

## Tandheelkundige Materiaalkennis

door J. N. Tekenbroek.

(Vervolg)

### HOOFDSTUK XII

#### § 1. Slijpen, Polijsten, Boren, Zandstralen (airbrasive)

Het slijpen en polijsten zijn bewerkingen, die zowel in de tandtechniek als bij de behandeling van patiënten veel worden toegepast.

Slijpen is vrij goed te definiëren als het door middel van wrijving afslijten van een materiaaloppervlak. Van polijsten is minder gemakkelijk een goede definitie te geven; het is wel eenvoudig om aan te geven, wat een gepolijst oppervlak is. Dat is namelijk een oppervlak, dat het licht regelmatig en niet verstrooid terugkaatst.

Het is niet alleen, omdat een gepolijst oppervlak een **fraaiër cosmetisch** aanzien heeft, dat de herstellingen in de mond zorgvuldig worden gepolijst. Aan een gepolijst oppervlak hechten zich **minder** gemakkelijk **verontreinigingen**, waardoor de **hygiëne** in de mond wordt bevorderd, terwijl bovendien een gepolijst oppervlak het mondslijmvlies minder irriteert dan een ruw oppervlak. Tenslotte kan opgemerkt worden, dat een gepolijst oppervlak als regel **minder aantastbaar** is en ook **betere mechanische eigenschappen** heeft (o.a. harder is), dan een ongepolijst oppervlak. Bekend is, dat porcelein, waarover een glazuurlaag gebakken is, door het mondslijmvlies goed verdragen wordt. Dit is te danken aan de gladheid van het geglazuurde oppervlak, want ongeglaazuurd porcelein, dat een ruw oppervlak heeft, is op den duur niet minder hinderlijk voor het mondslijmvlies dan alle andere ruwgelaten oppervlakken. Wel heeft porcelein in deze door zijn grote

hardheid en chemische onaantastbaarheid het voordeel, dat zijn geglazuurd oppervlak door krassen of anderszins niet spoedig ruw wordt, hetgeen bij andere materialen veelal wel het geval is.

De weerstand, die ondervonden wordt, wanneer twee materiaaloppervlakken langs elkaar gewreven worden, **de wrijving**, speelt een voorname rol bij de hier te bespreken bewerkingen. Het door de patiënt zo zeer gevreesde boren in de tandheelkunde is technologisch beschouwd meer frezen te noemen en tussen frezen en slijpen bestaat geen essentieel, doch slechts een gradueel verschil, vooral bij een hard en weinig plastisch vervormbaar materiaal als het tandweefsel en de hoge snelheden, die bij het boren in de tandheelkunde gebruikt worden. Als in de toekomst de tandheelkundige boor nog eens door de „zandstraal” vervangen wordt, zullen de wetenschappelijke grondslagen, waarop de hier te bespreken bewerkingen berusten, zich van zelf meer op de voorgrond gaan dringen.

Voor de wetenschappelijke verheffing van de conserverende tandheelkunde zal aan de mechanische technologie van het boren, frezen, slijpen, enz. meer aandacht geschonken moeten worden. Bij de mechanische bewerking der harde tandweefsels doen zich vele problemen voor, waarop men dieper zal moeten ingaan dan thans het geval is. Ongetwijfeld zal dit er toe kunnen bijdragen om het onaangename van de tandheelkundige behandeling nog eens te kunnen verzachten, hetgeen de grootste vooruitgang zou zijn, die men de tandheelkunde kan toewensen. Dit moge er de rechtvaardiging van zijn, dat enigszins uitvoeriger dan tot nu toe in de tandheelkunde gebruikelijk was, de verschillende problemen, die zich bij de hier te bespreken bewerkingen opdringen, naar voren worden gebracht.

Met een **harder** materiaal kan men het oppervlak van een **zachter** materiaal krassen en het ligt voor de hand, dat men met een poeder van een harder materiaal het oppervlak van een zachter materiaal kan slijpen. Toch moet men voorzichtig zijn met zijn oordeel in deze en eveneens met de voor de hand liggende mening, dat met een zachter materiaal het oppervlak van een harder materiaal mechanisch niet aangetast kan worden. Men denke slechts aan het feit, dat een geweerkogel (van het zachte lood) afgeschoten op een metalen plaat het veel hardere oppervlak daarvan doordringt. De hardheid, die bij slijpen, enz. een rol speelt, is niet zonder meer de hardheid, die men b.v. volgens **Brinell** kan be-

palen. Voor wetenschappelijke beschouwingen op dit gebied zal men bij de hardheid mede een energiefactor moeten betrekken, waardoor rekening gehouden wordt met de snelheid of juist gezegd met de hoeveelheid beweging, waarmede het ene materiaal het andere treft. Dat dit probleem vooral op de voorgrond staat bij het „zandstralen”, dat zich voor tandheelkundige toepassing thans in Amerika in een vergevorderd experimenteel stadium bevindt, is begrijpelijk.

De volgende waarneming wijst er eveneens op, dat bewerkingen als slijpen, enz. door eenvoudige hardheidsbeschouwingen theoretisch niet voldoende juist benaderd kunnen worden. Met een carborundumsteen, waarmede het harde tandglazuur zo effectief te slijpen is, heeft men bij een materiaal, b.v. waaruit een massieve rubberbal vervaardigd is, weinig slijpend succes. Naast de hardheid van een oppervlak spelen ook **andere mechanische eigenschappen** o.a. **de plasticiteit** en **de elasticiteit** een belangrijke rol bij de hier te bespreken bewerkingen.

Zoals hierboven reeds werd opgemerkt, heeft de weerstand, die ondervonden wordt als twee materialen langs elkaar gewreven worden, de wrijving, grondleggende betekenis voor het slijpen en polijsten. Een korte beschouwing over moderne inzichten omtrent wrijving is daarom hier van nut.

## § 2. *Wrijving*

Wanneer twee voorwerpen, waarvan de oppervlakken ruw gelaten zijn, over elkaar gewreven worden, dan zal de weerstand, die daarbij ondervonden wordt, voornamelijk veroorzaakt worden door de mechanische hindernissen, die overwonnen moeten worden en die het gevolg zijn van het in elkaar grijpen van de grove ruwheden der beide oppervlakken. Deze weerstand is weinig specifiek voor de aard van de materialen, die men langs elkaar wrijft, maar hangt hoofdzakelijk af van de vorm en de diepte der aanwezige oneffenheden.

Zijn echter beide oppervlakken op elkaar ingeslepen, zodat de voornoemde mechanische retenties zich niet meer kunnen voordoen, dan blijft zich bij het over elkaar wrijven van oppervlakken toch een weerstand manifesteren. Deze weerstand is de wrijving, die wel **specifiek** is voor een materiaal en de belangrijke vraag dringt zich op: hoe heeft men zich de oorzaak van deze wrijvingsweerstand voor te stellen?

Er zijn twee **hoofdwetten**, die de wrijving beheersen en het was reeds **L e o n a r d o d a V i n c i**, die aan het einde der vijftiende eeuw daaromtrent een vermoeden uitsprak.

De **eerste wet** zegt, dat de wrijving onafhankelijk is van de grootte der oppervlakken, die langs elkaar bewogen worden en de **tweede wet** luidt, dat de wrijving rechtevenredig is met de kracht, waarmede de oppervlakken tegen elkaar aangedrukt worden.

In de loop der jaren is de nodige twijfel aan de juistheid van deze beide wetten naar voren gebracht, doch het moderne onderzoek heeft de juistheid ervan bevestigd. Ook het vermoeden, dat later door **C o u l o m b** ( $\pm 1800$ ) is uitgesproken, dat wrijving iets te maken moet hebben met de adhaesie tussen de oppervlakken, is hierbij als juist bevestigd.

Het is uitermate lastig om volkomen vlakke en gladde oppervlakken te maken, tenminste als men daarbij een maatstaf gaat aanleggen, ontleend aan atomaire dimensies. Een met de fijnste thans ten dienste staande technische hulpmiddelen vlakgemaakt oppervlak vertoont bergen en dalen, die zeer hoog en diep te noemen zijn t.o.v. de afmetingen der atomen.

De bijgaande fig. no. 79, ontleend aan een publicatie van **B o w d e n** in het Augustusnummer van *Nature* 1950, geeft een indruk van de onregelmatigheden, aanwezig op een koperoppervlak, dat

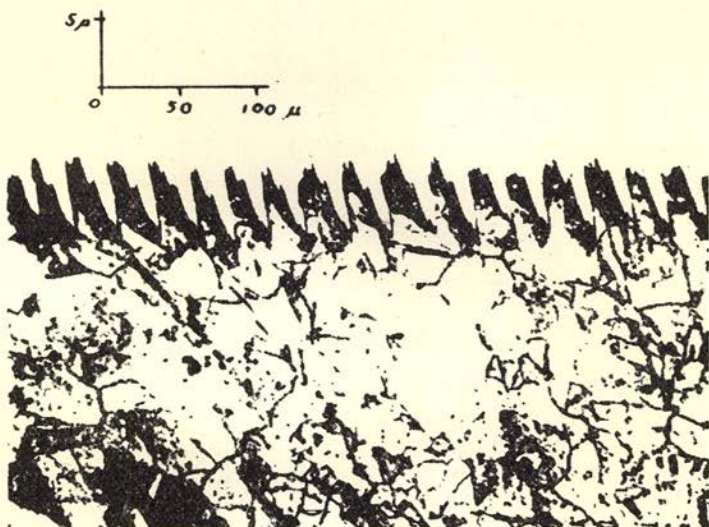


fig. 79

men zo goed mogelijk vlak gemaakt had. Er komen op dit oppervlak oneffenheden voor, die groter zijn dan  $50.000 \text{ \AA}$ , hetgeen zeer groot is in vergelijking met de diameter van atomen ( $2 \text{ \AA}$  à  $5 \text{ \AA}$ ). Met behulp van het electronen-microscop en van moderne interferentiemethoden is men tegenwoordig in staat de submicroscopische structuren van oppervlakken nauwkeurig na te gaan. Steeds neemt men daarbij waar, dat submicroscopisch een zo vlak mogelijk gemaakt oppervlak zeer heuvelachtig van karakter is, waarbij langs de hellingen van de „bergen en dalen” ook nog kleinere oneffenheden zijn waar te nemen. De met de beste technische hulpmiddelen vlakgemaakte en gepolijste oppervlakken vertonen nog steeds oneffenheden van  $100 \text{ \AA}$  à  $1000 \text{ \AA}$ .

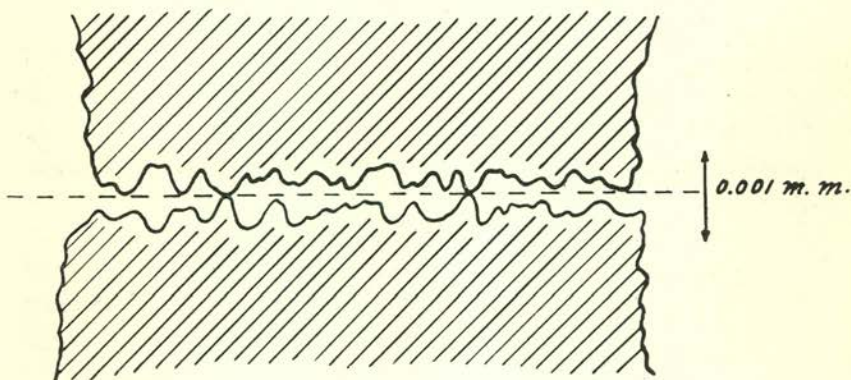


fig. 80

Als men dan ook twee van dergelijke „berglandschappen” op elkaar legt (fig. 80), dan zullen er slechts een **gering aantal** punten zijn, waar de beide oppervlakken werkelijk met elkaar in aanraking kunnen zijn, zodat het totale oppervlak, waarover de materialen effectief met elkaar in aanraking zijn, uiterst klein is. Bij metalen is men erin geslaagd om zich een oordeel te vormen over de totale grootte van het **effectieve aanrakingsoppervlak** en wel door meting van de weerstand, die een elektrische stroom ondervindt bij doorgang door het aanrakingsoppervlak. Bij deze proeven kwam vast te staan, dat het effectieve aanrakingsoppervlak minder is dan een tienduizendste van het totale aanrakingsoppervlak en dat, als men de beide materialen met een grotere kracht tegen elkaar aandrukt, de grootte van het effectieve aanrakingsoppervlak rechtevenredig met die kracht toeneemt.

Aan de hand van het inzicht, dat deze proeven geven, is het te begrijpen, dat, als men b.v. een stuk metaal van 2,5 kg met een grondvlak van 25 cm<sup>2</sup> op een oppervlak neerzet, het effectieve aanrakingsoppervlak hetzelfde is, als wanneer het grondvlak van de beschouwde 2,5 kg metaal b.v. 100 cm<sup>2</sup> zou zijn (fig. 81). Het enige verschil is, dat in het laatste geval de aanrakingspunten wat verder van elkaar gelegen zullen zijn.

Als gevolg van het feit, dat het effectieve aanrakingsoppervlak zo klein is, moet de druk op de aanrakingspunten zeer groot zijn

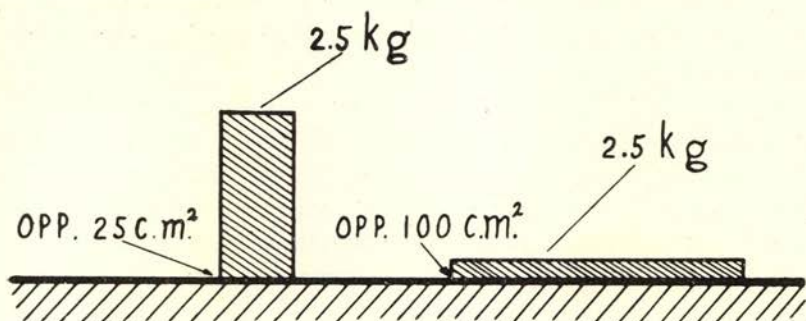


fig. 81

Bij het voorbeeld van het stuk metaal van 2,5 kg en met een grondvlak van 25 cm<sup>2</sup> laat zich berekenen, dat de druk over het totale oppervlak berekend  $\frac{2,5}{25} = 0,1$  kg/cm<sup>2</sup> is. Vasthoudende aan het hierboven gegeven cijfer van 1/10.000 deel van het totale oppervlak als effectief aanrakingsoppervlak, laat zich voor de aanrakingspunten gemiddeld een druk van 1000 kg/cm<sup>2</sup> berekenen. Bij een belasting, zoals die in de techniek kan voorkomen van een ton per cm<sup>2</sup>, loopt de druk op de effectieve aanrakingspunten dan tot wel tienduizend ton per cm<sup>2</sup> op. Dat onder invloed van dergelijke grote krachten vervormingen bij de aanrakingspunten zullen optreden, ligt voor de hand. Betreft het een bros materiaal dan zullen bij het tegen elkaar aanbrengen van twee oppervlakken de aanrakingspunten, die het hoogst boven het niveau uitsteken, vergruisd worden, waardoor de oppervlakken elkaar dichter benaderen en meer aanrakingspunten er bij betrokken worden om de druk op te vangen. Dit vergruisen gaat door tot er voldoende aanrakingspunten bij het opvangen van de druk betrokken zijn, dat de druk op deze punten elastisch door het materiaal opgevangen kan

worden. Betreft het een meer plastisch materiaal, dan zullen de aanrakingspunten zich **plastisch vervormen** en wel in die mate, totdat ook hier door de toename van het effectieve aanrakingsoppervlak de plaatselijke druk beneden de elasticiteitsgrens van het materiaal is komen te liggen.

Bij metalen, vooral bij die, welke daartoe de eigenschap bezitten, zullen, onder invloed van de grote druk op de aanrakingspunten, de metalen op die plaatsen aan elkaar **geweld** kunnen worden.

Inderdaad heeft men dit proefondervindelijk kunnen aantonen en daarmee het feit bevestigd, dat, zij het dan ook zeer plaatselijk, tussen twee met elkaar in aanraking zijnde oppervlakken sterke bindingskrachten optreden.

Op een staaloppervlak, dat in wrijvende aanraking met koper is geweest, heeft men koper kunnen aantonen, dat daarop niet mechanisch vastgehouden wordt, maar opgenomen blijkt te zijn in het kristalrooster van het ijzer. Met behulp van de tegenwoordig ruimer ter beschikking staande radioactieve isotopen heeft men goede mogelijkheden gehad om dit soort verschijnselen nader te bestuderen.

Nu wordt het in die mate tot uiting komen van cohaesiekrachten<sup>1)</sup>, dat een samenwellen op de aanrakingspunten het gevolg ervan is, in de weg gestaan door het feit, dat metaaloppervlakken aan de lucht direct met een dunne oxydelaag overdekt worden.

Deze oxydelaag is bij de meeste metalen practisch niet te verwijderen; dit gelukt slechts, wanneer men een mechanisch goed gereinigd metaaloppervlak in een zeer hoog vacuum verhit. Dan ontleden de gevormde oxyden zich en worden ook alle gassen, die zich aan het metaaloppervlak geoccludeerd hebben, daarvan afgedreven. Brengt men in een hoog vacuum twee aldus gereinigde metaaloppervlakken met elkaar in aanraking, dan treden inderdaad de cohaesiekrachten in versterkte mate op. Het kost dan een

---

<sup>1)</sup> Het is moeilijk hier verder een scherp onderscheid tussen cohaesie en adhaesie door te voeren. Volgens definitie is adhaesie de aantrekkingskracht tussen de moleculen van ongelijke stoffen en cohaesie de aantrekkingskracht tussen de moleculen van eenzelfde stof. Tussen twee oppervlakken van hetzelfde metaal of dezelfde kunststof zou men van cohaesie moeten spreken en bij oppervlakken van verschillende stoffen van adhaesiekrachten. De oorsprong van beide krachten is eenzelfde. Zij zijn van electrostatische aard, veelal Van der Waals bindingskrachten, bij metaaloppervlakken zijn het de metallische bindingskrachten. Eenvoudigheidshalve zal in het verdere betoog steeds van cohaesie en cohaesiekrachten gesproken worden, ook al zou volgens de letter der definitie adhaesie gebruikt moeten worden.

meetbare kracht om de beide metaaloppervlakken in loodrechte richting van elkaar te verwijderen, waarbij deze cohaesiekrachten overwonnen moeten worden. En deze kracht blijkt, althans bij sommige metalen, nagenoeg gelijk te zijn aan de kracht, die nodig is om de weerstand bij het langs elkaar schuiven van de beide metaaloppervlakken te overwinnen, hetgeen betekent, dat die kracht gelijk is aan de wrijving. Het gelijkworden van de kracht, die nodig is om twee oppervlakken in loodrechte richting van elkaar te verwijderen en de wrijving te overwinnen, treedt vooral op de voorgrond bij gemakkelijk plastisch vervormbare metalen, zoals zuiver goud en koper.

Bij minder plastische, maar hardere en meer elastische metalen is dit in geringere mate het geval. Bij deze metalen immers zullen zich bij de aanrakingspunten meer elastische vormveranderingen voordoen. De daardoor in het materiaal opgewekte elastische spanningen relaxeren, als de oppervlakken in loodrechte richting van elkaar verwijderd worden en dit terugveren van de elastische vormveranderingen draagt er toe bij om de oppervlakken van elkaar te verwijderen en vermindert daardoor de kracht, die men daartoe zelf moet aanwenden. Schuift men de materialen echter langs elkaar, dan ontbeert men de steun van deze spanningsrelaxatie en zal meer kracht nodig zijn om de cohaesie bij de aanrakingspunten te overwinnen. Bij de meer elastische materialen vindt men dan ook minder overeenstemming tussen de wrijving en de kracht, die nodig is voor het van elkaar halen der oppervlakken.

De tandarts, bekend met een materiaal als **cohaesief goud**, voelt zich bij het bespreken van cohaesie tussen metaaloppervlakken op vertrouwd terrein. Er moge hier ter plaatse op gewezen worden, dat het aan twee feiten toe te schrijven is, dat bij 24 karaatsgoud de cohaesie tussen de twee goudoppervlakken in dusdanige mate optreedt, dat er een practisch gebruik van gemaakt kan worden. Ten eerste is 24 karaatsgoud **zeer plastisch (smeedbaar)** en in de tweede plaats is goud **zeer edel**. Dit laatste brengt met zich, dat zich op 24 karaatsgoud aan de lucht geen oxydelaagje vormt, die de cohaesiekracht afschermt en dat door een eenvoudige verhitting aan de lucht de aan het goudoppervlak geocludeerde gassen daarvan verdreven kunnen worden.

Dit wat vertrouwd zijn met het cohaesief goud, zal het voor de tandarts gemakkelijker maken om in te zien, dat de oorzaak van de wrijving toe te schrijven is aan de cohaesiekrachten op de aanrakings-



punten van de met elkaar in aanraking zijnde oppervlakken. Men stelle zich slechts voor, welk een sterke wrijving er moet bestaan tussen twee oppervlakken van cohesief goud.

In de techniek bestrijdt men de wrijving door het gebruik van **smeermiddelen**. De werking daarvan berust er voornamelijk op, dat door de aanwezigheid van een **film** van het smeermiddel over de beide oppervlakken de cohesiekrachten **afgeschermd** worden, waardoor de wrijving vermindert. In dit verband is er verder op te wijzen, dat het een gunstige omstandigheid is, dat zich op metaaloppervlakken aan de lucht zo spoedig een beschermend laagje vormt, waardoor sterke cohesie niet tot uiting kan komen. Zonder dergelijke lagen (ook op de oppervlakken van andere materialen vormen zich soortgelijke lagen) zou onze wereld een zeer kleverige zijn, waarin het moeilijk zou zijn zich voort te bewegen.

Een fraaie bevestiging van de cohesie-theorie der wrijving, die, zoals opgemerkt, reeds door C o u l o m b als een vermoeden werd geuit, geven recente onderzoekingen aangaande de wrijving bij kunststoffen.

In tabel XVI zijn de wrijvingscoëfficiënten van enige kunststoffen opgegeven, waarbij de zeer lage wrijvingscoëfficiënt van het Teflon opvalt.

TABEL XVI

Polymeer	Chemische formule	Wrijvingscoëfficiënt
Teflon . . . . .	( —CF <sub>2</sub> —CF <sub>2</sub> — ) <sub>n</sub>	0.04
Polyaetheen . . . . .	( —CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> — ) <sub>n</sub>	0.1
Polystyreen . . . . .	( —CH <sub>2</sub> — $\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\   \\ \text{CH} \end{array}$ — ) <sub>n</sub>	0.5
Perspex . . . . . (Polymetacrylz. methylester)	( $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{—CH}_2\text{—C—} \\   \\ \text{COO—CH}_3 \end{array}$ ) <sub>n</sub>	0.8

De vier hier genoemde kunststoffen hebben allen ketenvormige macro-moleculen. Als regel bevinden zich langs de ketens dezer

moleculen zijgroepen, die, zoals dit in het hoofdstuk over de kunststoffen besproken is, een uiteenlopend polair karakter hebben, met in overeenstemming daarmee uiteenlopende cohaesiekrachten. (Tabel X, blz. 240 T. v. T. 1950).

Brengt men oppervlakken van dergelijke stoffen tegen elkaar, dan is het aannemelijk, dat bij de aanrakingspunten de macromoleculen van de beide oppervlakken elkaar het dichtst zullen benaderen met de aan hun ketens uitstekende zijgroepen en dat de cohaesie tussen de oppervlakken van de stoffen met de meest polaire zijgroepen het grootst zal zijn. Ook hun wrijvingscoëfficiënt moet dan de hoogste zijn. De polymetacrylzure methylester heeft van de hier opgegeven kunststoffen de meest polaire zijgroep en heeft in overeenstemming daarmee de hoogste wrijvingscoëfficiënt. De benzeenring van het polystyreen heeft een aanmerkelijk geringer dipoolmoment dan de methylestergroep van de polymetacrylzure methylester-keten en zoals bovengenoemde tabel aangeeft, heeft polystyreen een kleinere wrijvingscoëfficiënt. Bij polyaetheen bevinden er zich geen zijgroepen aan de ketens, zodat de cohaesie bij de aanrakingspunten van twee oppervlakken gering zal zijn. Slechts de positieve C atomen van de ketens trekken de negatieve H-atomen aan de ketens van de macromoleculen van het andere oppervlak met een geringe cohaesiekracht aan. De wrijvingscoëfficiënt van het polyaetheen is dan ook zeer gering, maar wordt in deze nog overtroffen door het Teflon. De wel opmerkelijk lage wrijvingscoëfficiënt van Teflon is te verklaren door het feit, dat fluooratomen groter zijn dan waterstofatomen, waardoor bij de Teflonketens de positieve C atomen van de ketens beter afgeschermd zijn dan de kleinere waterstofatomen dit bij de polyaetheenketens vermogen te doen. Bij de goed aaneengesloten laag van negatieve fluooratomen langs de Teflonketens, en hetzelfde geldt voor Teflon oppervlakken, kan slechts een zeer geringe cohaesiekracht verwacht worden. Hierin ligt dan ook de verklaring van het feit, dat Teflon zo'n uitzonderlijk lage wrijvingscoëfficiënt heeft, die ongeveer gelijk is aan de wrijvingscoëfficiënt van ijs op ijs.

Teflon is nog een vrij nieuwe kunststof en het onderzoek richt er zich thans op om o.a. van zijn geringe wrijvingscoëfficiënt technisch gebruik te kunnen maken. De moeilijkheden, waarop men daarbij stuit, worden veroorzaakt door de hoge thermische uitzettingscoëfficiënt en het slechte geleidingsvermogen van Teflon, zodat lagers, uit dit materiaal vervaardigd, spoedig zouden warmlopen

en vastlopen. Door bijmenging van poreus metaalpoeder (koper) tracht men aan deze bezwaren tegemoet te komen en men schijnt daarmee reeds goede perspectieven te hebben kunnen openen.

De bovenstaande beschouwingen over de wrijving waren tot nu toe min of meer statisch. Worden de oppervlakken snel langs elkaar bewogen, dan zal de energie, die het kost om de wrijvingsweerstand steeds te overwinnen, zich voor het grootste deel in warmte omzetten. Deze **warmteontwikkeling** heeft plaats op de aanrakingspunten en is dus zeer **plaatselijk**. Reeds een globale berekening leert, dat daarbij **hoge temperaturen** moeten optreden, maar om deze exact te bepalen is niet eenvoudig. Bij metaaloppervlakken is men daarin op de volgende manier geslaagd.

Als twee draden van verschillend metaal met hun beide uiteinden aan elkaar verbonden worden, dan zal door de aldus gevormde gesloten stroomkring stroom gaan, indien de beide contactpunten op een verschillende temperatuur gebracht worden (thermo-element). De potentiaalsprong tussen twee metalen aan hun contactpunt verandert met de temperatuur, zodat de stroom, die door een thermo-element gaat, evenredig is met het temperatuurverschil tussen de beide contactplaatsen. Houdt men één van de contactpunten op een constante temperatuur (b.v. in smeltend ijs) dan kan men door meting van de stroomsterkte de temperatuur van het andere contactpunt bepalen.

Van dit principe heeft men gebruik gemaakt om de temperatuur van de aanrakingspunten bij twee over elkaar draaiende metaaloppervlakken te bepalen. Men heeft daarbij temperaturen gevonden van 1000° (bij lager smeltende metalen natuurlijk niet hoger dan hun smeltpunt). Deze plaatselijk hoge temperaturen handhaven zich door de goede geleidbaarheid van de metalen maar een onderdeel van een seconde ( $\pm 1/10.000$  sec.) en men heeft bij deze wrijvingsproeven electronische meetapparaten nodig om de korte stroomstoten te kunnen registreren en meten.

Bij niet metallische materialen kan van deze methode van bepalen der gemiddelde temperatuur op de aanrakingspunten natuurlijk geen gebruik gemaakt worden. Bij doorzichtige materialen (b.v. glas, kwarts) kan men, als de wrijvingsproeven in het donker worden uitgevoerd, plaatselijke lichtflikkeringen waarnemen, die bij het toenemen van de snelheid, waarmee de oppervlakken over elkaar bewogen worden, in kleur van geelrood tot wit veranderen.

Deze lichtverschijnsels laten zich gemakkelijk op een fotografische plaat vastleggen.

De hoge plaatselijke temperaturen, die optreden als twee oppervlakken langs elkaar gewreven worden, doen het materiaal op de aanrakingspunten smelten of althans **beter plastisch vervormbaar** worden. Dit feit is van veel betekenis voor het polijsten en daarop zal dan ook later worden teruggekomen.

Een korte bespreking tenslotte van de bijzondere wrijvingsverschijnselen bij het schaatsenrijden is mede nog van dienst voor de dan volgende bespreking van het slijpen en polijsten.

Het is duidelijk, dat schaatsenrijden mogelijk is, omdat er slechts geringe wrijving bestaat tussen het ijs en het ijzer van de schaats. Het feit echter, dat bij grote koude het schaatsenrijden niet meer goed mogelijk is, omdat de schaatsen dan geen „vat op het ijs” hebben, wijst er reeds op, dat dit wrijvingsgeval ingewikkelder is dan men mogelijk bij oppervlakkige beoordeling vermoedt.

Om te kunnen schaatsenrijden is het nodig, dat de schaats een snede in het ijs kan maken, waardoor hij een steunpunt op het ijs vindt om er tegen te kunnen afzetten voor de volgende slag met het andere been en tevens om gedurende de slag bij afwijkingen van het zwaartepunt zijdelings van de loodlijn door het schaatsoppervlak niet direct zijdelings uit te glijden, dus om het evenwicht te kunnen bewaren.

Geeft men met een stuk ijzer een kras over het ijs, dan brokkelt en splintert het brosse ijs af en er vormt zich op het ijsoppervlak een kras, waarvan de wanden en de bodem ruw en brokkelig zijn. Het is zonder meer niet begrijpelijk dat er bij het schaatsenrijden zo weinig wrijving bestaat tussen de schaats en de wanden van de kras in het brosse ijs. Dit verschijnsel vindt zijn verklaring in het feit, dat het ijs aan het aanrakingsoppervlak met het ijzer smelt en een film van water, dat een zeer goed smeermiddel is, de beweging van de schaats door de kras uitstekend smeert. Dit smelten van het ijs is niet het gevolg van de warmteontwikkeling door wrijving, maar geschiedt onder invloed van de grote druk, die de schaats, waarop immers het volle lichaamsgewicht rust, op het ijs uitoefent, terwijl de grote hoeveelheid beweging van de schaatsenrijder in horizontale richting iedere kristallijne oneffenheid op het ijs met een flinke energiestoot treft en daarop dan een grote druk uitoefent. Ijs heeft namelijk de bijzondere eigenschap om te smelten als er een druk op wordt uitgeoefend; het vertoont dan een smeltpuntverlaging,

zodat het beneden 0° smelt. (Deze eigenschap staat in verband met het feit, dat ijs lichter is dan water).

Direct achter de schaats bevriest de waterfilm weer en de bevroren waterfilm geeft aan de krassen, die de schaatsenrijder op het ijs achterlaat een glad en goed gepolijst uiterlijk.

Het smelten van het ijs onder de druk van de schaats is trouwens ook de oorzaak, dat de schaats bij het maken van de snede door het ijs een weinig in het ijsoppervlak wegzakt, waardoor de schaats een houvast op het ijs krijgt. Indien de temperatuur van het ijsoppervlak zo laag is, dat de door de druk van de schaats veroorzaakte smeltpunt daling niet voldoende is om het ijs van die lage temperatuur te doen smelten, dan krijgt de schaats te weinig vat op het ijs. De schaatsenrijder ondervindt dan een gevoel alsof hij op een oppervlak van glas staat. Bovendien neigt bij een zeer lage temperatuur van het ijs de snede, die de schaats door het ijs maakt, te droog te blijven, waardoor het schaatsenrijden in de meest letterlijke zin minder gesmeerd gaat.

De wrijvingsverschijnselen bij het schaatsenrijden wijzen er eveneens op, dat het maken van een kras (slijpen) en het gladmaken van een oppervlak daarvan (polijsten) geen verschijnsels zijn, waarbij de hardheid alleen een rol speelt, maar dat ook andere eigenschappen van de materialen daarbij een belangrijke rol spelen.

### § 3. *Polijst- en slijpmiddelen*

Het slijpen en polijsten wordt als regel uitgevoerd door het wrijven van poedervormige stoffen over het te bewerken oppervlak. Een scherpe grens tussen polijst- en slijpmiddelen is niet te trekken. Afhangende van de korrelgrootte kan eenzelfde stof soms zowel als slijp- en als polijstmiddel gebruikt worden, hetgeen later nog ter sprake komt.

Bekende voorbeelden van slijpmiddelen zijn:

diamant, kwarts, amaril, korund, puijsteen, granaat, carborundum.

De meest gebruikte polijstmiddelen zijn:

gemalen krijt, geprecipiteerd krijt, aluminiumoxyde, infusoriënaarde, kalkspaat, os sepiae, gips, beenas, Parijs of Engels rood, tin-oxyde, chroomoxyde, magnesiumoxyde.

De slijp- en polijstmiddelen worden gebruikt in losse poedervorm of met een bindmiddel aangebracht op papier of linnen, dan wel in de vorm van slijpsteentjes, waarin zij verwerkt zijn met behulp

van een bindmiddel (keramische massa's of cementen). Soms worden zij met zachtere bindmiddelen (talk, aardwas, karnaubawas) tot staven verwerkt, in welke vorm zij gebruikt kunnen worden om op polijstvilten en borstels te worden aangebracht of in rubber, zoals dit bij de polijst- en slijprubbers het geval is.

Volledigheidshalve volgt hier een korte omschrijving van de meest bekende slijp- en polijstmiddelen.

#### **Natuurlijke producten:**

**diamant**, gekristalliseerde zuivere koolstof. Mohs hardheid 10.

**kwarts**, (zand),  $\text{SiO}_2$ , Mohs hardheid 2—7.

**amaril**, (Eng.: emeryl, Duits: Schmirgel) een mengsel van  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (magneetijzererts) verontreinigd met kwarts en silicaten. Mohs hardheid 8—9.

**korund**, feitelijk een amarilsoort van de beste kwaliteit, bevat 90—95 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Mohs hardheid 9.

**puijsteen**, een eruptief vulkanisch gesteente met zeer wisselende samenstelling afhankelijk van de vindplaats. Het bevat  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  en vele verontreinigingen. Mohs hardheid 5—6.

**granaat**, (Eng.: garnet), een gecompliceerd Al-, Fe-, Ca-, Mg-silicaat van zeer wisselende samenstelling en hardheid, wordt veel in de vorm van schuurpapier gebruikt (garnetdisks), Mohs hardheid 6,5—7,5.

**gemalen krijt**,  $\text{CaCO}_3$ , verkregen door het vermalen van natuurlijk krijt (kalkschalen van maritieme oerdiertjes). Is verontreinigd met harde minerale bijmengsels en daardoor voor fijn polijstwerk niet te gebruiken.

**infusoriën-aarde**, (kiezelgoer, diatomeeën-aarde) is een zeer poreus, voornamelijk uit  $\text{SiO}_2$  bestaand materiaal, afkomstig van afzettingen van diatomeeën (algensoorten uit de diepzee).

**kalkspaat**, bestaat evenals krijt uit  $\text{CaCO}_3$ , maar is in tegenstelling met krijt kristallijn van structuur.

**os sepiae**, wordt verkregen door het vermalen van de rugschalen van inktvissen, het is een organische Ca-verbinding.

**beenas**, verkregen door verassing van beenderen; een mengsel van o.a. calciumphosfaat (73—84 %), magnesiumphosfaat 2—3 %, koolzuurkalk (9—10 %).

### Kunstmatige producten:

**carborundum**, Siliciumcarbid,  $\text{SiC}$ ; wordt in elektrische ovens gemaakt door reductie van  $\text{SiO}_2$  met koolstof. Het heeft uiterst harde, lichtgroen gekleurde kristallen met scherpe hoeken en kanten. Mohs hardheid 9,5—9,7.

**gepraecipiteerd krijt**, door praecipitatie verkregen zuiver  $\text{CaCO}_3$ , waarbij door variaties in de reactie-omstandigheden invloed kan worden uitgeoefend op de kristalgrootte en de kristalstructuur.

**aluminium-oxyde**, eveneens een door neerslaan verkregen product, waarbij ook door variaties bij de fabricatie (calcineren en gloeien bij verschillende temperaturen) producten met verschillende eigenschappen worden verkregen.

**gips**,  $\text{CaSO}_4$ , in de vorm van door gebrande gips.

**Parijs rood**,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , veelal gebruikt in staafvorm, vervaardigd met behulp van een vetachtig bindmiddel, voor het polijsten van edelmetalen.

**tin-oxyde**, (Eng. putty-powder)  $\text{SnO}_2$ , door verhitting van tin op hoge temperatuur verkregen.

**chroom-oxyde**,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , is een groen amorf polijstpoeder, dat meestal als polijstmiddel voor staal en witte edelmetalen wordt gebruikt.

**magnesium-oxyde**, (magnesia usta)  $\text{MgO}$ , is een zeer volumineus zacht poeder, verkregen door gloeiing van  $\text{MgCO}_3$ .

*(Wordt vervolgd)*