

Glijlagermaterialen : overzicht en overwegingen bij de keuze. Deel 1

Citation for published version (APA):

Landheer, D., & Meesters, C. J. M. (1988). Glijlagermaterialen : overzicht en overwegingen bij de keuze. Deel 1. *Constructeur*, 27(2), 30-37.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1988

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Glijlagermaterialen. Overzicht en overwegingen bij de keuze (deel 1)

Lagers maken relatieve beweging tussen onderdelen van een werktuig mogelijk, terwijl gelijktijdig voor onderlinge positionering wordt gezorgd.

Al naar de aard van de verlangde beweging en positionering komen diverse lagertypen in aanmerking. Het bekendst is wellicht het radiale lager, dat rotatie van een onderdeel om één as toelaat, en krachten loodrecht op die as doorleedt: essentieel in de uitvinding van het wiel! Maar ook de geleiding van de slede op het bed van een draaibank, de transportmoer op zijn schroefspil, een zuiger in een cilinder, een stuwblok om de axiale kracht uit een scheepsschroef op de romp over te brengen, enzovoort vallen in de categorie van lagers.

In de meeste lagers wordt het snelheidsverschil tussen de delen ofwel door 'glijdend contact' ofwel door tussenkomst van een 'derde lichaam' in rollend contact overbrugd: glij- en wentellagers.

Dit artikel behandelt de materialen voor loopvlakken in glijlagers. Anders dan bij wentellagers – waar de loopvlakken bijna altijd van gehard 'kogellagerstaal' (= 100Cr6) zijn – worden voor glijlagers zeer verschillende materialen gebruikt. Om hierin een overzicht te verkrijgen, wordt uitgegaan van de eisen die het glijstelsel stelt. Deze hangen in hoge mate af van de in bedrijf optredende smeringstoestand: droog, beperkt gesmeerd en volledig gesmeerd.

In dit licht worden de lagermaterialen gegroepeerd en hun eigenschappen besproken. Aldus is een basis voor de keuze van loopvlakmaterialen voor diverse conforme glijdende contactsystemen verkregen.

De hoofdbestanddelen van de tribologische belasting in een glijlager (conform dubbelvlakkelig) contact volgen uit de tweeledige functie van zo'n systeem:

1. Dragen: het doorleiden van een kracht van het ene naar het andere van een stel constructiedelen loodrecht op het contactoppervlak
2. geleiden: het lokaal overbruggen van een snelheidsverschil tussen samenwerkende constructiedelen.

Het dragen brengt een direct mechanische belasting met zich mee; de contactpartners worden belast op sterkte of – omdat het contact zich over een of beide loopvlakken verplaatst – op vermoeiingssterkte.

Het geleiden en daarmee gepaarde wrijving betekenen een typisch tribologische belasting van het systeem. Met name bij glijden worden de contactmaterialen belast op hun 'loopeigenschappen' of 'slijtgedrag'. Primair is de eis, dat dat glijden inderdaad kan plaats vinden: het systeem wordt namelijk bedreigd door vreten, dat wil zeggen stagnatie van de glijbeweging door lawineeffecten ten gevolge van adhesieve slijtage.

Secundair moet ook het materiaalverlies door diverse in het systeem te verwachten slijtagetypen niet te snel verlopen en de oppervlaktegesteldheid niet te zeer verslechteren, waardoor doeltreffende smering onmogelijk wordt.

De smeringstoestand

De smeringstoestand van een conform dubbelvlakkelig contact kan aan de hand van de Stribeckcurve worden ingedeeld (fig. 1). Door smering tracht men een scheiding van functies te bereiken. Het smeermiddel is voor wat betreft afschuifweerstand altijd zwak vergeleken met de loopvlakken. Daardoor kan de onder 'geleidende functie' genoemde overbrugging van tangentieel snelheidsverschil tussen de loopvlakken geheel in het smeermiddel plaats vinden en worden de loopvlakmaterialen in het algemeen niet noemenswaard meer belast op tangentieel afschuiving. Zodoende vervalt de belasting op 'wrijvings-slijtage', of – bij gedeeltelijke loopvlakscheiding – wordt hij kleiner. Ten aanzien van de dragende functie geldt, dat macroscopisch de belasting van de loopvlakken vrijwel niet verandert door smering. Oppervlaktevermoeiingsslijtage blijft dus mogelijk in gesmeerd contact.

Het smeermiddel zelf wordt op druk en afschuiving – en daardoor thermisch – belast. Een interessant aspect van smering door vloeistoffen is de mogelijkheid van convectieve warmteafvoer uit het contact.

Uit het voorgaande is duidelijk te begrijpen, dat de smeringstoestand een enorme invloed op de tribologische belasting van de loopvlakken en dus op de materiaalkeuze daarvoor heeft.

Dragvermogen en glijfunctie van conforme contacten

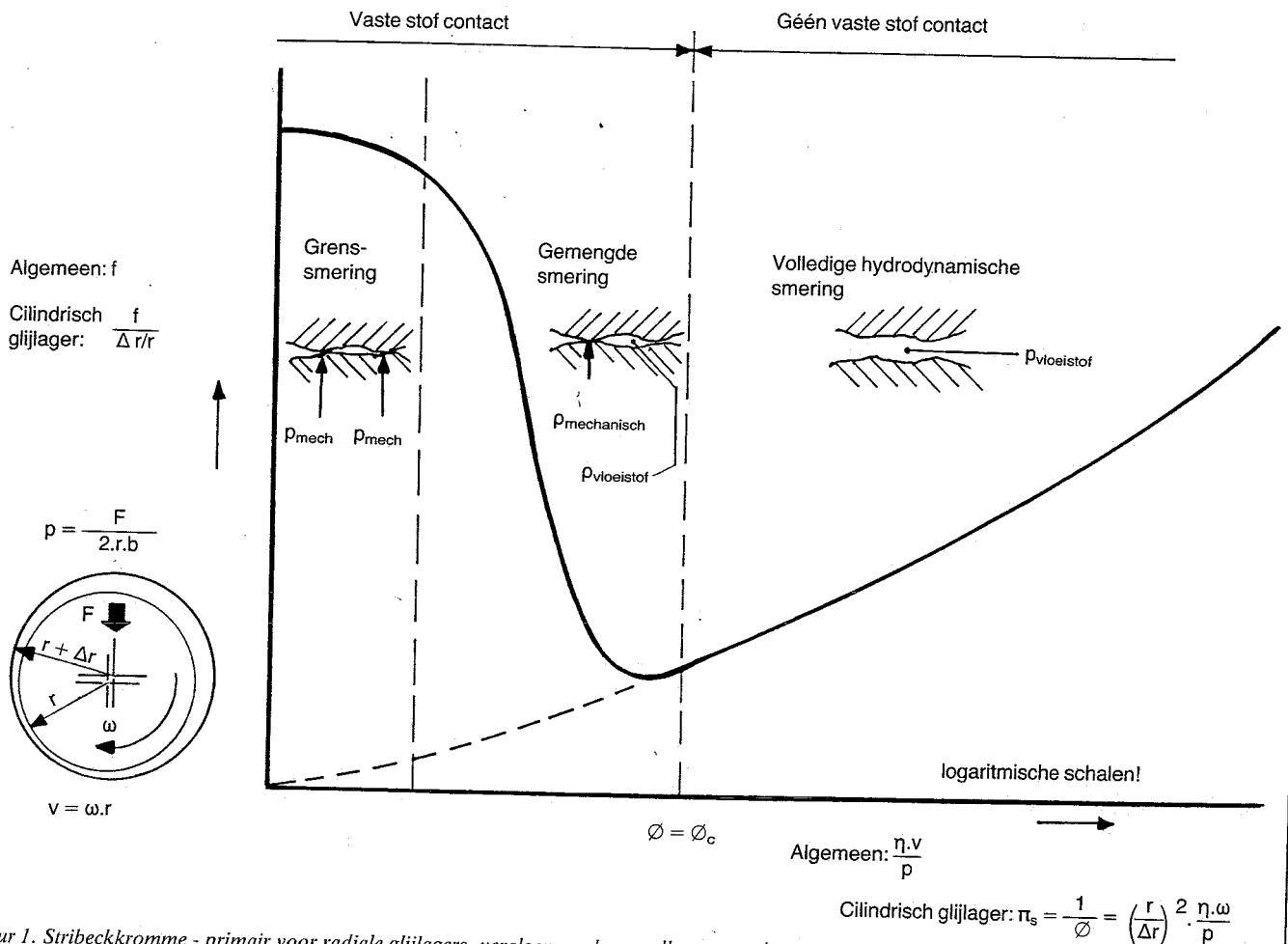
Conforme contacten treden op tussen onderdelen, die ter plaatse van hun contact over een relatief groot gebied een vrijwel gelijke vorm hebben (con-form) en daardoor op elkaar passen. Karakteristieke voorbeelden van zulke contacten vindt men in radiale en vlakke glijlagers, in mechanische remmen en koppelingen en tussen zuiger en cilinder van zuigermachines. Wegens het grote (schijnbare) contactgebied zijn de contactdrukken tamelijk laag en is bij voldoende snelheid door smering een volledig hydrodynamische smeermiddeelfilm te bereiken.

Met het oog op de dragende functie wordt van de loopvlakken voldoende statische en dynamische sterkte verlangd. Overschrijding van de statische sterkte (druksterkte) zou onder normale belasting tot zijdelings wegpersen van het materiaal leiden ('extrusie'), terwijl te boven gaan van de vermoeiingssterkte, respectievelijk de vermoeiingsgrens, bij dynamische belasting vermoeiingschade veroorzaakt.

Het belastingsniveau wordt aangegeven door de geprojecteerde vlaktedruk

$$p = \frac{F}{A_p} \quad (1)$$

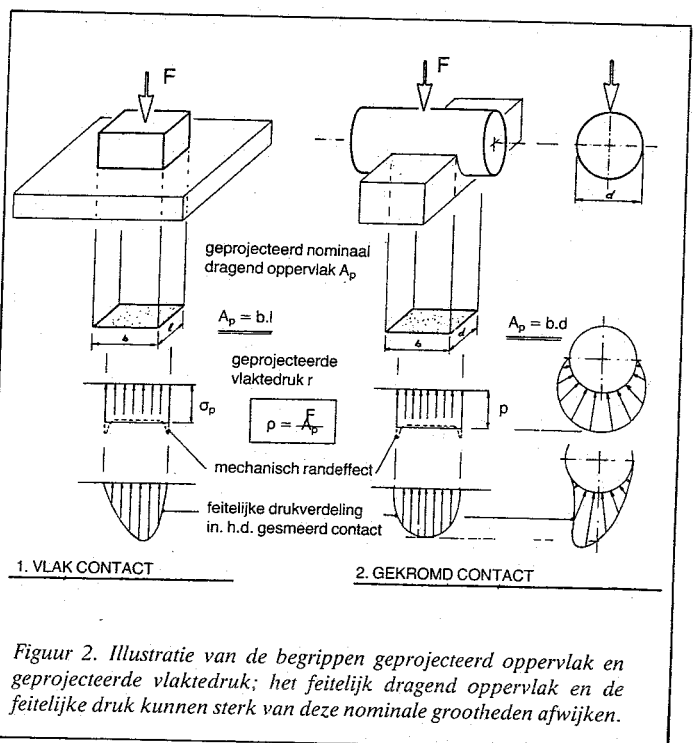
In vlakke contacten is A_p eenvoudig gelijk aan het schijnbare contactoppervlak A_s , bij contact op een gekromd oppervlak verkrijgt men A_p door projectie van het maximale nominaal dragende oppervlak op een plat vlak loodrecht op de belastingsrichting, zoals getekend in figuur 2. Door het gebruik van de geprojecteerde vlaktedruk als maat voor de (specifieke) materiaalbelasting wor-



Figuur 1. Stribeckkromme - primair voor radiale glijlagers, veralgemeend voor alle gesmeerde contacten.

den enkele aspecten van de feitelijke belasting verdoezeld, zoals figuur 2 laat zien. In de eerste plaats is er aan rechte randen van een ongesmeerd contact altijd de neiging tot optreden van spanningsconcentratie wegens de 'steunwerking' van belendend, niet-rechtstreeks belast materiaal. Verder zal - vooral in gekromde contacten - de feitelijke krachtdoorleiding veelal door slechts een deel van het loopvlak geschieden, waardoor de feitelijke contactdrukken hoger uitvallen dan de geprojecteerde. Bij h.d. smering is de belasting niet gelijkmatig over het nominale draagvlak verdeeld, wat ook tot hogere maximale dan nominale drukken leidt. Het in beginsel onjuiste beeld van de materiaalbelasting door opgave van p is geen bezwaar als men gegevens over het draagvermogen gebruikt, die op dezelfde wijze - dus in een overeenkomstige geometrie - zijn vastgesteld. Alleen voor fundamentele behandeling van problemen in kritieke situaties kan men naar de 'feitelijke toestand' teruggaan. Hierboven was sprake van het draagvermogen bij ideale geometrie. Aangezien in de praktijk uitlijningsfouten in conform contact tot op zekere hoogte onvermijdelijk zijn, moet altijd rekening gehouden worden met extra spanningsconcentraties. Natuurlijk behoort de constructeur door onderlinge afstemming van de stijfheden van samenwerkende onderdelen, en eventueel door het zelf instellend maken van zijn constructie, dit effect zoveel mogelijk te beperken. Bovendien moet men echter zijn materialen zo kiezen, dat deze bijdragen tot de ondervanging van extreme rand- en kantbelastingen. Praktisch betekent dit, dat een van de partners zacht of zeer elastisch moet zijn: deze kan dan door plastische of elastische vervorming onder beperkte spanning tegen de partner geometriefouten opvangen. De hardheid (of de rekgrens) van het zachtste loopvlak wordt zo aangekozen als verenigbaar met de eerder genoemde eisen van statische en dynamische sterkte. Met het oog op de glijfunctie worden van het te kiezen materialen-

systeem geschikte loopeigenschappen geëist. Dit betekent dat het systeem bij niet volledige loopvlakseparatie door een smeerfilm (tijdelijk) moet kunnen doorwerken zonder te vreten, dat wil zeggen zonder een lawineachtige ontwikkeling van vooral het adhesieve slijtageproces waardoor de beweging stagneert of de



Figuur 2. Illustratie van de begrippen geprojecteerd oppervlak en geprojecteerde vlaktedruk; het feitelijk dragend oppervlak en de feitelijke druk kunnen sterk van deze nominale grootheden afwijken.

Indeling van de glijlagermaterialen.

De glijlagermaterialen kunnen doelmatig ingedeeld worden naar de smeringstoestand, waaronder ze hoofdzakelijk worden ingezet. Aldus zijn de volgende hoofdgroepen te onderscheiden:

1. Materialen voor drooglopen
2. Materialen voor lagers met beperkte smering
3. Materialen voor volledig gesmeerde glijlagers.

De gangbare invulling van de hoofdgroepen is er op gebaseerd, dat de glijpartner (meestal een as) van staal is. Met inachtname van de aanbeveling voor de combinatie hard-zacht, is het staal dan de harde partner en het glijlagermateriaal de zachte. De tribologische compatibiliteit van de lagermaterialen geldt ten opzichte van staal; gebruik van een ander 'hard' tegenmateriaal kan consequenties hebben voor de keuze van het lagermateriaal.

Onder droogloop wordt het bedrijf verstaan, waarin structureel niet 'gesmeerd' wordt, dat wil zeggen waarin geen tussenstof wordt aangebracht die door grenssmeerwerking de gevaren van loopvlakinteractie beperkt of uitsluit. Er kunnen diverse redenen voor droogloop zijn, bij voorbeeld:

- smeermiddel zou de omgeving ontoelaatbaar verontreinigen (voedingsmiddelenindustrie, textielmachines)
- smering is door de aard van de lageringsomstandigheden niet goed mogelijk (te hoge temperatuur, ongeschikt milieu, moeilijke bereikbaarheid)
- het is bij voorbaat al onzeker dat de verzorging door smering goed zal worden bijgehouden en een 'automatisch' smeersysteem is te duur (sommige landbouwwerktuigen en huishoudelijke apparaten).

Bij droogloop tegen metalen bieden niet-metalen meestal betere bestandheid tegen vreten en slijtage dan metalen. Polymeren (eventueel versterkt) voldoen gewoonlijk het beste bij lage temperaturen, grafietsorten en keramische materialen bij hoge temperaturen. Eventueel kunnen door behandelingen die het metaalkarakter van het oppervlak wegnemen ook metalen voor droogloop geschikt gemaakt worden.

Als voldoende weerstand tegen vreten gewaarborgd is, blijft slijtage nog inherent aan het drooglopende systeem. Een oneindige levensduur is onbereikbaar.

NB: Hydrodynamisch gesmeerde lagers, die werken met water of een andere procesvloeistof als smeermiddel, vergen vaak lagermaterialen uit de categorie voor droogloop, omdat grenssmeerwerking in incidenteel contact ontbreekt. Fenolharsen en grafietsorten worden gewoonlijk gekozen; rubber is ook mogelijk bij vloeibare smeermiddelen, PTFE-basismateriaal voor gassmering.

Bij het bedrijf onder beperkte smering is te denken aan twee groepen toepassingen

1. de smeermiddeltoevoer is beperkt:
 - lagers die zo nu en dan met de hand gesmeerd worden
 - poreuze lagers, ofwel met smeermiddeltoevoeging 'voor het leven' ofwel incidenteel nagesmeerd
2. de smeermiddeltoevoer is voldoende, maar de bedrijfsomstandigheden laten de vorming van een voortdurende volledige smeerfilm niet toe:
 - lagers onder zeer hoge belasting, bij zeer lage glijnsnelheid of bij veelvuldig starten en stoppen.

In beide gevallen is in een groot deel van de bedrijfsperiode geen volledig scheidende smeerfilm aanwezig, zodat mechanisch contact tussen de bewegende oppervlakken optreedt. Het gevaar voor vreten is kleiner dan bij droogloop door de overblijvende grenssmeeractiviteit, maar slijtage blijft onvermijdelijk. Brons, gietijzer en polymeren zijn het meest geschikt voor massieve lagers; bij zeer lage snelheden komt ook gehard staal in aanmerking (onder andere mesopleggingen). Door oppervlaktebehandeling van meta-

loopvlakken zodanig opgeruwd worden, dat latere loopvlakscheiding door de smeerfilm onmogelijk wordt. Verder mag de eventuele aanwezigheid van een abrasief geen desastreuze invloed hebben. Tenslotte moeten de slijtagesnelheid en de wrijving bij contact beperkt zijn en moet het systeem de vorming van een volledige smeerfilm in de hand werken door de ontwikkeling van een geringe effectieve ruwheid en door 'afvlakken' van vormafwijkingen. Anders dan ten aanzien van de dragende functie is de geschiktheid voor de glijfunctie niet door een enkele maat, zoals het draagvermogen, aan te geven. Het gaat eerder om een reeks condities, die alle tot op zekere hoogte vervuld moeten zijn:

1. De loopvlakken moeten tribologisch compatibel zijn, dus een geringe adhesieneiging hebben (Goodzeit-regels; lage relatieve adhesie energie)
2. Abrasief materiaal moet onschadelijk gemaakt worden door inbeddend vermogen, wat er praktisch op neer komt, dat een glijpartner zeer zacht ten opzichte van de andere moet zijn, of met een zachte laag bekleed zijn
3. Ter afvlakking van spanningsconcentraties wegens vorm- of uitlijningsfouten is een lage hardheid van of een dikke zachte laag op een der partners dienstig (comformabiliteit)
4. Vreten wordt mede bezworen door een groot hardheidsverschil tussen de glijpartners
5. Goede warmtegeleiding zorgt voor temperatuurbepijking en daardoor betere kansen voor in stand houden van grenssmeerfilms; bovendien wordt zo het mechanisch draagvermogen van de zachte partner minder aangetast
6. Thermische expansie dient niet te groot te zijn wegens anders dreigend verlies van (radiale) speling en van klempassing tussen onderdelen.

Blijkens deze opsomming is de keuze van lage hardheid van een der partners gunstig in meer opzichten. De in het algemeen lage vlaktedruk in conforme contacten laat zo'n keuze toe. Het tegenoppervlak zou in beginsel bij voorkeur zeer hard moeten zijn (onder andere ongevoelig voor abrasief, dat voor een deel is ingebed); om de extra kosten van harden en dergelijke zo mogelijk te vermijden en uit andere gezichtspunten aantrekkelijke taaiheid te behouden, acht men een hardheidsverhouding van 5 in het algemeen voldoende. De tribologische compatibiliteit hoeft niet door de basismaterialen gegarandeerd te zijn. Opzettelijk aangebrachte oppervlaktelagen of lagen die in bedrijf door extrusie van een zachte fase uit een der partners ontstaan voldoen ook.

Een belangrijke nevenis aan het systeem is meestal weerstand tegen corrosie door zure bestanddelen uit de olie of door atmosferische invloeden.

De eerste keuze voor loopvlakmaterialen in conform contact is: hard op zacht (hardheidsverhouding ≥ 5), tribologisch compatibel, bestand tegen corrosie, goed warmte geleidend. De relatieve betekenis van deze factoren hangt sterk van de smeringstoestand af. De tribologische factoren moeten in speciaal daarop gerichte proeven met het materialsysteem bepaald zijn (specifieke vreetlast, wrijvingscoëfficiënt, slijtagefactor, procesruwheid).

Materiaal	Smelttemperatuur T_m (°C)	Max. gebruikstemperatuur (mech. belastbaar) (°C)	Soortelijke warmte per volume eenheid $\rho \cdot c$ (J/m ³ ·°C)	Warmtegeleidingscoëfficiënt λ (W/m. 07C)
Kunststoffen				
PA	200 - 260	65 - 125 °)	1,8 · 10 ⁶	0,24
PE (l.d./h.d.)	107 / 133	80 / 120 °)	2,1 / 2,2 · 10 ⁶	0,3 / 0,5
PI	...	200 °)	1,6 · 10 ⁶	0,55
POM	175	90 °)	2,1 · 10 ⁶	0,25
PTFE	327	150 °)	2,3 · 10 ⁶	0,25
PVC	-	65 °)	1,4 · 10 ⁶	0,15 - 0,3
Glijlagermetalen				
witmetaal op loodbasis	232 - 360	150	1,5 · 10 ⁶	25
witmetaal op tin basis	240 - 380	150	1,7 · 10 ⁶	50
tin-aluminium (6-20% Sn)	660 (tin: 232)	130	2,5 · 10 ⁶	170
zilver	962	250	2,4 · 10 ⁶	420
lood-koper (10-40% Pb)	950 - 980 (lood: 327)	180	3,0 · 10 ⁶	65
loodbrons	760 - 930 (lood: 327)	230	3,2 · 10 ⁶	65
brons	800	260	3,4 · 10 ⁶	85
aluminium-koper (ca. 10% Al)	1040 - 1060	300	3,0 · 10 ⁶	80
Staal en gietijzer (asmateriaal)				
onlegeerd staal	1.500	350 *)	3,9 · 10 ⁶	40
gelegeerd staal	~ 1.500	500 *)	3,5 · 10 ⁶	10 - 30
gietijzer	1150 - 1.250	400 *)	3,7 · 10 ⁶	30 - 50
Diversen				
hardmetaal 90% WC + 10% Co	1.400	900	3 · 10 ⁶	70
cermets 28% Al ₂ O ₃ + 72% Cr	1.800	1.200	4 · 10 ⁶	10
hout Europees eiken	-	-	1,6 · 10 ⁶	0,2

*) volgens UL index

*) afhankelijk van type; pas op voor oxydatie bij hogere temperatuur.

Figuur 3. Richtwaarden van enkele thermische eigenschappen van loopvlakmaterialen.

len en vulling of versterking van de kunststoffen kan de levensduur sterk verhoogd worden.

Voor poreuze lagers gebruikt men meestal brons of ijzer: zeer poreus brons voor hogere snelheden, wat dichtere ijzersoorten voor lage snelheid.

Beperkte smering is alleen geschikt, vooral in massieve lagers, voor betrekkelijk grote toepassingen, waar slijtage en beperkte levensduur aanvaardbaar zijn. De belangrijkste levensduurbeperking van poreuze lagers ligt in de veroudering van de olie (versterkt door hoge temperatuur).

Volledig gesmeerde lagers zijn zo ontworpen, dat de loopvlakken onder normale bedrijfsomstandigheden geheel van elkaar gescheiden zijn door een hydrodynamische of hydrostatische smeerfilm. In eerste aanleg wordt van het lagermateriaal dan alleen statisch en dynamisch draagvermogen verlangd, plus een redelijke warmtegeleiding om in de film opgewekte visceuze wrijvingswarmte - voor zover niet door smeermiddelstroming afgevoerd - zonder groot temperatuurverschil te kunnen weggeleiden. Toch is het van wezen-

lijk belang dat de lagermaterialen goede loopeigenschappen aan het nominaal volledig gesmeerde lagersysteem geven. Er is namelijk altijd rekening te houden met incidenteel loopvlakkencontact en met binnendringen van abrasief materiaal; als het lager dit soort omstandigheden niet goed doorstaat is het afgelopen met het beoogde nauwkeurige en langdurige functioneren.

Contact tussen de nominaal volledig gesmeerde loopvlakken treedt op bij:

- aan- en uitlopen van h.d. gesmeerde lagers: doordat de snelheid zeer laag is, valt het lagerkental hoog uit en is de filmdikte h_{min} kleiner dan de som van de loopvlakruweden
- overbelasting: zowel in hydrodynamisch als hydrostatisch gesmeerde lagers daalt h_{min} beneden de kritieke waarde
- uitlijningsfouten door scheefstellingen of doorbuigingen
- uitvallen van de smeermiddeltoevoer.

De gangbare lagermaterialen voor volledige smering zijn de zogenaamde glijlagermetalen, zoals witmetalen, brons en aluminium-tinlegeringen.

Sommige gietijzer- en plasticsoorten komen wel eens in aanmerking. Vooral bij hoge snelheden is de weerstand tegen vreten bij incidenteel contact uiterst belangrijk en kiest men goed warmtegeleidende metalen (bij voorbeeld A1, zie figuur 3) of metalen van geringe hardheid en laag smeltpunt, massief of als 'looplaag' op een sterkere drager (witmetalen). Bij stationair belaste lagers is er voorkeur voor de zo 'veilig' mogelijk lopende metalen (witmetaal). Bij hogere en dynamische belasting (drukassen van zuigerverbrandingsmotoren) ligt bovendien nadruk op sterkte.

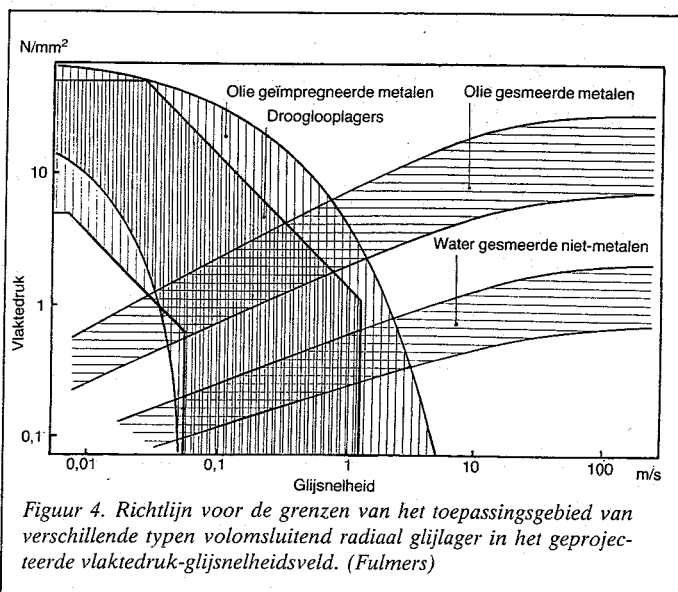
NB: 1. Als de smering gebeurt door een visceus medium zonder grenssmeewerking verdient materiaalkeuze uit de groep 'drooglopers' aanbeveling (water, lucht, enzovoort)

2. Sommige materialen tonen in contact met water of andere procesvloeistoffen volumeveranderingen. Bij de gewoonlijk nauw getolereerde maten voor volledig gesmeerde lagers, vormt dit een beperking in de keuze.

Hierboven werden de drie hoofdtypen van glijlagers - drooglopend, beperkt gesmeerd en volledig gesmeerd - inleidend besproken. Volledigheidshalve zij er nog op gewezen, dat de constructeur niet helemaal vrij is in de keuze van het type.

In de eerste plaats treedt bij droogloop en beperkte smering altijd slijtage op. Als dat niet toelaatbaar is, moet voor het volledig gesmeerde type of eventueel voor wentellagers gekozen worden. Dit speelt vooral als van het lager een zeer groot aantal omwentelingen tijdens de levensduur verlangd wordt.

Aan de andere kant is de vorming van een hydrodynamische smeerfilm bij lage snelheden in het algemeen moeilijk. Omdat bij lage snelheden de glijwegen veelal ook matig zijn, vormen de



Figuur 4. Richtlijn voor de grenzen van het toepassingsgebied van verschillende typen volomsluitend radiaal glijlager in het geprojecteerde vlaktedruk-glijnsnelheidsveld. (Fulmers)

Glijlagermaterialen. Overzicht en overwegingen bij de keuze (deel 1)

drooglopers en gemengd gesmeerde lagers hier een redelijke mogelijkheid.

De karakteristieke grensgebieden voor de verschillende glijlager-typen in het belasting-snelheidsveld worden in figuur 4 getoond.

Materialen voor drooglopen

In de tabel in figuur 5 worden een aantal veel gebruikte lagermate-rielen voor droogloop tegen staal genoemd.

Enkele mogelijke criteria voor de materiaalkeuze zijn:

- a. toelaatbare vlaktedruk met het oog op statische overbelasting \bar{p}_s
- b. toelaatbare belasting en glijnsnelheid \bar{p}, \bar{v}
- c. toelaatbare temperatuur \bar{T}
- d. specifieke slijtagesnelheid of slijtagefactor K
- e. wrijvingscoëfficiënt f
- f. prijs

Voor weinig bewegende lagers, bij voorbeeld van automobiel wielophangingen zal de nadruk op de maximale belastbaarheid liggen en de keuze op de sterkere materialen vallen zoals versterkte thermohardende kunststoffen, PTFE-vezelweefsels en met plastic geïmpregneerde metalen.

Voor onderdelen met heen en weergaande beweging in stuur- en regelsystemen kunnen maatvastheid (= slijtageweerstand) en lage wrijving het belangrijkste zijn: PTFE, gevuld of als weefsel; geïmpregneerde metalen.

Bij (langdurige) continue beweging komt slijtweerstand voorop, waarbij al naar geval de wrijving en de bestandheid tegen het milieu en de temperatuur komen. Voor hoge temperatuur: keramisch materiaal, grafietsoorten, polyimiden en PTFE-soorten.

In niet-corrosieve omgeving kan het asmateriaal tegenover poly-meer- en grafietlagers ongehard staal zijn. In tamelijk veel gevallen is het beter de as te hard-verchromen of van roestvast staal te kiezen.

Tegenover keramische lagermaterialen of lagers uit cermets (bij voorbeeld hardmetaal) zet men een met het lager overeenkomstig of verwant asmateriaal; als dat niet kan: gehard roestvast staal (NB: wrijvingscoëfficiënt van deze lagers kan vrij hoog zijn: 0,2-0,8)

Tussen de in figuur 5 genoemde eigenschappen en ook tussen de eerder genoemde factoren in de keuze bestaan koppelingen. Bij het raadplegen van gegevens moet men dan ook altijd in overwe-ging nemen voor welke omstandigheden ze gelden. De mechani-sche eigenschappen van vooral thermoplasten hangen sterk van de temperatuur af. Daarom zijn ook de toelaatbare statische druk p_s en de in rekening te brengen slijtagefactor temperatuurafhanke-lijk. Een indruk van de maximaal toelaatbare vlaktedruk als

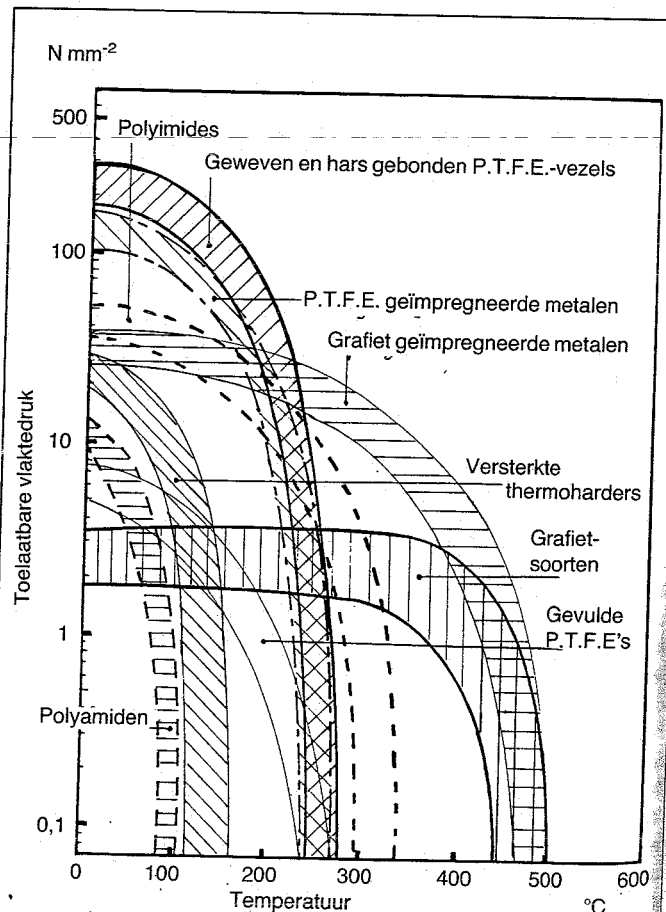
Globale vergelijking van enkele lagermaterialen voor droogloop

Materiaal	Relatieve prijs (voor 1000 lagers)	Maximale belastbaarheid \bar{p}_s (N/mm ²)	\bar{T} (°C)	\bar{v} (m/s)	Wrijving coëfficiënt (droog, tegen staal)
• polyamide (nylon)	1	10	100	0,1	0,1-0,4
• polyacetaal	1	10	100	0,1	0,1-0,4
• plastic op stalen schaal	2-2,5	100	105	0,2	0,2-0,35
• thermoharden-de plastic	2-3,5	10	100	0,2	0,1-0,45
• idem versterkt	-	35	200	0,3	0,1-0,4
• met PTFE geïmpregneerd poreus metaal	3-5	100	250	2	0,05-0,2
• gevulde PTFE	3-8	7	250	1	0,05-0,3
• polyimiden	6-12	40	300	1	-
• PTFE-vezel-weefsel	6-20	200	250	0,05	0,03-0,3
• grafietsoorten	10-15	1-4	350-500	-	0,1-0,3
• met grafiet geïmpregneerd	12	70	350-600	-	0,1-0,2

Figuur 5.

functie van de bedrijfstemperatuur geeft figuur 6 (uit Fulmers Materials Optimizer).

Bij de toelaatbare temperatuur gaat het om de feitelijke materiaal-temperatuur, waarboven ernstige verzwakking, sterke toename van de slijtage of zelfs vreten, of eventueel onomkeerbare verande-ringen in de eigenschappen optreden. Deze bedrijfstemperatuur is



Figuur 6. Richtlijn voor de hoogste toelaatbare vlaktedruk en temperatuur van glijlagermaterialen voor droogloop tegen staal (Fulmers)

de som van de omgevingstemperatuur T_o en de temperatuurstijging T_w van het lager, die zich instelt om de wrijvingswarmte te kunnen afvoeren. Aangezien de wrijvingswarmte direct samenhangt met het specifieke wrijvingsverliesvermogen

$$W_{ws} = f \cdot p \cdot v \quad (2)$$

met f = wrijvingscoëfficiënt, p = geprojecteerde vlaktedruk, v = glijnsnelheid, is ook T_w afhankelijk van de factoren in P_{ws} . De toelaatbare omgevingstemperatuur hangt dus van de bedrijfsomstandigheden en lageruitvoering (warmteafvoermogelijkheden) af, met totaal

$$T_o + T_w \leq \bar{T} \quad (3)$$

Figuur 7 geeft een richtlijn voor de toelaatbare combinaties van vlaktedruk en glijnsnelheid voor een aantal lagermaterialengroepen. De numerieke waarden van p en v gelden voor lagers van gangbare constructie werkend in een omgeving van omstreeks kamertemperatuur.

De ligging van de p - v -krommen in figuur 7 weerspiegelt sterkte, warmtegeleidingsvermogen en toelaatbare temperatuur van de materialen (vergelijk ook figuur 3 en figuur 5).

- de eenvoudigste keuze voor drooglopende lagers zijn onversterkte, betrekkelijk goedkope thermoplastische polyamide (= 'nylon') of thermohardende kunststoffen

- door versterkende vulling (figuur 8) kunnen mechanische belastbaarheid en toelaatbare temperatuur verhoogd worden (bij voorbeeld 'reinforced thermosets').

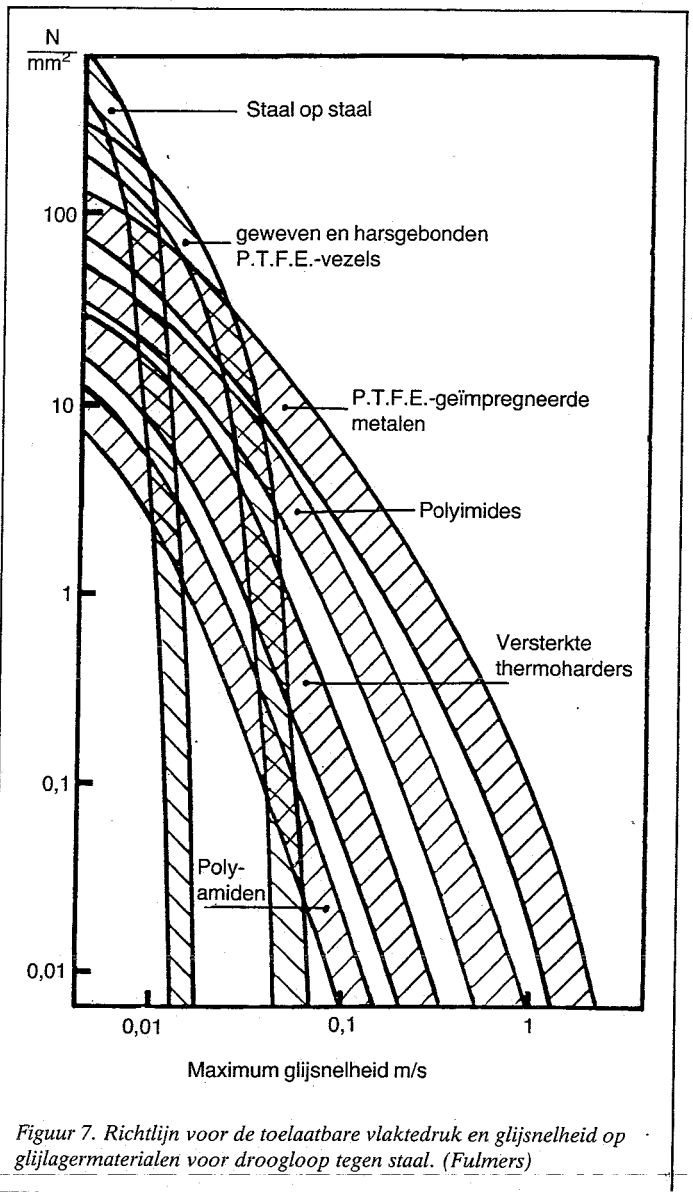
De polyimiden, met een toelaatbare bedrijfstemperatuur van 300°C , kunnen nog hoger belast worden

- door een polymeer te impregneren in een poreus metaal (figuur 9) worden de warmteafvoermogelijkheden uit het loopvlak sterk verbeterd en stijgt de statische belastbaarheid. Zo ligt de p - v -kromme van met PTFE geïmpregneerd brons erg gunstig: $P_s \approx 100 \text{ N/mm}^2$, $v \geq 1 \text{ m/s}$.

Toepassingen van kunststoffen als niet te dikke laag in een stalen steunschaal levert ook wegens de betere warmteafvoer een verhoging van de mechanische belastbaarheid (dat wil zeggen van de toelaatbare snelheid)

- voor nog hogere vlaktedrukken ($P_s \leq 300 \text{ N/mm}^2$), doch ten koste van de toelaatbare snelheid, komen gewezen en harsgebonden PTFE vezels in aanmerking (figuur 10); dit materiaal heeft uitstekende weerstand tegen slijtage (figuur 11)

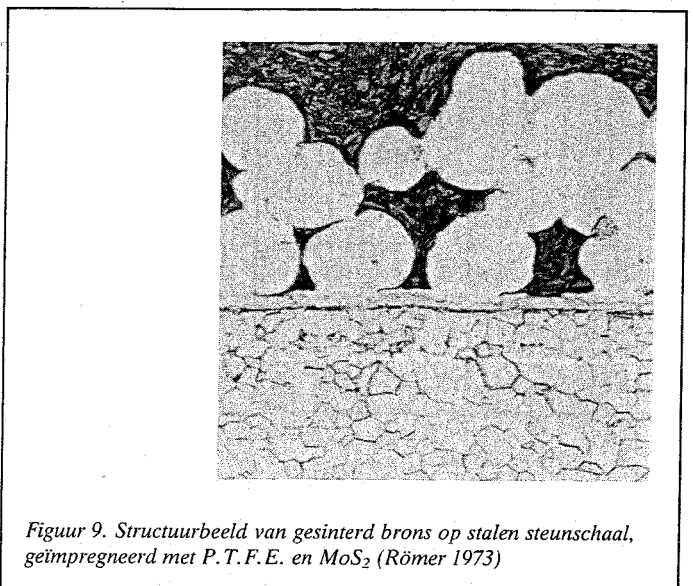
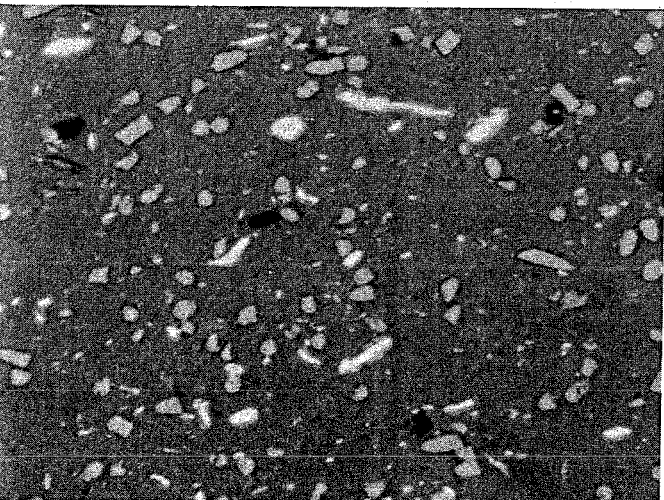
- de hoogste statische belastbaarheid hebben metalen loopvlakken (brons, gietijzer, gehard staal); wegens het vreetgevaar bij droogloop zijn de toelaatbare snelheden klein ($p_s \leq 1000 \text{ N/mm}^2$, $v \leq 0,05 \text{ m/s}$).



Figuur 7. Richtlijn voor de toelaatbare vlaktedruk en glijnsnelheid op glijlagermaterialen voor droogloop tegen staal. (Fulmers)

De tot nu toe besproken begrenzungen in temperatuur, vlaktedruk en glijnsnelheid van drooglopende lagers zijn bijna absoluut: overschrijding ervan leidt direct of na korte tijd tot schade door ernstige vervorming of zelfs verweken, vreten of excessieve slijtage.

Figuur 8. Structuurbeeld van P.T.F.E. gevuld met glasvezels en MoS_2 . ($v=100\times$)



Figuur 9. Structuurbeeld van gesinterd brons op stalen steunschaal, geïmpregneerd met P.T.F.E. en MoS_2 (Römer 1973)

Glijlagermaterialen. Overzicht en overwegingen bij de keuze (deel 1)

De met het permanente mechanisch contact samenhangende slijtage van dit lagertype levert nog een ander soort belastingsgrens op, namelijk de combinatie van belasting, snelheid en temperatuur waarboven de beoogde levensduur niet meer gehaald wordt. Kwantificering van deze grens gebeurt doelmatig met de empirische uitdrukkingen voor slijtagevolume V of afgesleten laagdikte h :

$$V = K \cdot F \cdot s \quad (4)$$

$$h = K \cdot p \cdot s \quad (5)$$

De specifieke slijtagesnelheid of slijtagefactor K wordt in eerste instantie bepaald door het materiaal. Bovendien is K echter afhankelijk van de vlaktedruk en temperatuur, terwijl ook aard van de glijpartner (onder andere ruwheid) en tot op zekere hoogte de glijnsnelheid invloed uitoefenen, dus

$$K_1 = K(\text{materiaal}_1, p, T, v, \text{materiaal}_2, \text{ruwheid}, \dots)$$

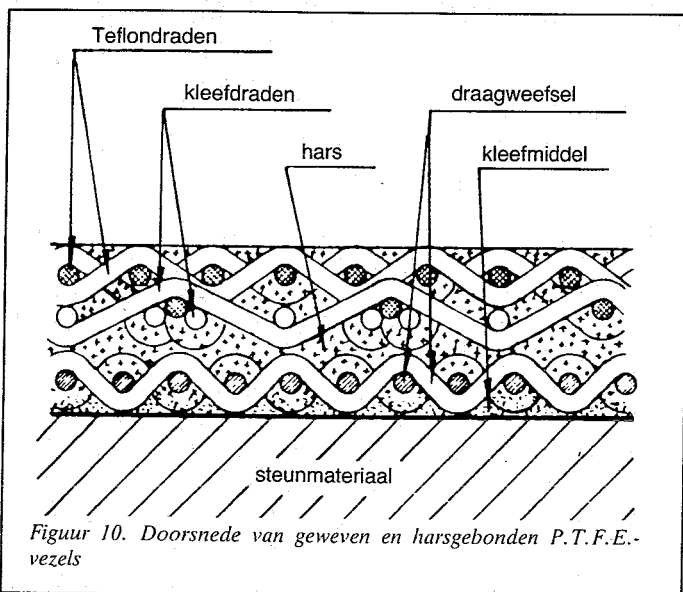
Figuren 11 en 12 geven indicaties voor het verband tussen K en druk of temperatuur voor enkele lagermaterialen in 'gewone' lagersituaties.

$K = 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm} = 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$ kan als eerste schatting van de slijtfactor van drooglopers gelden. Met PTFE geïmpregneerde metalen en harsgebonden PTFE vezelweefsels (figuur 11) kunnen evenals cermeten (WC in Co = hardmetaal, figuur 12) beter scoren, metalen slechter.

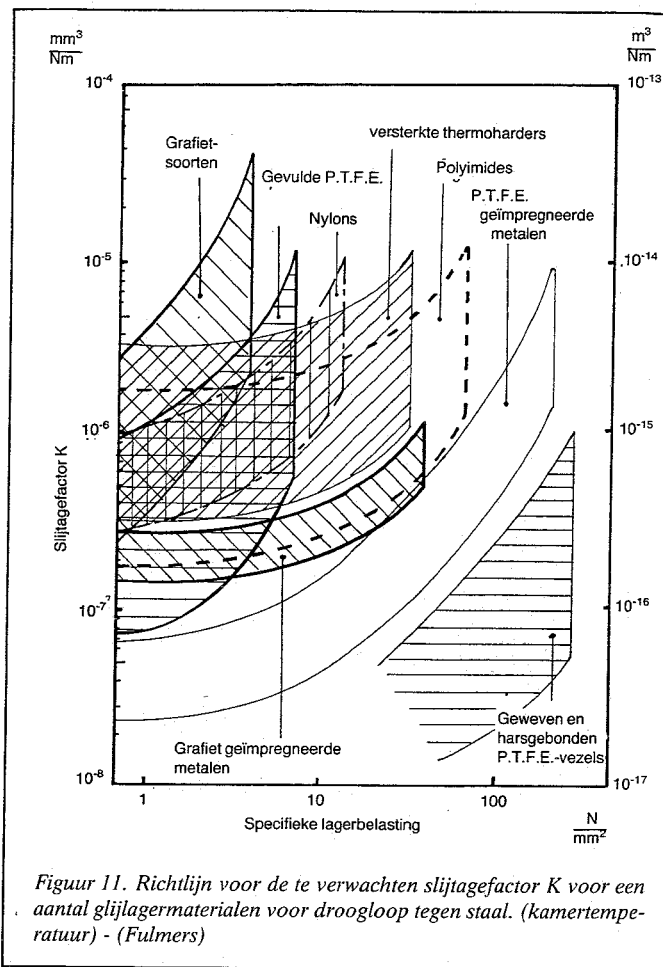
In een lagering met karakteristieke diameter d en toerental n is de tijdens de levensduur t afgelegde glijweg

$$s = n \cdot \pi \cdot d \cdot t \quad (6)$$

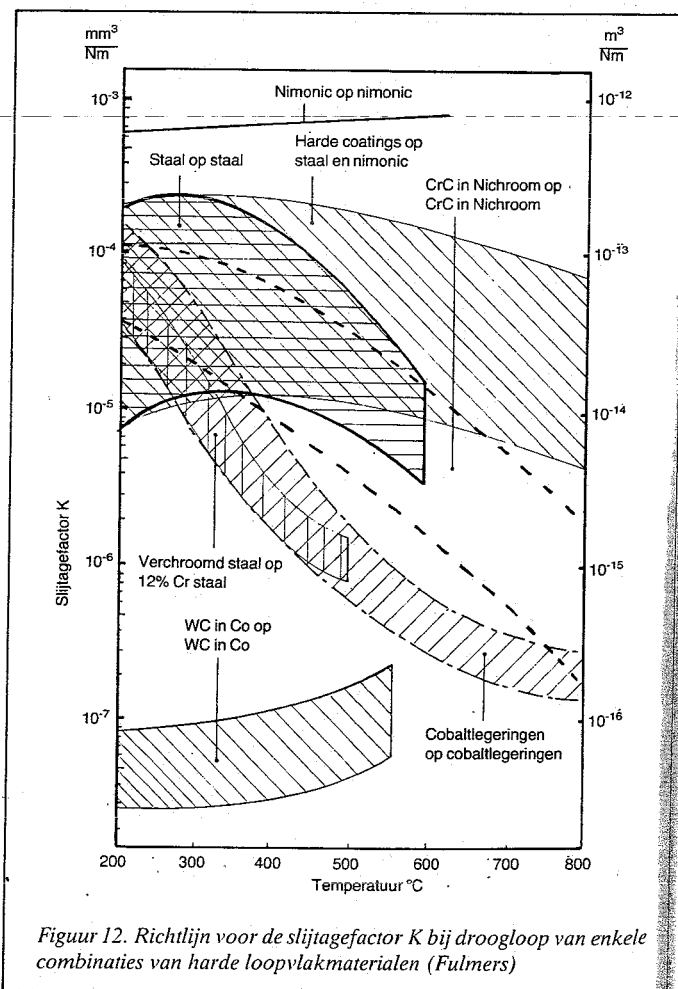
(n , d en t in consistente eenheden, bij voorbeeld omw/s, m en s).



Figuur 10. Doorsnede van geweven en harsgebonden P.T.F.E.-vezels



Figuur 11. Richtlijn voor de te verwachten slijtagefactor K voor een aantal glijlagermaterialen voor droogloop tegen staal. (kamertemperatuur) - (Fulmers)



Figuur 12. Richtlijn voor de slijtagefactor K bij droogloop van enkele combinaties van harde loopvlakmaterialen (Fulmers)

Bij een toelaatbare lineaire slijtage h volgt dan uit (4) en (5) voor de uit oogpunt van slijtage toelaatbare vlaktedruk:

$$p = \frac{h}{K \cdot s} = \frac{h}{\pi \cdot K \cdot n \cdot d \cdot t} \quad (7)$$

Zou men bij voorbeeld van een polyimide lager (PI) met diameter $d = 10$ mm en astoerental $n = 1$ omw/s een levensduur van 1000 uur $= 3,6 \cdot 10^6$ s verlangen dan vindt men bij $K = 10^{-6}$ mm³/Nm en $h = 0,1$ mm:

$$p = \frac{0,1}{\pi \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 0,01 \cdot 3,6 \cdot 10^6} = 0,88 \text{ N/mm}^2$$

Deze waarde van p ligt merkbaar onder de 'algemene' grenswaarde $p \approx 2$ N/mm² die in figuur 7 voor polyimiden bij $v = n \cdot \pi \cdot d = 0,03$ m/s is aangegeven.

Samengevat:

1. Voor droogloop kiest men primair een materiaal dat onder die omstandigheden tegen staal 'lopen' kan; meestal niet-metalen (figuur 5)
2. De grenscondities voor goed loopgedrag vindt men in diagrammen als figuur 6 en 7; snelheid hooguit omstreeks 1 m/s
3. Met behulp van opgaven over de slijtagefactor, zoals figuren 11 en 12, bepaalt men de uit oogpunt van levensduur toelaatbare lagerbelasting. In veel gevallen zijn de eisen ten aanzien van levensduur strenger dan ten aanzien van statische overbelasting of van 'lopen' zelf
4. Zo nodig wordt speciale aandacht aan de wrijvingscoëfficiënt gegeven.

(wordt vervolgd)



ING BOEKBESPREKING BOEKBESPREKING

Engineering productivity through CAD/CAM

D.N. Chorafas
The Butterworth Group, Londen, 1986
242 pagina's, figuren, grafieken
ISBN 0 408 01588 8
£25,-
Bookimpex, Den Haag

De nieuwe generatie werkstations bestaat in feite uit een netwerk van supermicro's die ingepast zijn in een systeem dat is ontworpen om de produktiviteit van het produktontwerp te verhogen. De bedoeling van het boek is om nieuwe perspectieven in het computer gesteund ontwerpproces aan te geven. Het is gericht op het technische management en minder op pure technen. De auteur gaat er van uit dat binnen afzienbare tijd praktisch elke ontwerper/constructeur wereldwijd, en dat zijn er volgens hem een half miljoen, een eigen intelligent werkstation moet hebben. Dat daarbij een engineering database hoort

staat voor de auteur als een paal boven water en hij wil dan ook niet weten van een scheiding tussen CAD waarbij alleen getekend wordt, en CAE. Volledige integratie van zaken als bill of materials, kwaliteitscontrole, fabricage etcetera, is het gezichtspunt van waaruit dit boek is geschreven. De afzonderlijke hoofdstukken gaan in op het succesvol implementeren van CAD, op CAD/CAM en de eindgebruiker, op nieuwe ontwerpfilosofieën, alsmede op de ervaringen met CAD van twee constructiebedrijven. Van groot belang voor de auteur is de kwaliteit van de data en hoe die te verhogen ten behoeve van het opzetten van een database. Aan het slot van het boek wordt nog ingegaan op expertsystemen en 4e generatie programmeertalen en wordt de strategische planning voor CAD/CAM nader behandeld. Het is hiermee een vrij volledig boek geworden, dat een uitstekend overzicht geeft van de huidige state-of-the-art, maar ook een gefundeerde toekomstverwachting uitsprekt.

ir. L.J. de Ridder



KRACHT-NEDERLAND ... het veelzijdigst in glijlagers!

ZEVEN STANDAARDPROGRAMMA'S - ca. 3000 MATEN IN VOORRAAD.

ESSEM sinterbronzen glijlagers, drooglooplagers, DU-lagers, DU-B-lagers, DX-lagers, DQ-lagers, Uni en Mini glijlagerblokken, FIBERGLIDE glijlagers, B09 glijlagers, JMI gedraaide gietbronzen glijlagers, sinterprodukten, geluiddempers, glijplaten, aanloopschijven, glijstrippen.

"KRACHT - NEDERLAND" B.V.

H. ter Kuilestraat 30 - Postbus 390 - 7500 AJ Enschede - tel. 053-323446 - faxnr. 053-307158
Populierendreef 329 - Postbus 556 - 2270 AN Voorburg - tel. 070-876800 - faxnr. 070-863885

Omcirkel nr. A 0124 voor meer informatie