

S L I D F O R S K N I N G

af

Dr.techn. BØRGE LUNN

DANSK METALLURGISK SELSKAB

1979

Da slid er en foreteelse, der rækker fra skjorter til maskindele, er forskning i dette emne af største betydning for de almene krav til holdbarhed og pålidelighed.

Slid er en dynamisk proces og generelt nært forbundet med foreteelser som friktion og smøring, de tre tilsammen udgør Tribologien, der er det græske ord for læren om gnidning.

Ved slidforskning kan man derfor ikke undgå at beskæftige sig med friktion og smøring og de dermed forbundne discipliner som metallurgi, overfladekemi, -topografi og -fysik, m.m.

Der er næppe nogen anden forskningsgren, der er mere tværvidenskabelig, hvilket vanskeliggør den gensidige forståelse forskerne imellem, selv indenfor et så begrænset område som det metalliske slid.

Slid kan optræde på flere måder. Det katastrofale slid tiltager med tiden og ender med overfladens ødelæggelse, ofte ret hurtigt. Heroverfor står tilpasningssliddet, hvor overfladen afpudses og udjævnes i begyndelsen, hvorefter sliddet bliver minimalt og overgår i det kontinuerte slid, der regnes for det normale.

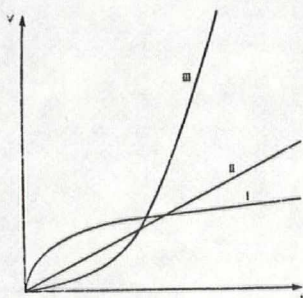


Fig. 1.

De tre typiske slidfunktioner

V: slidvolumen

t: tid efter vejlængde

I: overrivningslid - tilpasning

II: tærings- og erosionslid, kontinuert

III: sammentværingslid, katastrofe.

Slidprocessen mellem metalliske materialer regnes at bestå af to dele: dels en sammensvejsning af delområder dels en ud-
drivning af det sammensvejste; til denne meget forenklaede fo-
restilling kommer de effekter, som overfladehårdning og ud-
mattelsespåvirkning medfører. Udrivningen af slidpartikler
kan også skyldes fremmede partikler med slibevirkning, end-
videre kan korrosion medvirke.

Muligheden for sammensvejsning er størst, når metallerne el-
ler deres overfladelag har blandbarhed eller danner forbin-
delser; udrivningen af slidpartikler er mindst, når materi-
alerne er hårde. Diamant er meget slidstærk overfor kobber
og bruges derfor til trækning af kobbertråd. Men da diamanten
er kulstof, der legerer sig med jern, er diamant uegnet til
træksten for jertråd.

Både sammensvejsning og udrivning af partikler kræver en
forskydningskraft på langs af berøringsfladen og er derved
friktion, der kan defineres som irreversibel modstand mod
bevægelse. Sammensvejsning kan formindskes, når overfladerne
er dækket med en hinde, som enten kan være fast eller flyden-
de, og som giver smørevirkningen. Forskydningsmodstanden i
hinden kan være mindre end forskydningskræfterne ved udriv-
ning af slidpartikler, hvilket giver formindsket friktion.
Det omvendte kan også finde sted, navnlig hvis hindens reo-
logiske egenskaber adskiller de glidende flader så meget på
grund af dens indre friktion, at berøringsmuligheden er mi-
nimal. I så fald bliver friktionen højere, men sliddet lille.

Slidforskning vil derfor altid foregå under betingelser, hvor
både friktion og smøring finder sted. Og alligevel er der
stadig forskere, der prøver at se slidprocessen ensidigt.

Grundforskningen omfatter dannelsen af slidpartikler og de
parametre, der hører hertil - den har sjældent direkte for-

bindelse til de tekniske problemer. Tribologien som viden- skab opstod i Melbourne i 1940, idet en ung fysiker, Philip Bowden, blev anmodet om at hjælpe industrien med slid-og smøreproblemer. Krigen var brudt ud, han kunne ikke vende tilbage til sit arbejde ved universitetet i Cambridge, og sammen med en medarbejder, D. Tabor, opklaredes en række fæ- nomener af betydning for forståelsen af slid. De påviste kontaktforholdene mellem glidende flader, temperatur- og trykforhold , og deres publikation i 1950 "The friction and lubrication of solids" var banebrydende for megen videre forskning. Da jeg var i Melbourne i 1964, var et af mine mål "Tribophysics Department" på universitetet, og jeg fandt, dels at man stadig løste banale problemer for industrien og dels, at man havde kastet sig ud i overfladeundersøgelser med felt- ion mikroskopet, der giver et meget lille,udspekuleret bi- drag til forståelsen af visse metalleres atomiske overflade- lag. Måske har det betydning for tribologien - af vigtigere betydning havde studiet af de slidforhindrende overfladelag vel været. Man var simpelthen gået for dybt! Fra dr. Bowdens lærestol i fysisk kemi i Cambridge er udgået mange fremragen- de tribologier, og efter hans alt for tidlige død har dr. Tabor fortsat arbejdet. Men først for nogle år siden gik han væk fra tanken om, at de slidbeskyttende hinder er andet end monomolekylære lag af fede syrer, der er væsentlig tyndere end de hindetykkelser, man kender fra teknikken.

Ved den tekniske slidforskning benytter man ofte slidfrem- mende apparater, hvor et prøvestykke presses mod en roteren- de cylinder eller skive, hvorefter sliddet måles i afslidt volumen efter en valgt slidvej eller -tid. Prøven kan udfø- res med eller uden smøremiddel og eventuelt i kontrolleret at- mosfære. Der er ingen standardiseret metode, og i et forsøg på at få en sammenligning mellem kendte slidforskningscentre blev der i 1964 under OECD dannet en studiegruppe "Wear of Engineering Materials" med sekretariat hos Metal Research

Institute TNO, Delft.

Ialt deltog 31 laboratorier, hvoraf 20 bidrog til den endelige rapport - og resultaterne kom fra 12 af de 13 deltagende lande. Man tilstræbte afprøvning på "pin and ring" maskiner med en glidehastighed på 1 m/sec og belastninger på 2 og 10 kg. Som "pin" anvendtes prøver af oxidholdigt elektrolytkobber, 10 % fosfortinbronze, automatmessing i både udglødet og hårdtrukket tilstand, koldtrukket 0,40 % kulstofstål, og et varmvalset 17 % Cr 1 % C -stål. Til ringen anvendtes et SAE 1045 stål og til forsøg med smøring anvendtes et noget kunstigt smøremiddel, en hvid parafinolie tilsat 0,5 % stearinsyre. Det er akademisk veldefineret, men ikke et normalt smøremiddel.

Trods disse meget ensartede betingelser viste resultaterne stor spredning, navnlig ved tør afprøvning. Indenfor hver stofkombination var der meget store afvigelser - men sammenligner man resultaterne gruppe for gruppe, var der alligevel en vis overensstemmelse. For samme sliddistance, f.eks. 5 km,

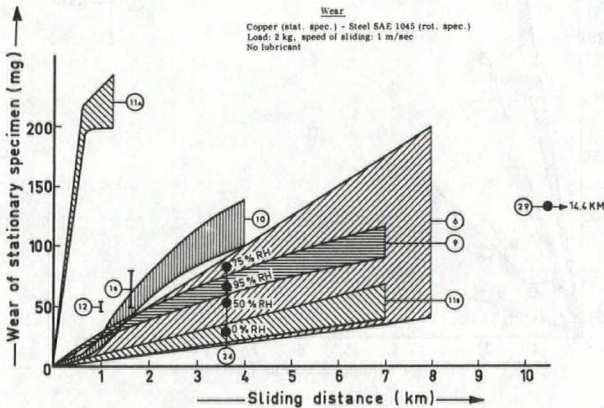


Fig. 2.

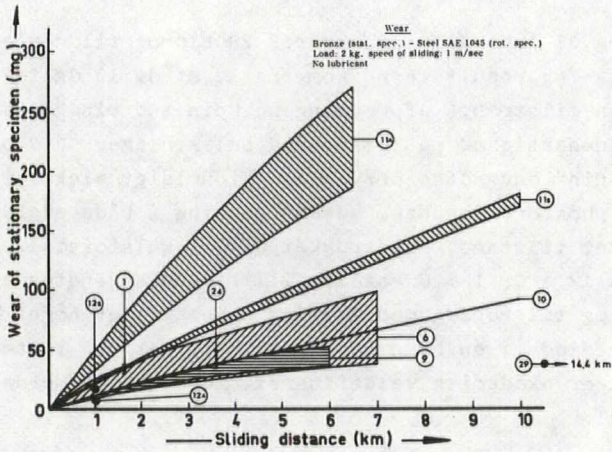


Fig. 3.

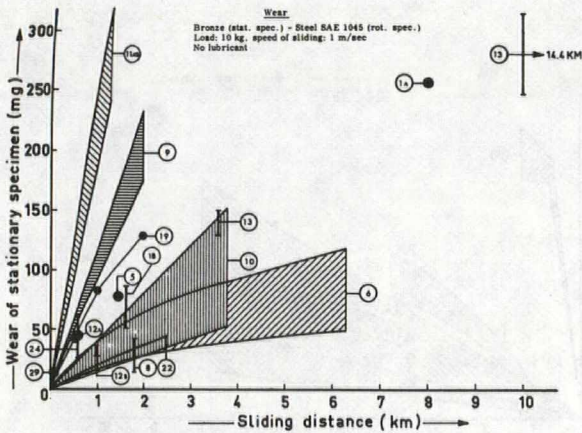


Fig. 4.

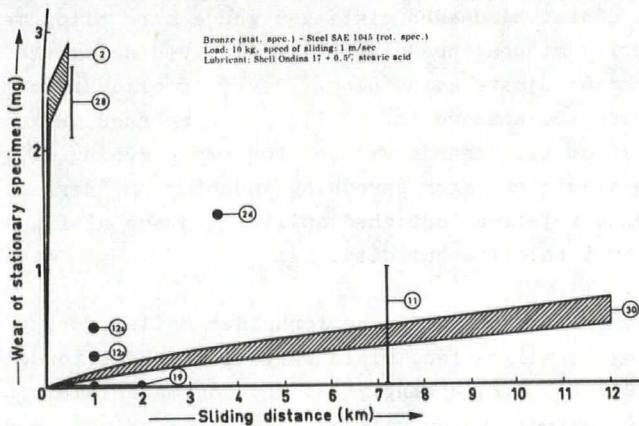


Fig. 5.

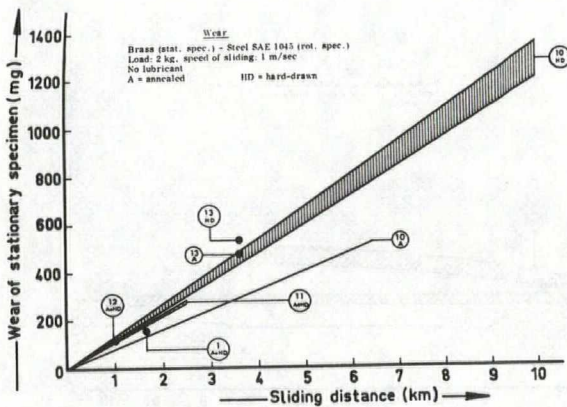


Fig. 6.

og samme belastning viste kobber og bronze slidværdier i samme område med et udsving fra 1 til 10 (Fig. 2 - 3) - medens messing, uanset hårdheden viste 2-3 gange mere slid, men med en væsentlig mindre spredning (Fig. 6). Ved de smurte forsøg anvendte man højeste belastning, 10 kg, og slidværdierne var for kobbers vedkommende ca. 10 %, og for bronzes vedkommende ca. 1 % af de tilsvarende værdier for tør prøvning (Fig. 4 - 5) - men stadig med stor spredning indenfor områderne. At atmosfærens relative fugtighed spiller ind ses af fig. 2, hvor RH er % relative humidity.

Friktionskoefficienten, der er forholdet mellem forskydningskraften og normalkraften, viste betydeligt bedre fordeling, fra ca. 0,3 til 0,8, afhængigt af tryk og materiale. Se fig. 7, 8 og 9. Værdierne er således væsentligt højere, end man kan beregne sig til efter von Mises flydekriterium, hvilket skyldes sammensvejsninger og afsmitning.

En beregning viste, at disse slidprøveopstillinger er rene friktionsmaskiner, hvor friktionsarbejdet er ca. 20 millioner gange det arbejde, der finder sted ved slidprocessen. Derfor

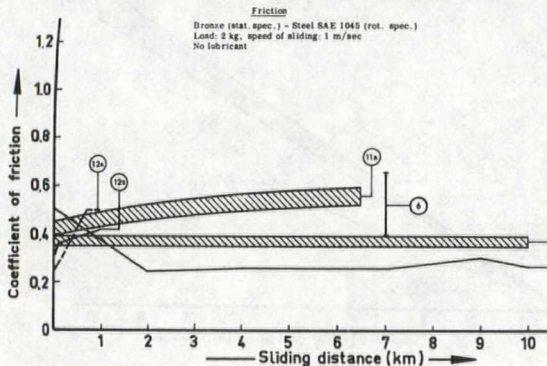


Fig. 7.

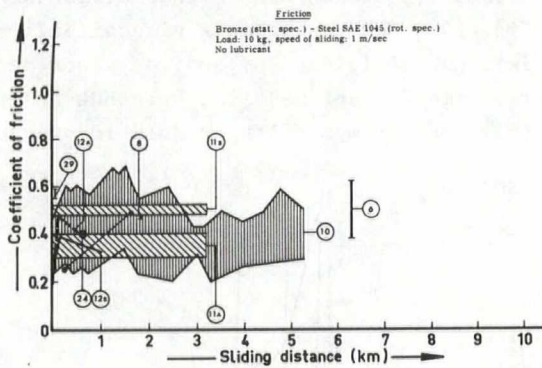


Fig. 8.

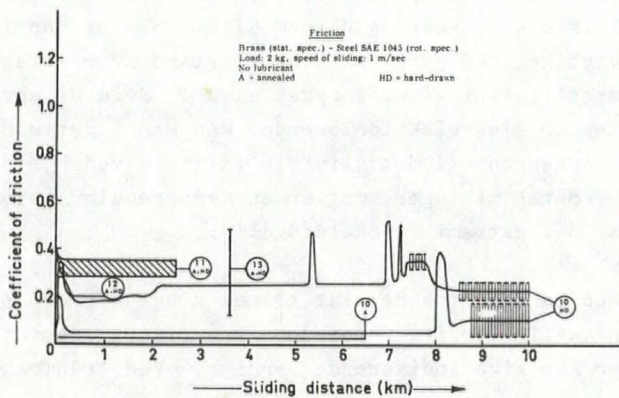


Fig. 9.

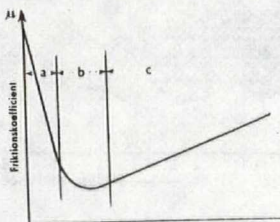
er forskning af denne art noget vildledende, fordi man i teknikken aldrig vil anvende disse materialer uden smøremiddel.

Ved vurdering af smurt slid kan man anvende Stribecks kurve som grundlag, fig. 10. Med hastighed x viscositet/tryk som abscisse og friktionskoefficient som ordinat viser den stærkt aftagende friktionskoefficient med lidt stigende abscisseværdi. Efter et friktionsminimum tiltager friktionskurven jævnt

Fig. 10.

Stribecks kurve.

- a. grænesmøring
- b. blandet smøring
- c. flydende smøring.



og repræsenterer her den hydrodynamiske adskillelse mellem de glidende flader, medens den stejle del er det såkaldte grænesmøringsområde. Den metalliske kontakt, og dermed slidmuligheden, er udpræget i dette område, men selv omkring minimumet og lidt ind i det hydrodynamiske område er der mulighed for metalliske kontakter og dermed slid - her er man i den teknisk vigtige, men paradoksale, tilstand hvor aftagende friktionskoefficient giver forøget slid ! Hvis de anvendte smøremidler er elektrisk isolerende, kan man i dette område studere overgangen til den slidfrie tilstand ved hjælp af elektriske kontaktmålinger, det er en mere regulær metode end studiet af det ekstremt fremkaldte slid.

I teknikken er man ofte henvist til at bruge afprøvningsmetoder i den daglige drift, fordi der ikke findes laboratoriemetoder, der kan give indikerende værdier. Ved trådtrækning kan man måle, hvor mange km tråd, der åbner trækstens diameter med én procent. Det tager lidt tid, men er reproducerbart og sammenligneligt fra værk til værk.

I nogle tilfælde er laboratorieprøverne meget nær på driftsbetingelserne, som f.eks. kan nævnes AMTs funktionstest for skærende bearbejdning, udarbejdet af L. de Chiffre.

Sådanne halvtekniske prøver er ret omstændelige og kostbare. For nogle år siden hørte jeg om General Motors afprøvningsmetode for slidbarheden af det aluminium, der blev brugt til fremstilling af lejer til lastbildieselmotorer. For at kontrollere en aluminiumsleverance fremstillede man nogle sæt lejer, afprøvede dem under ekstremt hårde, men kontrollerede omstændigheder i en række forsøgsmotorer. Efter en fastsat prøvetid udtoges lejerne til inspektion for en række kriterier. Først når denne prøve var i orden, godkendtes leverancen.

Som før nævnt regnes hårde materialer for mest slidstærke. Det gælder dog kun delvis. Under besættelsen var det en fordel for os danskere, at alle de tyske militærstøvler havde hælebeskyttere af hærdet stål, så kunne man høre, under mørklægning eller i tåge, når de nærmede sig. At gummihæle er mere slidstærke ville selv de danske militære myndigheder ikke anerkende før nogle år efter krigen, gummi er dog så blødt. Forklaringen er ligetil. Det hærdede stål er oxideret på overfladen, kontakten med gadens sandpartikler af kvarts (SiO_2) giver lokale høje temperaturer, så et lavtsmeltende jernsilikat kan dannes, hvorefter det ved afslidning river lidt jern med.

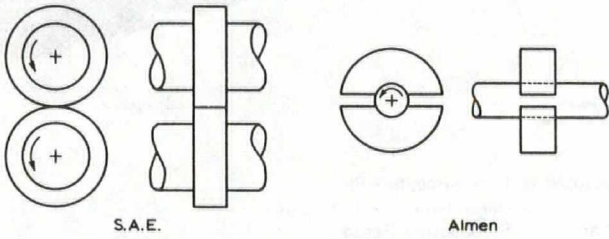
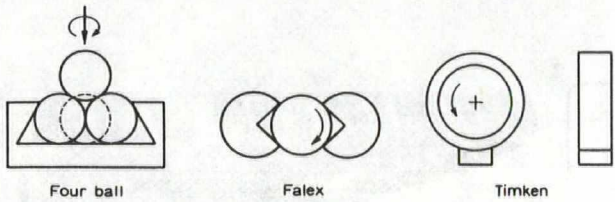
Gummihælen har ikke den samme reaktionsmulighed - her vil sandskornene kun trykkes ind i gummiets under hælens tryk, men omgående stødes ud igen - uden slid på gummiets.

Et er at studere hvordan slid sker og hvordan slid kan styres. Noget andet er, at studiet af slidpartikler opstået ved tekniske processer kan give oplysninger om slidprocessen og slidtilstanden. Men det vil andre berette om.

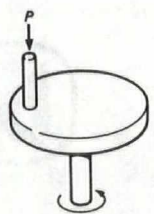
Slidforskning er stadig en disciplin under udvikling - selvom det metalliske slid er vigtigt, er det dog kun en af de mange slidprocesser, der har betydning for den tekniske udvikling. Det er et stort område - med mange opgaver.

Litt.:

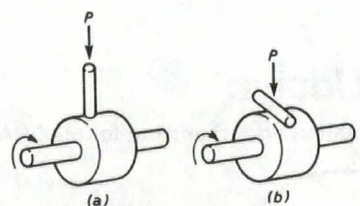
- 1) Slid, af dr.techn. Børge Lunn,
Ingeniøren 42 20.10.1956 p. 841-43
- 2) Wear during Sliding, Comparison of Test Methods
TNO Techn. Secretariat, Delft 1969.



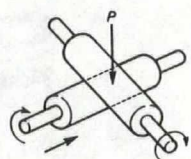
Test-piece shapes for commercially available lubricant testing machines



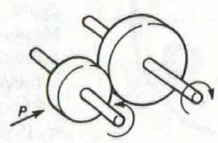
Pin and disc



Pin and ring



Crossed cylinders



Discs

Wear test machines

Industrielt røntgenfotografering m.v.:



NDT-Service:

Prøvning med:

Røntgen og kraftige Isotoper
 Ultralyd – Induktion
 Magnetpulver – Penetrant
 Halogen Leak-test
 Vacuum Leak-test

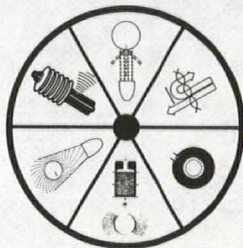
af:

Svejsearbejde – Plader
 Rørsystemer – »On-Stream«
 Støbegods – Beton
 Flystruktur og -motorer
 Revnedybde – Hårdhed

Akustiske undersøgelser af rørsystemer.
 Svejsprøver efter DS m.v. – Godkendt af Arbejdstilsynet.
 8 røntgenvogne til Deres disposition.

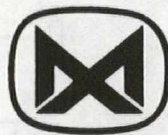
NDT-Udstyr:

Repræsentation og forhandling for MAGNAFLUX



Hele spektret af NDT metoder:

Magnaflux
 Magnaglo
 Spotcheck
 Zyglo
 Maskiner
 Eddy-Current
 Ultralyd
 Radiografi
 m. fl.



NORDISK MATERIALKONTROL A/S
 Klintehøj Vænge 19 · 3460 Birkerød
 02·81 50 00