

Tandheelkundige Materiaalkennis

door J. N. Tekenbroek.

(Vervolg)

§ 4. *Het slijpen*

Wordt een partikeltje van een slijpmiddel over een materiaaloppervlak gewreven, dan snijdt het een kras in het oppervlak. De aard van de kras hangt af van meerdere factoren en wel van:

- 1e. de grootte van de slijpdeeltjes.
- 2e. de vorm van de slijpdeeltjes (hoekig, rond, etc.).
- 3e. de hardheid van de slijpdeeltjes.
- 4e. de relatieve snelheid van het slijpdeeltje, t.o.v. het oppervlak.
- 5e. de kracht, waarmee het tegen het oppervlak wordt aangedrukt.
- 6e. de mechanische eigenschappen van het te beslijpen oppervlak.

Bij een **bros** oppervlak vertoont de kras **brokkelige** en **versplinterde** wanden en randen, bij meer plastische materialen is het aanzien van de kras **gladder**, terwijl het slijpsel daarbij minder poedervormig is, maar neigt tot het vormen van **krullen** (zie fig. 82 en 83). Bij zeer elastische materialen (b.v. weinig ge vulcaniseerd rubber) ontwijkt het materiaal de mechanische inwerking van het slijpmiddel en, zo er dan al een kras ontstaat, zal deze meer een snede zijn, waarbij geen materiaal van het oppervlak verwijderd wordt.

Het kost energie om materiaal van een oppervlak af te slijpen, aangezien daarvoor de cohaesiekrachten van het materiaal overwonnen moeten worden. Deze cohaesiekrachten zijn zeer groot;

hun orde van grootte demonstreert zich o.a. in de bij trekproeven gevonden treksterkten (b.v. staal 50—100 kg/mm²).

Het criterium bij bewerkingen als slijpen, boren, „zandstralen” en frezen ligt bij de vraag of men er in slaagt bij een materiaal met een bepaald slijpmiddel of met een bepaalde vorm van frees of boor

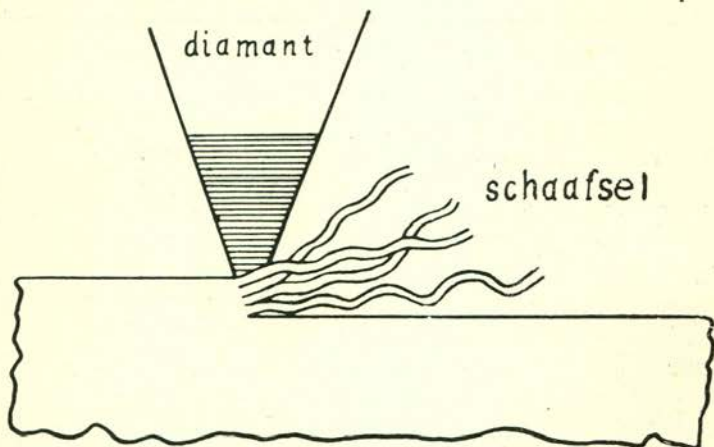


fig. 82

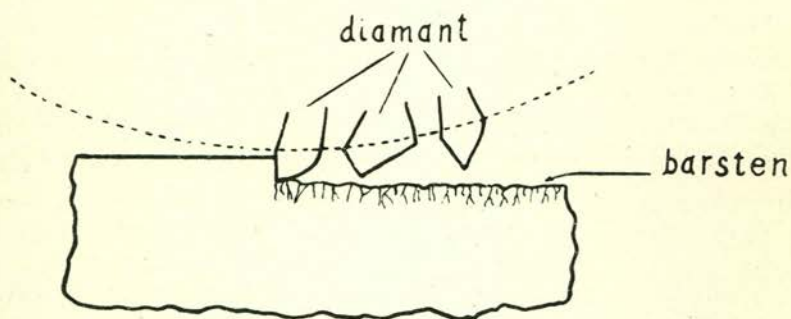


fig. 83

plaatselijk een dusdanige hoeveelheid energie te doseren, dat de cohesie in het materiaal ter plaatse overwonnen kan worden.

Zoals bij het bespreken van de wrijving tot uiting kwam, treden er, omdat het effectieve aanrakingsoppervlak tussen twee stoffen zo uitermate klein is, zeer grote krachten bij de aanrakingspunten op. Komt een slijpmiddelpartikeltje met een zekere hoeveelheid energie tegen een aanrakingspunt aan, dan hangt het van verschillende omstandigheden af, wat er zal gebeuren.

Het hangt in de eerste plaats van de mechanische eigenschappen van het te beslijpen materiaal af, hoeveel materiaal in het opvangen van de energiestoot betrokken zal worden. Bij een wat elastisch materiaal immers, dat onder invloed van de energiestoot terugwijkt, verdelen de spanningen zich over een grotere doorsnede in het materiaal rond het aanrakingspunt dan bij een bros materiaal, dat van geen terugwijken weet. De spanningen in de doorsneden, die bij het opvangen van de energie betrokken worden, zullen daarom bij elastische materialen lager zijn dan bij brosse materialen. Bij deze laatste materialen is de kans dus groter, dat deze spanningen de cohaesiekrachten in die doorsnede zullen kunnen overtreffen met als gevolg, dat het materiaal het plaatselijk begeeft en een stukje ervan afbrokkelt. Wordt met een slijpmiddel-deeltje een kras gemaakt over het oppervlak van een **plastisch** materiaal, dan zullen de in het materiaal opgewekte spanningen zich door de plastische eigenschappen van het materiaal wat gelijkmatig verdelen. De afgeschaafde materiaal-hoeveelheid zal meer blijven **samenhangen** en in de vorm van spanen van het oppervlak loslaten, terwijl de wanden en randen van de kras een gladde indruk maken. In de directe nabijheid van de kras zullen door de plastische vervormingen in het materiaal spanningen (versteving) optreden. Dit demonstreert zich bij metalen o.a. in het feit, dat deze randen spoediger corroderen.

Bij brosse materialen brokkelt het materiaal bij het maken van een kras af en ontstaat een meer poedervormig slijpsel. De onregelmatige spanningsverdeling doet scheuren en barsten in de randen en wanden van de krassen ontstaan, die een meer brokkelig uiterlijk hebben. Deze barsten en scheuren kunnen bij brosse materialen dieper in het materiaal doordringen, waarin zij een weg zoeken langs de plaatsen van de minste weerstand (dislocaties, zie T. v. T., 1951 Jan., blz. 10) in het materiaal. Het ontstaan van dergelijke diepgaande scheuren is bij het slijpen van glas, als dit niet voorzichtig gedaan wordt, waar te nemen. Dit houdt een waarschuwing in voor het slijpen van porceleintanden, dat zowel in de tandtechniek als bij het inslijpen van prothesen etc. wordt uitgevoerd. Bij het tandheelkundig porcelein, dat vanwege zijn vereiste transparante eigenschap meer de samenstelling van glas dan van een keramische massa benadert, treden dergelijke diepgaande barsten vaak op. (Door de aanwezigheid van een kristallijne fase in de glasachtige matrix wordt bij porcelein een diepergaande barst als

het ware wat meer verstrooid.) Het slijpen aan porceleintanden moet met voorzorgen gebeuren en onjuist is in ieder geval, hetgeen men als regel doet, daarvoor dezelfde slijpinstrumenten te gebruiken als voor het slijpen aan het tandweefsel.

Ook de mechanische eigenschappen van het slijpmiddel hebben een beslissende invloed op hetgeen er bij een aanrakingspunt gebeurt. Voor het bewerken van een materiaal kan een slijpmiddel te „zacht” blijken te zijn, waarbij zich dan twee mogelijkheden voordoen, namelijk het slijpmiddel is **te bros** of het is **te plastisch**.

Een te bros slijpmiddel zal onder invloed van de energiestoot op het aanrakingspunt van het materiaal als een vliegtuig, dat tegen een rots vliegt, verbrijzeld worden. De energie van de stoot verdeelt zich daarbij over een groot oppervlak, waarbij de kans op een plaatselijke dosering van voldoende energie, teneinde de cohaesiekrachten over een klein oppervlak te kunnen verbreken, verloren gaat. Een te plastisch slijpmiddel vervormt zich gedurende de botsing allengs tot de vorm van het aanrakingspunt, waardoor in de eerste plaats de energiestoot door een groter oppervlak van het materiaal wordt opgevangen. Daarnaast verlengt zich de tijdsduur van de energiestoot, omdat bij de eerste aanraking het slijpmiddel begint te vervormen en eerst, wanneer zich de gehele plastische vervorming, die enige tijd neemt, heeft voltrokken, zal de hoeveelheid energie totaal zijn overgedragen. Het plotselinge van de stoot gaat wat verloren, het wordt meer een duw. Het te beslijpen materiaal krijgt daardoor gelegenheid de opgevangen kracht over een groter area te verdelen met alle gevolgen van dien.

De energie, die verbruikt wordt om de cohaesiekrachten te overwinnen, zet zich in potentiële energie om, terwijl de hoeveelheid beweging, die bij de botsingen verloren gaat, zich in warmte omzet. **De warmteontwikkeling**, die bij het slijpen is waar te nemen, is echter voornamelijk afkomstig van de **wrijving** van het slijpmiddel en van de drager van het slijpmiddel (het bindmiddel bij slijpsteentjes, bij slijprubbertjes, bij papier-schijven, of het vilt bij vilt-schijven) langs het oppervlak, dat geslepen wordt. Deze wrijving en de daardoor veroorzaakte warmteontwikkeling moge bij het polijsten, zoals straks besproken zal worden, van nut zijn, bij het slijpen is het als een volkomen nutteloze en onaangename **bijkomstigheid** te waarmerken, die evenwel moeilijk te voorkomen is. In dit verband kan op een voordeel van het „zandstralen” boven het slijpen en boren gewezen worden, aangezien bij de eerstge-

noemde bewerking deze wrijving en de daardoor veroorzaakte warmtewerking volkomen achterwege blijven.

Bij het naar voren brengen van de noodzakelijkheid om bij gebruik van slijpsteentjes steeds **nat** te slijpen, wijst men op de afkoevende werking van het water en tevens op het eveneens zeer nuttige wegspoelen van het slijpsel door het water, waardoor het steentje niet door het slijpsel volgesmeerd wordt, hetgeen de wrijving aanzienlijk verhoogt en het steentje botter maakt. Niet minder belangrijk echter is bij het natslijpen de smerende werking van het water (dat een uitstekend smeermiddel is), waardoor de voor het slijpen nutteloze wrijving aanzienlijk verminderd wordt. Bovendien mag hier gedacht worden aan de hoge diëlectrische constante van water, waardoor bij zijn aanwezigheid de cohaesiekrachten, die van electrostatische aard zijn, aanzienlijk verminderen. Het toevoegen van de oppervlaktenspanning verlagende middelen aan het bij het slijpen gebruikte water bevordert het spoedig goed bevochtigen van de nieuw blootgelegde breukvlakken en ondersteunt daardoor de smerende werking van het water in deze. Sommige onderzoekers menen, dat bij de aanwezigheid van deze capillair-actieve stoffen het sneller doordringen van het water in de microscopische en submicroscopische scheuren en poriën van het te slijpen materiaal de cohaesiekracht-verminderende werking van het water wordt bevorderd.

De snelheid en de druk, waarmede het slijpdeeltje langs het oppervlak gewreven wordt, bepalen voor een belangrijk deel het effect van de slijpactie. Om aan het begrip **slijpeffect** enige vorm te geven, kan men daaronder het beste verstaan b.v. de hoeveelheid materiaal, die per eenheid van tijd afgeslepen wordt. Voor de tandheelkunde van het meeste belang is die vorm van aanwending der slijpmiddelen, waarin zij met behulp van een bindmiddel tot slijpsteentjes, papierschijven, slijprubbers, etc. zijn verwerkt.

De **lineaire snelheid**, waarmede een slijpdeeltje bij deze roterende slijpinstrumenten langs een oppervlak wordt bewogen, is rechtevenredig met het aantal omwentelingen en met het kwadraat van de diameter van het betreffende slijpinstrument. De hoeveelheid beweging, die zich achter een botsing van het oppervlak met een slijpdeeltje van een slijpsteentje met een grotere diameter stelt, is vanwege het groter traagheidsmoment van de roterende massa van een groter steentje meer dan bij slijpsteentjes met een kleinere

diameter (het aanloopkoppel en de massa van de rotor en de massa van de andere roterende delen der boormachine hebben daarop eveneens invloed).

Het slijpeffect (S) is dus een functie van het aantal toeren (n) van de boormachine, de diameter (d) van het slijpsteentje en de druk (p), die tegen het oppervlak wordt uitgeoefend, hetgeen in de volgende formule tot uiting kan worden gebracht: $S = f(n, d, p)$.

Een slijpactie gaat steeds vergezeld van een bepaalde warmteontwikkeling. Noemt men de hoeveelheid warmte, die ontwikkeld wordt, wanneer 1 milligram materiaal per tijdseenheid afgeslepen wordt, de **warmteontwikkeling W** , dan laat zich over deze grootte het volgende opmerken.

Deze warmtehoeveelheid is afhankelijk van de aard van het materiaal, dat geslepen wordt en van de aard van het slijpinstrument, dat men gebruikt. Voor de tandheelkunde van het meeste belang is het slijpen van de gebitselementen in de mond voor cavitets- of kroonpraeparaties met behulp van slijpsteentjes. Het te beslijpen materiaal is hier het tandweefsel en men gebruikt daarbij gewoonlijk de bekende diamant- of carborundumsteentjes.

Ook van de warmteontwikkeling (W) kan opgemerkt worden, dat deze toeneemt met het aantal toeren (n) van de boormachine, met de diameter (d) van het slijpsteentje en met de druk (p), die bij het slijpen wordt uitgeoefend. W is dus evenals het slijpeffect een functie van n , p en d , maar deze grootheden zullen daarin een ander onderling verband hebben. De warmteontwikkeling W is dus een andere functie van n , d en p dan de slijpactie S ; $W = f'(n, d, p)$ (n.d.p.). Bij het slijpen in de mond is men aan bepaalde grenzen gebonden. In de eerste plaats is de diameter (d) van de steentjes begrensd door de beschikbare ruimte in de mond en aan de warmteontwikkeling W is een physiologische grens gesteld door de gevoeligheid van de patiënt, of, bij het slijpen onder anaesthesie, door het gevaar voor thermische laesie van de pulpa. Het slijpeffect echter wil men om begrijpelijke redenen zo groot mogelijk houden. Het probleem bij het slijpen in de mond is dus om dusdanige waarden van n , d en p te gebruiken, waarbij $S = f(n, d, p)$ een **maximum** en $W = f'(n, d, p)$ een **minimum** is, dus $\frac{W}{S}$ moet zo klein mogelijk zijn.

De ervaring heeft hierop het antwoord moeten geven. Deze heeft geleerd, dat, alhoewel voor de verschillende soorten slijpmiddelen de meest gewenste lineaire snelheid uiteenloopt, deze snel-

heden zich voor alle slijpmiddelen groeperen om een orde van grootte van ± 25 meter per sec. Bij kleinere snelheid, dus bij minder omwentelingen van een slijpsteentje passeren per tijdseenheid minder slijpmiddeldeeltes het te bewerken oppervlak. De deeltes moeten dan, wil men hetzelfde slijpeffect behouden, ieder voor zich meer presteren, hetgeen bereikt wordt door de druk bij het slijpen te verhogen, waardoor het slijpend deelte dieper in het oppervlak gedrongen wordt. Dit heeft echter twee gevolgen.

In de eerste plaats wordt daardoor de wrijving, die immers met de druk toeneemt, verhoogd en bovendien zal de bindmiddelmatrix door het dieper doordringen van de deeltes in het oppervlak meer in contact kunnen komen met het te beslijpen oppervlak, hetgeen eveneens een toenemen van de wrijving met zich brengt. Door deze beide factoren neemt de warmteontwikkeling per milligram afgeslepen stof (per seconde) aanzienlijk toe.

In de tweede plaats worden bij een geringer aantal omwentelingen en de daardoor vereiste verhoging van de druk, het geringer aantal slijpdeeltes, dat het oppervlak per tijdseenheid passeert, ieder voor zich sterker mechanisch belast. Deze sterkere belasting kan dusdanige vormen aannemen, dat deze deeltes uit hun mechanisch verband in de bindmiddelmatrix losgerukt worden, hetgeen een slijtage van het slijpsteentje betekent.

De bovengenoemde lineaire snelheid van ± 25 m.p. sec. betekent voor slijpsteentjes met diameters zoals die in de mond gebruikt kunnen worden een toerental van ± 100.000 omwentelingen per minuut. Het toerental van de tandheelkundige boormachines overtreft als regel de 3500 omw. per min. niet, een aantal dus, dat veel kleiner is dan voor het slijpen gewenst is.

Hieruit volgt de voor de practijk van veel belang zijnde gevolgtrekking, dat men bij het slijpen in de mond de boormachine steeds zijn **hoogste toerental** moet laten geven.

Op de vraag, welke waarden voor het aantal omwentelingen (n), de diameter van het steentje (d) en de druk (p) bij het slijpen in de mond gekozen moet worden om de waarde van $\frac{W}{S}$ een minimum te doen zijn, kan dus reeds geantwoord worden, dat n het hoogste toerental van de boormachine moet zijn en d de grootste diameter, die bij het beschouwde geval toegepast kan worden. En wat betreft de waarde van p kan thans het volgende opgemerkt worden.

Nu voor het tandheelkundig slijpen vaststaat, dat het hoogste toerental, dat de boormachinemotor kan geven en de grootste steendiameter, die gebruikt kan worden, het meest gewenst zijn, wordt de beantwoording van de vraag, welke de meest gewenste druk is, die men bij het slijpen in de mond moet uitoefenen, eenvoudig. Men handhave onder alle omstandigheden zoveel mogelijk het hoogste toerental en voert de druk daarom niet zo hoog op, dat dit toerental door afremming terugvalt. Als de warmteontwikkeling te groot is, vermindert men de druk en niet het toerental.

Zolang de motor zijn hoogste toerental kan handhaven, kan men de druk opvoeren. Men vergroot daardoor de waarde van S , waar het bij dit slijpen toch feitelijk om te doen is, maar men verhoogt daarmee ook de waarde van W . De bepalende factor voor de druk is hier de physiologische grens van W , die men door goede koeling met water en zo nodig door intermitterend slijpen kan tegemoet komen. Bij een te grote warmteontwikkeling verminderde men echter niet het toerental van de boormachine, maar uitsluitend de druk.

Ook in de gevallen, waarbij aan de warmteontwikkeling W geen physiologische grens gesteld is, b.v. bij het slijpen aan gedevitaliseerde elementen, moet men om sneller te willen slijpen de druk nooit zo hoog opvoeren, dat het toerental gaat terugvallen. Het slijpeffect S blijft bij het slijpen in de mond onder alle omstandigheden een maximum bij het hoogst mogelijke toerental van de boormachine. Bovendien is dan de slijtage van de slijpsteentjes het geringste.

Wat betreft de vorm van het slijpmiddel behoeft het feitelijk geen betoog, dat deeltjes met scherpe hoeken en kanten effectiever werken, omdat bij hen de kans op plaatselijke dosering van voldoende energie, om de cohaesie lokaal te kunnen overwinnen, groter is. Grove slijpdeeltjes zijn steviger in het bindmiddel van de steentjes te bevestigen, zodat zij bij verhoging van de druk gedurende het slijpen minder snel uit hun verband gerukt zullen worden, waardoor de steentjes minder snel slijten. Doordat zij met een grotere druk kunnen worden gebruikt en dieper in het oppervlak kunnen dringen, is het slijpeffect bij grove slijpmiddelen groter.

De bovenstaande beschouwingen gelden voor het slijpen van de tandweefsels in de mond, bij welke bewerking door de warmteontwikkeling grenzen gesteld worden.

Andere materialen stellen weer andere eisen aan een doelmatig

slijpen en terugkomende op het in de tandheelkunde eveneens van belang zijnde slijpen aan porceleinen tanden, wordt hierover nog het volgende opgemerkt. De beperkende factor hier is het gevaar voor het ontstaan van diepergaande scheuren en barsten in het brossse materiaal. In de eerste plaats moeten, om dit gevaar te verminderen, zeer goed **gecentreerde** slijpsteentjes gebruikt worden. De slagen en stoten van niet gecentreerde steentjes vermeerderen de kans op het ontstaan van barsten aanzienlijk en in dit verband wijst zich het gebruik van slijpstenen met niet te grote diameter als juist aan. De steentjes mogen een niet te grof slijpmiddel hebben; de in de tandheelkunde gebruikte diamantsteentjes zijn voor dit slijpen te grof. Fijne carborundumsteentjes, waarvan het bindmiddel zich begeeft als men te veel kracht zou uitoefenen, zijn hier gewenst. Omtrent de warmteontwikkeling valt bij het slijpen aan porceleinen tanden op twee elkaar tegenwerkende factoren te wijzen. De plaatselijke warmteontwikkeling is bij dit, de warmte slecht geleidende, materiaal groot. Dit heeft tot gevolg, dat het brossse, amorfe materiaal bij de hoge temperaturen van de aanrakingspunten, plastischer wordt, hetgeen een gunstiger spanningsverdeling bij het afscheuren van het materiaal met zich brengt en het gevaar voor het ontstaan van barsten in de naaste omgeving vermindert. Te veel opeenhoping van warmte aan het bewerkte oppervlak echter geeft aanleiding tot spanningen, die een barst in het materiaal kunnen veroorzaken, zoals dit b.v. ook gebeurt bij glas, waarvan het oppervlak snel verwarmd wordt. Deze barsten ontstaan niet altijd direct, maar kunnen na verloop van enige tijd alsnog plotseling optreden. Vooral daar hier slijpsteentjes met fijne slijpmiddelen gebruikt moeten worden, waardoor de wrijving van de bindmiddelmatrix veel tot de warmteontwikkeling bijdraagt, is bij porceleinen tanden nat slijpen gewenst. De daardoor veroorzaakte koeling, die voor een groot deel op de vermindering van de wrijving door smering berust, kan ook bereikt worden, indien in plaats van water olie of vaseline gebruikt wordt.

§ 5. *Het boren*

Voor het boren en frezen zijn soortgelijke beschouwingen te geven als voor het slijpen, maar de voor de klinische tandheelkunde van zoveel belang zijnde mechanische technologie van deze bewerking der tandweefsels ligt buiten het bestek van dit geschrift.

Met het maken van slechts enkele opmerkingen zal hier worden volstaan.

Ook bij boren en frezen komt het er op aan plaatselijk voldoende energie te kunnen doseren om de cohaesiekracht over een klein oppervlak te kunnen verbreken.

De scherpte en de hardheid van de snijdende bladen van de boor zijn in de eerste plaats nodig om zeer plaatselijk voldoende energie ter beschikking te hebben om door het oppervlak te kunnen dringen. Aan het blad van de boor is voor dit doel een zekere spoed rond de as van de boor gegeven, waardoor het binnendringen door het oppervlak een snijdende beweging krijgt. Aan het snijden, waarbij het wigvormige boorblad als een wig in het materiaal gedreven wordt, ligt feitelijk een afscheuren ten grondslag. Het scheuren berust in wezen op het zich plaatselijk in het materiaal concentreren van de aangewende kracht, doordat op de bodem van de scheur, dus over een zeer klein oppervlak, de aangewende kracht wordt opgevangen. Bij het bewegen van de boor door en langs het materiaal treedt een aanzienlijke frictie op, die bij het toenemen van de druk waarmede de boor tegen het materiaal gehouden wordt, groter wordt en dus een grotere warmteontwikkeling ten gevolge heeft.

Diepergaande beschouwingen over hetgeen er gebeurt als een spaan door een boorblad van het materiaal afgescheurd wordt, brengen een tijdsfactor naar voren, waardoor aan de rotatiesnelheid van de boor een grens wordt opgelegd. Aan de andere zijde echter mag deze snelheid niet te klein worden, aangezien het materiaal dan te veel gelegenheid heeft om de plaatselijke spanningen over een groter oppervlak te verdelen.

Voorlopig is men voor de beantwoording van de vraag met welk toerental, met welke druk en met welke vorm van boor of frees men het beste uitkomt bij de tandheelkundige behandelingen, voornamelijk aangewezen op de ervaring van de clinicus in deze. Het meest gewenste toerental ligt volgens die ervaring voor het boren, en dit in tegenstelling met het slijpen, beneden het maximum toerental van de tandheelkundige boormachine. Ook aan de diameter van de boor zijn minder beperkingen gesteld dan bij de slijpsteentjes, want de beschikbare ruimte in de mond is voldoende om de grootst mogelijke boor, die de tandarts uit zijn assortiment van boren kan kiezen, te kunnen gebruiken. Het probleem, welke de meest gewenste diameter, het juiste toerental en de beste druk

is om een zo gunstig mogelijke combinatie van het booreffect en de warmteontwikkeling te krijgen, is daarom bij het tandheelkundig boren ingewikkelder dan bij het slijpen. Daar komt bovendien nog bij, dat de vorm van de boor (fisseur, omgekeerd conisch, rond, al of niet met „Querhieb”) hierop eveneens invloed heeft.

Slechts over de warmteontwikkeling bij het boren dient hier nog het een en ander te worden opgemerkt, aangezien bij het boren een materiaalfactor mede in het spel is, die bij het slijpen niet betrokken is. Reeds bij 120° namelijk begint door structuurwijzigingen het staal, waaruit de boor vervaardigd is, zijn hardheid te verminderen, met alle nadelige gevolgen van dien. De snijkanten van de boor zijn dan niet meer in staat bij het in aanraking komen met het oppervlak de grote hoeveelheid energie plaatselijk over te dragen, maar vervormen zich onder invloed van de daarbij optredende krachten. De boor wordt bot en allengs is er dan niet meer van boren te spreken, maar eerder van bruneren. De neiging om met een botte boor toch effect te willen bereiken door de druk te verhogen, heeft geen zin. De boor dringt niet meer in het oppervlak en scheurt dus geen spanen meer af, maar slijpt slechts een weinig met de hier en daar uitstekende kanten van zijn vervormde snijkanten. De boor fungeert dan als een zeer gebrekkig slijpinstrument met een grote warmteontwikkeling. De wrijving bij het boren is relatief groter dan bij het slijpen en drukverhoging bij het boren heeft dan ook een sterke vermeerdering van de wrijving en de daardoor veroorzaakte warmteontwikkeling tot gevolg.

§ 6. *Het zandstralen (airbrasive)*

Alhoewel het feitelijk een weinig buiten het bestek ligt van de hier behandelde stof, rechtvaardigt het actuele van het onderwerp enige opmerkingen over „airbrasive”.

In het bovenstaande werd enige malen het werkwoord „zandstralen” voor deze bewerking gebruikt. Of dit een juiste Hollandse benaming ervoor is, wordt hier in het midden gelaten. Wenselijk is in ieder geval, dat er een Hollands woord voor gevonden wordt. Airbrasive is een samenvoeging van air (lucht) en abrasive (slijpmiddel). Nu is voor deze bewerking de toevoeging air aan airbrasive al even onjuist als het zand bij zandstralen, want bij de vorm, waarin de bewerking bezig is zich in de tandheelkunde aan te dienen, wordt noch van lucht noch van zand gebruik gemaakt.

Met een **stroom** CO₂, waarvan men de werkdruk tot 5 atmosfeer

laat oplopen, wordt poedervormig, kunstmatig **korund** (Al_2O_3) met een deeltjesgrootte van $\pm 30 \mu$ door een **straalpijp** (diameter $\pm 0,5$ mm), vervaardigd uit een zeer hard materiaal (wolf-ram of tungsteencarbide, chemische formule, WC) tegen het te bewerken materiaal geblazen (zie fig. 84, ontleend aan Robert D. Black J. A. D. A. 1950, blz. 701).

De deeltjes krijgen daarbij een **snelheid**, die boven die van het geluid gelegen is (330 meter per seconde). Door hun grote hoeveelheid kinetische energie, die door een klein materiaaloppervlak wordt opgevangen, schieten de scherpe en zeer harde korundpartikels (Mohs hardheid 9) brokjes uit het te bewerken oppervlak.

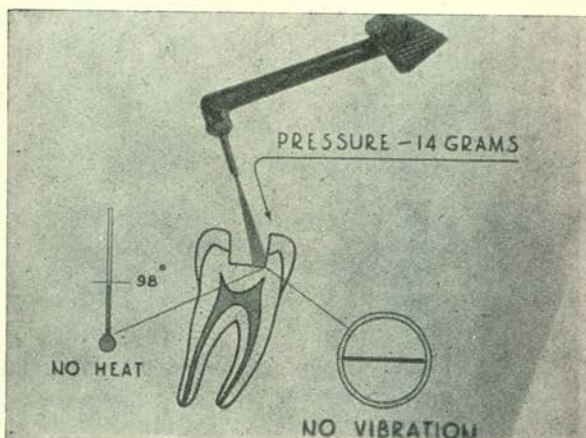


fig. 84

Men heeft bij deze bewerking alleen succes bij harde, min of meer brosse materialen. Op veerkrachtige of meer plastische oppervlakken (b.v. het mondslijmvlies) wordt geen effect bereikt, omdat daarbij de energiestoot bij de botsing zich over een groter materiaaloppervlak verdeelt. Evenmin heeft men succes, wanneer een vochtlaag op het oppervlak als een stootkussen de felheid van de botsing vermindert.

Door wijzigingen in de werkdruk van het voortstuwende gas, door vermindering van het aantal slijpdeeltjes, dat per seconde meegevoerd wordt en door verandering van de afstand tussen de straalpijp en het oppervlak, kan men het effect van de bewerking regelen. Dit wordt schematisch door fig. 85 en meer in werkelijkheid door fig. 86 aangegeven, welke beide figuren eveneens aan voornoemde artikel van Black ontleend zijn.

Worden in plaats van het harde korund zachtere slijpmiddelen gebruikt, dan zullen deze bij hun botsing tegen een harder oppervlak hetzij verbrijzeld, hetzij plastisch vervormd worden. In beide gevallen zal de energiestoot op en in het materiaal over een groter

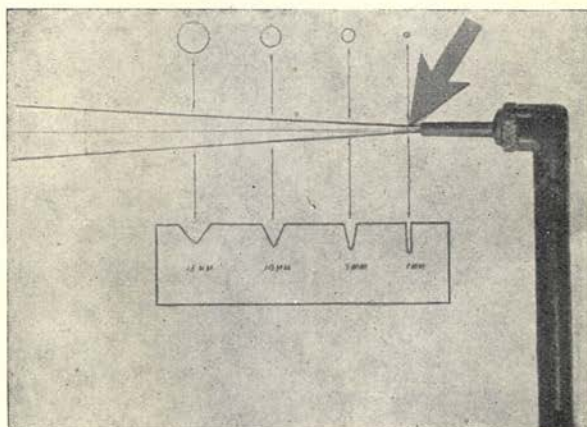


fig. 85

oppervlak verdeeld worden en zal door vermindering der daarbij optredende spanningen de cohaesie plaatselijk niet verbroken kunnen worden. Zachtere slijpmiddelen kan men in deze dan ook

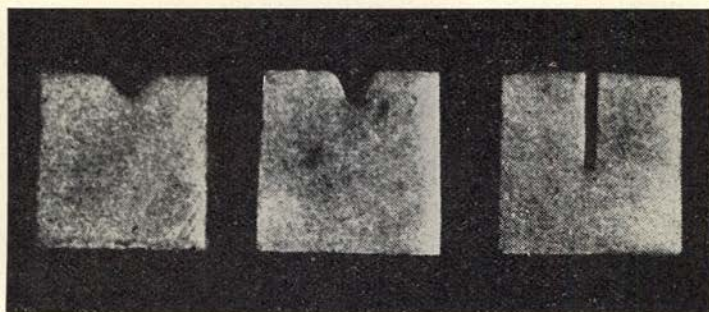


fig. 86

gebruiken om aanslagen op tanden, b.v. tandsteen, die minder hard zijn dan het tandweefsel, van het tandoppervlak te verwijderen zonder dit te beschadigen.

Aan de publicatie van R o b e r t D. B l a c k, de auctor intellectualis van de zandstraal-methode in de tandheelkunde, zijn ook

de interessante gegevens van fig. 87 ontleend, die het aantal milligrammen glazuur vermelden dat per 20 seconden door „airbrasive”, door slijpen met diamant, door slijpen met carborundum en door boren verwijderd wordt.

Uit deze gegevens blijkt duidelijk, hoe effectief het tandweefsel met deze methode te bewerken is en dat het boren en slijpen in deze overtroffen worden. Het feit, dat met de lichtere gasen als waterstof, helium en zuurstof een groter effect wordt bereikt, is ongetwijfeld toe te schrijven aan het lagere moleculair-gewicht van deze

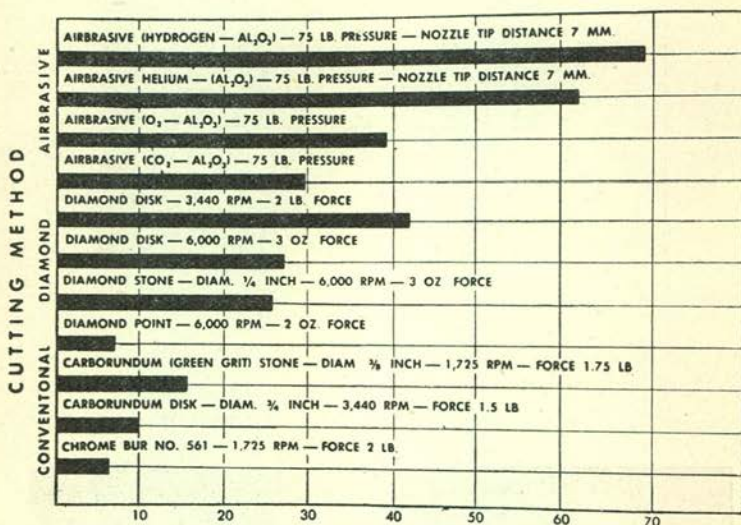


fig. 87

gasen dan van CO_2 , waardoor bij gelijke werkdruk en gelijke straalpijp-opening de uitstroomsnelheid en daarmee de energie der deeltjes groter is. Dat tenslotte de keuze op het zwaardere CO_2 gevallen is, schijnt hoofdzakelijk gebeurd te zijn om redenen, die in verband staan met het practisch algemeen doorvoerbaar maken van deze methode. (Samengeperste lucht schijnt o.a. om zijn vochtgehalte niet toegepast te kunnen worden).

De grote voordelen van het „zandstralen” boven het slijpen en boren van gebitselementen zijn: het niet optreden van wrijvingswarmte, het practisch ontbreken van druk op het te behandelen element en het achterwege blijven van de vibraties, die inhaerent zijn aan de roterende slijp- en boorinstrumenten en die door

beengeleiding zo hinderlijk en enerverend voor de patiënt zijn.

Het zou een grote uitkomst zijn voor de tandheelkunde als deze methode zich tot een algemeen doorvoerbaar zou kunnen ontwikkelen.

§ 7. *Het polijsten*

Indien een oppervlak na het slijpen gepolijst moet worden, dan beëindigt men het slijpen door het gebruiken van steeds fijnere slijpmiddelen. Bereiken daarbij de krassen, die het slijpmiddel maakt, dusdanige microscopisch kleine afmetingen, dat zij een op het oppervlak vallende lichtstraal regelmatig en niet meer verstrooid terugkaatsen, dan krijgt het oppervlak inderdaad een gepolijst aanzien. Daartoe moeten echter de krassen op het oppervlak klein zijn ten opzichte van de golflengte van het zichtbare deel van het spectrum, waarvan de golflengten gelegen zijn tussen 0,4 en 0,8 μ .

Men kan hier in analogie wijzen op hetgeen er bij het terugkaatsen van veerkrachtige ballen waar te nemen is. Als men b.v. op het wegdek van een autoweg, waarvan het oppervlak wat ruw gelaten is om het slippen te voorkomen, een zeer grote bal, b.v. een strandbal laat terugkaatsen, dan zullen daarbij practisch geen afwijkingen van de wetten der terugkaatsing optreden. Neemt men echter een klein ping-pong-balletje, voor welks afmetingen de oneffenheden van het wegdek vrij groot zijn, dan kan dit balletje bij het terugkaatsen rare sprongen maken. Een stroom van ping-pongballen, die men achter elkaar onder dezelfde hoek tegen het wegdek werpt, zal na het terugkaatsen verstrooid blijken te zijn, d.w.z. niet alle ballen zullen onder dezelfde hoek zijn teruggekaatst.

Zo ook bij de terugkaatsing van licht. Zijn de onregelmatigheden klein t.o.v. de golflengte, dan zal de regelmatige terugkaatsing niet gestoord worden. Een oriëntering omtrent de orde van grootte der krassen, die in deze toelaatbaar is, geeft o.a. het oplossend vermogen van het microscoop. Deeltjes kleiner dan 0,2 μ (2000 ÅE) storen (verstrooien) de rechtlijnige gang van een lichtstraal niet meer. (T. v. T. Sept. 1950 blz. 669). De onregelmatigheden van 100—1000 ÅE, die men aan gepolijste oppervlakken heeft kunnen waarnemen, zoals bij de bespreking der wrijving is opgemerkt, liggen beneden deze waarde en hebben dus geen invloed op het gepolijste aanzien van een oppervlak. Worden de onregelmatigheden groter, zodat er verstrooiing gaat optreden, dan zal het licht met de kleinste golflengte (het blauw) het eerste en het sterkste verstrooid worden. Deze grotere verstrooiing van het blauw, waar-

aan o.a. de hemel zijn blauwe kleur te danken heeft (verstrooiing van het licht door de in het heelal zwevende deeltjes cosmische stof), kan men soms ook waarnemen aan niet geheel afgepolijste oppervlakken van sommige materialen. Er demonstreert zich dan een blauw waas over het oppervlak. Ook bij emulsies, b.v. bij verdunde, afgeroomde melk, kan men de blauwachtige tint, door verstrooiing veroorzaakt, waarnemen en dit brengt het tandheelkundig porcelein in gedachten. Dit bestaat uit een glasachtige, doorzichtige matrix, waarin als suspensie een fijn verdeelde kristallijne phase met een andere brekings-index dan deze matrix voorkomt. Door deze deeltjes wordt het door de transparante matrix binnendringende licht verstrooid en als wit licht teruggekaatst, waarbij onder sommige omstandigheden de grotere verstrooiing van het blauw een blauwachtige tint aan het porcelein kan geven.

Terugkerende tot het polijsten moet opgemerkt worden, dat de vroeger veelal gehuldigde opvatting niet juist is, dat een gepolijst oppervlak verkregen wordt door de slijpkrassen microscopisch klein te maken en dat er dus tussen slijpen en polijsten slechts een gradueel verschil zou bestaan. De in het voorafgaande gegeven beschouwingen ondersteunden inderdaad een dergelijke opvatting.

De volgende eenvoudige waarneming toont echter aan, dat deze opvatting niet juist is. Als een gepolijst metaaloppervlak geëtst wordt, b.v. door het laten inwerken van een zuur, dan treden daarop weer aan de dag meerdere van de diepe groeven, die bij het voorafgaande slijpen daarop gemaakt waren. De grovere krassen blijken dus niet door submicroscopische krassen vervangen te zijn bij het polijsten.

De thans meest aanvaarde en waarschijnlijk ook juiste opvatting van het polijsten is, dat onder de invloed van de wrijvingswarmte aan het materiaaloppervlak plastische vervormingen plaats hebben, waarbij een **amorfe laag** ontstaat, die over het oppervlak uitgestreken wordt en daarbij de oneffenheden (diepe krassen) opvult. De dikte van deze laag, die de naam van **Beilby-laag** draagt, kan tot enige tientallen Ångström eenheden aangroeien.

Na hetgeen bij de bespreking van de wrijving is opgemerkt over de hoge temperaturen, die plaatselijk kunnen optreden, is het begrijpelijk, dat onder invloed van die temperaturen het materiaal aan zijn oppervlak plaatselijk kan smelten of althans gemakkelijker plastisch vervormbaar wordt. Materialen, die bij gewone temperaturen uiterst bros zijn, zoals glas en porcelein, worden door de hoge

temperaturen op hun aanrakingspunten plastisch vervormbaar. Vooral bij materialen, die slechte warmtegeleiders zijn, loopt de temperatuur aan de aanrakingspunten hoog op. Ook een deeltje van het polijstmiddel ondergaat een grote vermindering van zijn hardheid door de plaatselijk hoge temperaturen, waarin het ten volle deelt.

Bij het polijsten maakt men gebruik van roterende viltschijven, borstels, rubber-napjes, enz., waarop, meestal met behulp van een vetachtig vehikel, het polijstmiddel aangebracht wordt.

Het is niet zo zeer de warmteontwikkeling van de wrijving van de viltschijf etc. over het oppervlak, die bij het polijsten van het grootste belang is. Deze warmteontwikkeling is niet plaatselijk genoeg. De polijstdeeltjes op de viltschijf werken in deze veel plaatselijker en bovendien zijn het deze deeltjes, die door hun grotere vastheid dan de viltlaag bij hun botsing de plastisch gemaakte, uitstekende aanrakingspunten vervormen.

Dat bij het polijsten geen water gebruikt moet worden om te koelen, behoeft feitelijk geen betoog. Als water hier gebruikt wordt, dan dient het voor het aanmaken van het polijstmiddel tot een papje, dus als vehikel om het polijstpoeder op de roterende polijst-instrumenten te kunnen brengen. Te grote druk moet men bij het polijsten niet gebruiken, aangezien daardoor het werkelijk polijstende agens, het polijstpoeder, dat maar zeer losjes aan de polijst-vilten etc. bevestigd is, te veel weggeperst zou worden.

Amorfe stoffen zijn alle goed te polijsten, hetgeen begrijpelijk is aan de hand van de theorie, dat het polijsten bestaat uit het vormen van een amorfe laag over het oppervlak.

Bij kristallijne stoffen hangt veel af of men met goed plastische, vervormbare kristallen, zoals bij vele metalen, te maken heeft, dan wel met brosse kristallen, veelal van anorganische oorsprong.

Moeilijkheden bij het polijsten kunnen materialen geven, die opgebouwd zijn uit een mengsel van verschillende amorfe en/of kristallijne stoffen met elkaar. Bij de tandheekkundige materialen zijn daarvan voorbeelden: porcelein, cement en metaallegeringen. Hierbij hangt veel af of er grote verschillen bestaan in de hardheid en de plasticiteit tussen de aan het oppervlak naast elkaar voorkomende stoffen.

Bij het silicaatcement b.v. zijn naast elkaar aanwezig deeltjes van fijngemalen melkglas gelegen in een transparante, amorfe, anorganische gelphase, die veel zachter is. Het is niet mogelijk een

dergelijk oppervlak te polijsten. De gelphase slijt bij iedere poging tot polijsten veel sneller weg dan de harde glaspartikels, die daardoor boven het niveau van de matrix komen te liggen. Het beste dat men hier nog bereiken kan, is het afwerken van zo'n oppervlak te beëindigen met een uiterst fijn slijpmiddel onder aanwending van weinig druk. Toch kan, zij het langs een geheel andere weg, bij een silicaatcementvulling een prachtig gepolijst oppervlak verkregen worden. Dan moet men bij het leggen van de vulling de celluloid strip zo weten aan te leggen, dat het oppervlak na het verharden van het cement reeds de gewenste contouren heeft en dus niet verder bewerkt behoeft te worden. Onder de druk van de celluloidstrip op de nog plastische cementmassa wordt de nog vloeibare, maar na de verharding amorfe phase uit de massa naar buiten gedrukt en verhard (gelatineerd), prachtig glanzend tegen het gladde oppervlak van de strip.

In porcelein zijn naast elkaar aanwezig een glasachtige amorfe phase en een kristallijne phase. Deze verschillen niet zo zeer in hardheid als de bestanddelen bij silicaatcement. Bij porcelein kan men dan ook met voorzichtig polijsten (na een zorgvuldig voorslijpen met een fijn slijpmiddel) meer bereiken dan bij het silicaatcement, doch de hoge glans van een opgebakken glazuurlaag evenaart men er niet mede.

Bij metaallegeringen heeft men met polykristallijne stoffen te maken, waarin naast elkaar kristallieten van verschillende metalen voorkomen. Dat metalen en hun legeringen goed te polijsten zijn, vindt zijn verklaring in het feit, dat het hier als regel plastisch goed vervormbare kristallen betreft. De aan het oppervlak uitstekende kristallieten worden door de warmtewerking en de druk bij het polijsten plastisch vervormd. In de kristallieten ontstaan bij deze plastische vervormingen spanningen, die door de daarbij optredende versteviging het metaaloppervlak harder maken. De plastische vervormingen in de kristallieten kunnen zich tot 200 à 300 ÅE diepte in het materiaal uitbreiden. Aan het oppervlak zelf vormt zich de 20 à 30 ÅE dikke amorfe **Beilby-laag**, die over de oneffenheden uitgestreken wordt en de krassen zowel als de micro-poriën (door krimpung bij het gieten ontstaan) en andere onregelmatigheden (dislocaties) opvult. Het oppervlak krijgt daardoor betere mechanische eigenschappen dan de rest van het metaal. Vooral bij gegoten metalen, waarin nog veel microporiën enz. voorkomen, ondergaat het oppervlak door de plastische deformaties, die het polijsten

vergezellen, een kwaliteitsverbetering. In dit verband is ook het bruneren van metaaloppervlakken te vermelden. Hierbij wordt met de stompe bruneerinstrumenten krachtig over het metaaloppervlak gewreven, waarbij door de plastische vervormingen, die daarvan het gevolg zijn, de micro-poriën, enz. opgevuld en dichtgewreven worden, hetgeen dus eenzelfde effect geeft als bij het polijsten wordt bereikt. Uit de aard der zaak kan het bruneren slechts met succes toegepast worden bij metalen, die uit zichzelf reeds behoorlijk plastisch zijn, aangezien bij deze bewerking de plaatselijk hoge temperaturen, die voor het polijsten kenmerkend zijn, niet in die mate optreden en dus minder te hulp komen bij het plastisch deformeren van het oppervlak. Het brossen zilveramalgaam b.v. leent er zich dan ook niet toe om gebruneerd te kunnen worden, maar kan wel goed gepolijst worden.

Bij legeringen komen in de amorfe Beilby-laag de atoomsoorten van de verschillende legeringscomponenten moleculair dispers naast elkaar voor en de meest plastische van deze componenten zal in de amorfe laag in het grootste percentage aanwezig zijn. De verschillende naast elkaar liggende kristallietsoorten van een materiaal worden bij het polijsten door de gevormde Beilby-laag van contact met de omgeving afgesloten. Hierdoor wordt de mogelijkheid voor de vorming van micro-elementen geringer en vermindert de kans op corrosie. Hetzelfde kan opgemerkt worden ten aanzien van de in corrosie-opzicht zwakke kristallietgrenzen. Vermeld moet worden, dat door de inwendige spanningen in de door plastische deformaties gevormde Beilby-laag, de potentiaal daarvan minder edel zal zijn dan van de oorspronkelijke kristallieten. Bij een beschadiging van de Beilby-laag zal deze, als de mogelijkheden voor corrosie aanwezig zijn, dan ook anodisch kunnen worden aangetast, ware het niet, dat, zoals vermeld, de kristallieten direct onder de Beilby-laag eveneens plastisch vervormd zijn en daardoor een potentiaalverlaging demonstreren.

Voor de amorfe kunststoffen betekent het polijsten van hun oppervlak al evenzeer een kwaliteitsverbetering van het oppervlak. Bij hun polymerisatie vormen zich ook bij deze materialen micro-poriën en andere onregelmatigheden, die door de vorming van de aaneengesloten laag aan het oppervlak bij het polijsten afgesloten worden. Het materiaal wordt daardoor minder doordringbaar voor de mondvlloeistof, hetgeen een bevordering van de hygiëne betekent.

Het polijsten verhoogt het cosmetische aanzien van de materialen, maakt ze om verschillende redenen hygiënischer in het gebruik en verbetert de mechanische eigenschappen van hun oppervlak. Het polijsten is dan ook een voor de tandheelkunde belangrijke bewerking te noemen. Hetzelfde kan opgemerkt worden over het slijpen, het boren en het „zandstralen”. Dit is er dan ook de rechtvaardiging van, dat in het bovenstaande aan deze bewerkingen enige aandacht geschonken is.

(Wordt vervolgd)