij de vergelijking betrokken zijn, mag aangenomen worden dat de erosie die in de slijtmachine optreedt, vrij goed vergelijkbaar is met de *in vivo* optredende erosie ten gevolge van voedsel.

Bij de vele studies die inmiddels met behulp van de slijtmachine zijn uitgevoerd, is bevestigd dat de mate van erosieve slijtage goed beschreven wordt door de (noodzakelijkerwijs aangepaste) algemene slijtage vergelijking. Dit wil zeggen dat de slijtage die door het voedsel veroorzaakt wordt op de contactvrije gebieden (CFA), in belangrijke mate beïnvloed wordt door de combinatie van de druk waarmee het voedsel tegen dat oppervlak gedrukt wordt en de langs het oppervlak geldende zogenaamde afschuifnelheid.

In een onlangs verschenen proefschrift worden de te verwachten gevolgen van dit principe voor de slijtage, zoals die *in vivo* optreedt, uitgebreid behandeld en gedeeltelijk wiskundig afgeleid.⁸ Het valt buiten de opzet van dit artikel hier in detail op in te gaan. Naar voren komt onder andere, wat gevoelsmatig al duidelijk is, dat de meeste erosieve slijtage optreedt, kort voordat (maximale) occlusie bereikt wordt, terwijl het voedsel tussen de occlusale vlakken uitgeperst wordt. Vooral voor dit mechanisme zijn de zogenaamde ontsnapingskanalen van groot belang. De ontsnapingskanalen zijn in dit verband de ingesloten openingen tussen de occlusale vlakken (onder en boven), waardoor het voedsel buccaal en linguaal tussen de occlusale vlakken uitgeperst wordt.

De stromingsdoorsnede van de ontsnapingskanalen is in verregaande mate bepalend voor de druk die optreedt over de tussenliggende breedte van de occlusale vlakken. Relatief nauwe kanalen leiden tot een hoge druk en daardoor een relatief hoge slijtsnelheid, terwijl wijde kanalen tot een relatief lage slijtsnelheid leiden. In een aantal gevallen kan dit mechanisme door de tandarts gebruikt worden om de slijtsnelheid te beïnvloeden. Dit moet echter wel evenwichtig gebeuren. Mocht slechts één kanaal verwijd worden, dan volgt uit de theorie dat in het aangrenzende gebied alsmede in naburige ontsnapingskanalen de slijtsnelheid zal dalen. Doordat het voedsel echter de weg van de minste weerstand kiest, kan de (afschuif)nelheid in het verwijde kanaal zelf onevenredig groter worden, waardoor hier de slijtsnelheid mogelijk juist toe zal nemen. Verder wordt duidelijk dat brede restauraties in het algemeen sneller slijten dan smalle.

Tabel I. In het laboratorium gemeten slijtage met de slijtmachine. De spreiding in de waarden ontstaat doordat een aantal verschillende batches getest werden. Voor de glasionomeren werden ongeveer een jaar lang gerijpte proefmonsters gebruikt.

Materiaal	Slijtage	Materiaal in μm	Slijtage in μm
Dispersalloy	11 - 13	Helioprogress	42 - 50
Visio-Molar	12 - 17	Heliomolar	45 - 53
Clearfil Ray Posterior	14 - 17	Dyract	74 - 94
Z 100	12 - 22	Ketac-Fil	37
Silux Plus	28 - 36	Fuji II CC	57
Pertac Hybrid	34 - 41	Shofu Hi-dense	28
TPH	36 - 41	Photac-Fil	152
Herculite XRV	40 - 42	Fuji II LC	138

4 Conclusies

Een goed uitgangspunt bij de preventie van direct-contactslitage is de keuze voor een materiaal dat ongeveer even hard is als de antagonist. Wanneer in zo'n geval de contactvlakken onverhoopt opgeruwd worden (bijv. door zandkorrels in het voedsel), zal dit niet tot overmatige slijtage aan het minst harde contactvlak leiden, maar zullen de contactvlakken elkaar eerder polijsten. Vooral edelmetalen lijken zeer geschikte contactmaterialen tegenover glazuur omdat zij niet te hard zijn. Bovendien is de corrosielaag, die nogal eens abrasieve eigenschappen heeft, bij deze materialen meestal onbelangrijk.

Naarmate het hardheidsverschil tussen de contactvlakken groter is, is het belangrijker dat vooral het hardste zo glad mogelijk afgewerkt wordt en dat dit ook regelmatig gecontroleerd wordt. De hoogte van de optredende contactdruk kan

beperkt worden door bij de occlusale vormgeving de contactvlakken een ruime afrondingsradius te geven. Dit laatste verkleint ook de kans op oppervlaktevermoeiing.

Met het oog op (de verdeling van) de erosieve slijtage, is het verstandig er voor te zorgen dat ontsnappingskanalen die op hetzelfde gebied uitkomen, niet te veel verschillen in doorsnede (stromingsweerstand). Indien een restauratie aangetroffen wordt die plaatselijk sterke slijtage vertoont, kan onderzocht worden of er andere ontsnappingskanalen zijn die vanaf hetzelfde gebied lopen. Deze kunnen dan enigszins wijder gemaakt worden, zodat een herverdeling van de erosie optreedt. Onder omstandigheden waarbij zwaardere erosie verwacht wordt, kan overwogen worden de ontsnappingskanalen (tezamen!) wat wijder uit te voeren, bijvoorbeeld door de fissuren wat dieper te maken.

Literatuur

- 1 Czichos H. Tribology. A systems approach to the science and technology of friction, lubrication and wear. Amsterdam: Elsevier Publ. Co., 1978.
- 2 Lambrechts P, Braem M, Vanherle G. Evaluation of clinical performance for posterior composite resins and dentin adhesives. *Oper Dent* 1987; 12: 53-78.
- 3 Bowden FP, Tabor D. The friction and lubrication of solids. Oxford: Clarendon Press, 1950.
- 4 Peterson MB, Winer WO, red. Wear control handbook. New York: The American Society of Mechanical Engineers (ASME), 1980.
- 5 Poritsky H, Schenectady NY. Stresses and deflections of cylindrical bodies in contact with application to contacts of gears and locomotive wheels. *J Appl Mech* 1950; 17: 191-201.
- 6 Hertz H. Ueber die Berührung fester elastischer Körper. *J Reine Angew Math* 1881; 92: 155-71.
- 7 De Gee AJ, Pallav P. Occlusal wear simulation with the ACTA wear machine. *J Dent* 1994; 22(suppl.): 21-7.
- 8 Pallav P. Occlusal wear in dentistry, fundamental mechanisms, clinical implications and laboratory assessment. Amsterdam: Universiteit van Amsterdam, 1996. Academisch proefschrift.

Summary

MECHANISMS AND THEORY OF OCCLUSAL WEAR OF THE DENTITION

Key words: Dental materials – Occlusal wear

The various mechanisms which cause wear of occlusal surfaces of the teeth, erosion as caused by the food, direct contact wear, and surface fatigue are discussed from their theoretical bases. Special attention is paid to the implications for the oral environment. The ACTA wear machine, designed to simulate these mechanisms, as well as some of its results, are briefly discussed.