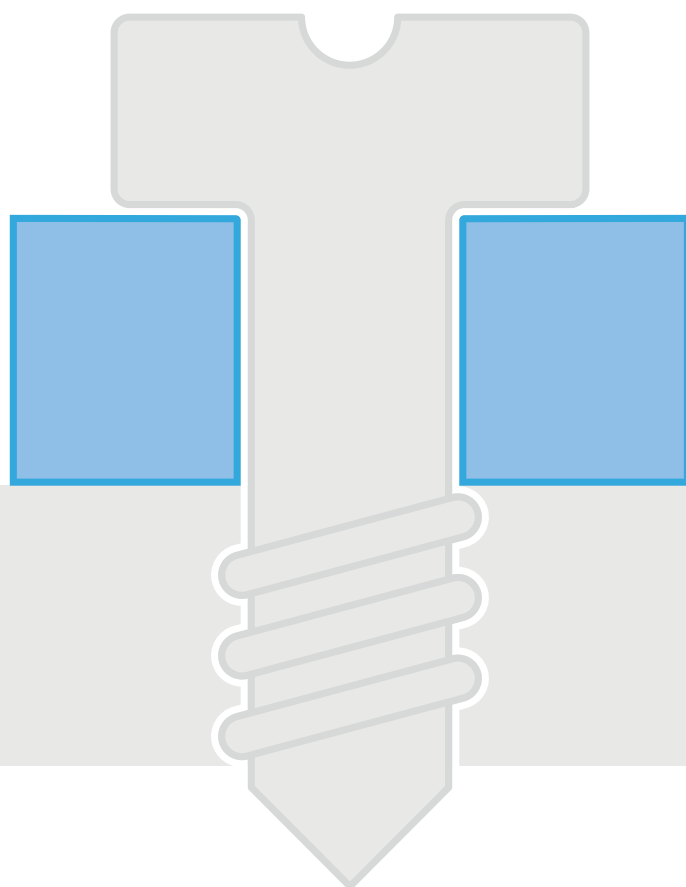




Derfor er friktion i skrueforbindelser afgørende for proceskapabiliteten

White Paper

Derfor er friktion i skrueforbindelser afgørende for proceskapabiliteten

af Martin Rüedy

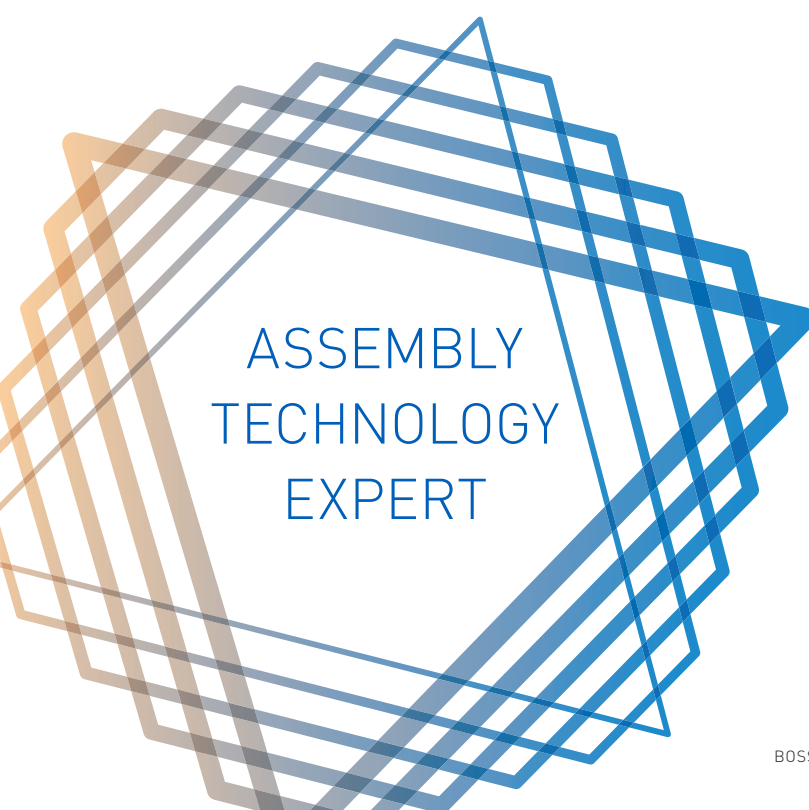
Bossard Ekspertteam,
Bossard Central Europe

www.bossard.com

Alle rettigheder forbeholdes © 2023 Bossard

De nævnte anbefalinger og råd skal kontrolleres og testes i praksis af læseren
samt godkendes inden anvendelse.

Ret til ændringer forbeholdes.



ASSEMBLY
TECHNOLOGY
EXPERT

DERFOR ER FRIKTION I SKRUEFORBINDELSER AFGØRENDE FOR PROCESKAPABILITETEN

Introduktion

«Lean-produktion» er oppe i tiden som står for enklere og mere målrettede processer. Der forskes globalt i at finde løsninger, der er mere effektive samt har et mindre forbrug og længere levetid. Når der skal tages stilling til nye materialer, processer til overfladebehandling eller finish, er tribologiske egenskaber som friktion, smøring og mekanisk slid næsten altid med i overvejelserne.

I industrielle produkter er demonterbare skrueforbindelser stadig en vigtig funktion, når der anvendes nye konstruktionsmetoder og materialer. Der stilles større krav i montageprocesserne til materialeudnyttelse og proceskapabilitet.

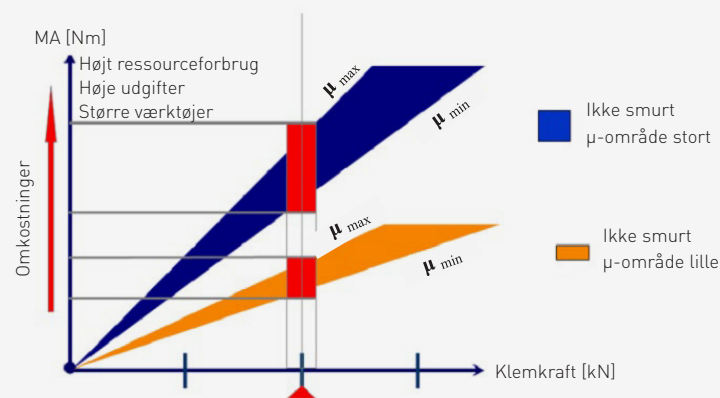


Illustration 1: Bossard illustration

Betragtninger og erfaringer til effektive montageløsninger

- Proceskapabilitet
- Processikkerhed ved montage
- Tribologi som udfordring

Befæstelsesteknologiens udfordringer

Markedet kræver pålidelige slutprodukter med stor nytteværdi og stadig længere vedligeholdelsescykler. For at kunne imødekomme disse krav uden at give køb på skrueforbindelsernes funktionssikkerhed, er der behov for brugbare overfladeteknologier. Materialesammensætningen og en egnet korrosionsbeskyttelse skal kunne holde til ydre påvirkninger og belastninger. Ved høje driftstemperaturer skal samlingerne være sikre, for eksempel ved fastgørelsen af forbrændingsmotorers udstødningsrør.

Udover den beskyttende funktion skal de tekniske overflader opfylde de tribologiske krav til montagen. Den klassiske skruemontage udføres med en given friktionspåvirkning mellem klemdelens- og iskrueningsdelens bæreflader i samlingen, som sammen med det anvendte tilspændingsmoment har en afgørende indvirkning på den opnåede klemkraft i samlingen.

En procesoptimeret skruemontage forudsætter en konstant friktionsværdi med minimal spredning mellem gevindene og samlingens bæreflader. Smøring af befæstelseselementerne er derfor en grundlæggende forudsætning for, at en samling er af høj kvalitet.

I takt med, at lovkravene for en miljø- og sundhedsvenlig håndtering af industriprodukter stiger, kommer økonomien mere i fokus. Flydende smøring erstattes i højere grad af formonteret tørsmøremiddel til befæstelseselementerne i form af en topcoat. I mellemtiden er der introduceret nye systemer til overfladebeskyttelse. De har gode korrosionsegenskaber og er lige så gode eller endda bedre end de tidligere Cr(VI)-holdige kromateringer. Fastsættelsen af normer inden for overfladeteknikken er dog bagud i forhold til den industrielle overfladeteknologi. Standardiseringen af friktionsværdier og data for korrosionsbeskyttelse bliver stadig vanskeligere på grund af de mange forskellige Cr(VI)-frie overfladebehandlinger kombineret med topcoats.

Konklusion

Bilindustrien er en frontfigur, i forbindelse med fastsættelse af standarder til korrosionsbeskyttelse og friktionsværdier. Standarderne skal garantere en sikker montage samt opfylde krav til sikker drift. Globale virksomheder står under internationalt pres for at finde nye løsninger, der effektiviserer montage og drift forhold.

Anvendelsen af omfattende løsninger med et coatingskoncept til specifikke egenskaber er stigende. Der tilbydes især forskellige basiscoatings med topcoatings (f.eks. zinkflage-coatingssystemer). Antifriktions coatings med specifikke friktionskoefficienter påføres fortrinsvis af den samme overfladebehandler.

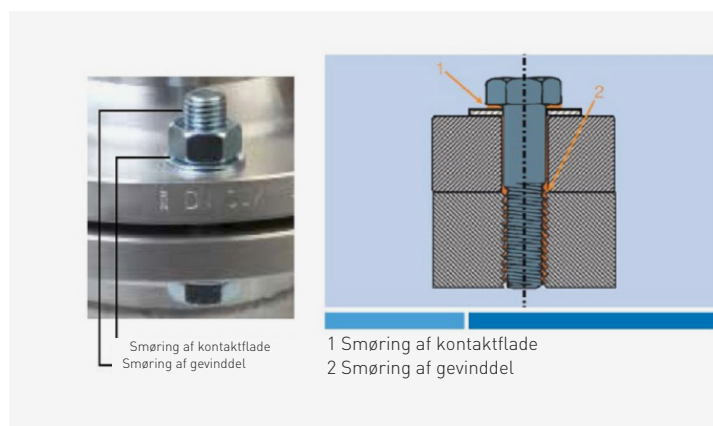


Illustration 2: Flangesamling med høje krav til tæthed og et så ensartet overfladetryk som muligt på grund af boltens forspænding.

DERFOR ER FRIKTION I SKRUEFORBINDELSER AFGØRENDE FOR PROCESKAPABILITETEN

Proceskapabilitet

Manuel montage uden kontrolleret tilspændingsproces er uegnet for skrueforbindelser, hvor den korrekte klemkraft skal sikres. Det er nødvendigt at tage højde for alle de faktorer, der påvirker processikkerheden, således at der tages højde for spredningen af friktionsværdien.

Via risikoanalyser af montageprocessen har bilindustrien fundet en god løsning. Direktivet VDI* 2862 kan bruges som grundlag for at klassificere skrueforbindelser og er en rettesnor, når der skal vælges befæstelsesløsning (* VDI = Vereins Deutscher Ingenieure). Dette direktiv inddeler skrueforbindelser i bilindustrien i tre risikoklasser. Den processikre montage kombineres således bl.a. med den korrekte anvendelse af værktøjerne.

Risikoklasse A

Direkte eller indirekte fare for liv og lemmer gælder, når fejl ved skrueforbindelsen med stor sandsynlighed kan resultere i sikkerhedsmæssige funktionsfejl eller ødelæggelse af maskinen/apparatet/køretøjet og der således er en direkte eller indirekte fare for liv og lemmer.

Risikoklasse B

Funktionsfejl gælder, når fejl ved skrueforbindelsen resulterer i en funktionsfejl i køretøjet.

Risikoklasse C

Kundeirritation gælder, når fejl ved skrueforbindelsen resulterer i irritation for kunden.

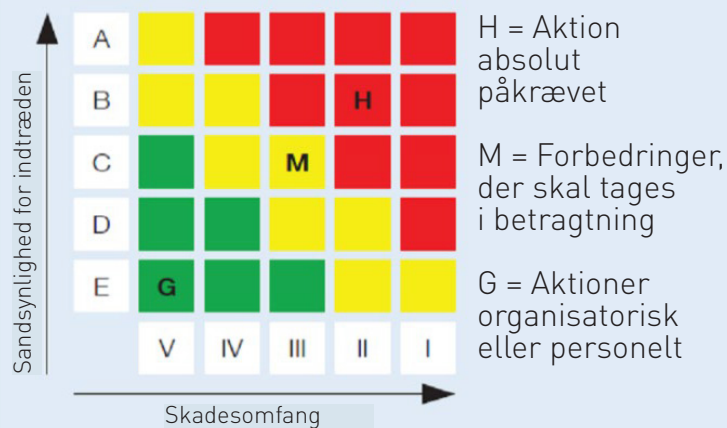


Illustration 3: Bossard illustration

Målbare procesforbedringer ved hjælp af nøgletal

Indikatorerne for proceskapabilitet C_p og C_{pk} er nøgletal til en statistik vurdering af proceskarakteristikken. De angiver, med hvor stor sikkerhed de iht. specifikationerne fastlagte mål og tolerancer overholdes. Således kan friktionsværdien, det angivne tilspændingsmoment eller den ønskede klemkraft være fastlagt som kontroltests.

C_{pk} -værdien defineres på følgende måde ud fra middelværdien μ , den tilknyttede standard-afvigelse σ og den øvre (OSG) eller nedre (USG) tolerancegrænse:

$$C_{pK} = \frac{\min(\mu - USG; OSG - \mu)}{3\sigma}$$

Jo højere C_{pk} -værdien er, jo større sikkerhed ligger hele målerækken inden for specifikationen.

C_p -værdien defineres som:

$$C_p = \frac{OSG - USG}{6\sigma}$$

C_p - og C_{pk} -værdien kan kun beregnes, når der er fastlagt en øvre og en nedre specifikationsgrænse.

Mens C_p -værdien kun angiver forholdet mellem den fastlagte tolerance i forhold til processpredningen, angiver C_{pk} -værdien yderligere middelværdiens position i forhold til den fastlagte tolerancemiddelværdi. I bedste fald (procesmiddelværdi ligger nøjagtig i midten af toleranceområdet) er $C_{pk} = C_p$; ellers er $C_{pk} < C_p$.

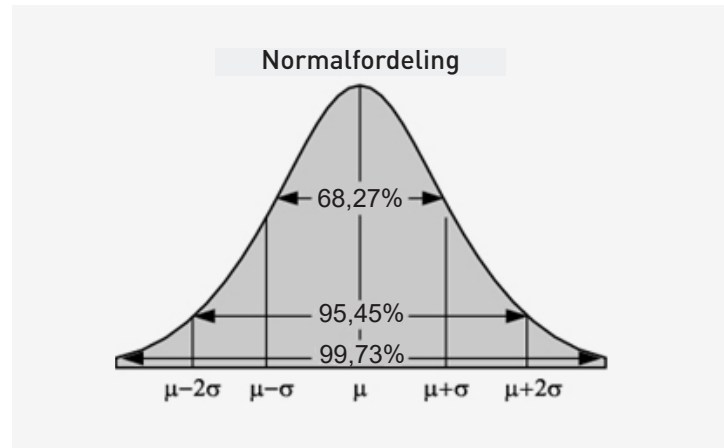


Illustration 4: Normal- eller Gauss-fordeling (efter Carl Friederich Gauss)

Konklusion

Kapabiliteten af montagen er en vigtig forudsætning for korrekt montage med kort montagetid. Afvigelser af friktionsværdien, eller endda knækkede skrue i forbindelse med montagen, kan ofte resultere i utilsigtede produktionsafbrydelser, hvilket skal forebygges ved hjælp af brugbare montage specifikationer. En høj montagekapabilitet betyder, at klemkraften implementeres korrekt.

DERFOR ER FRIKTION I SKRUEFORBINDELSER AFGØRENDE FOR PROCESKAPABILITETEN

Processikkerhed ved montage

Sikkerheden afgøres i høj grad af klemkraften i samlingen. Montagen sker på baggrund af montagespecifikationer og de tribologiske betingelser. Ved montagen påvirkes klemkraften i høj grad af friktionseffekten i gevindet og mellem kontaktfladerne. Virkningsgraden ved skruemontage er ikke højere end ca. 10 til 20 %!

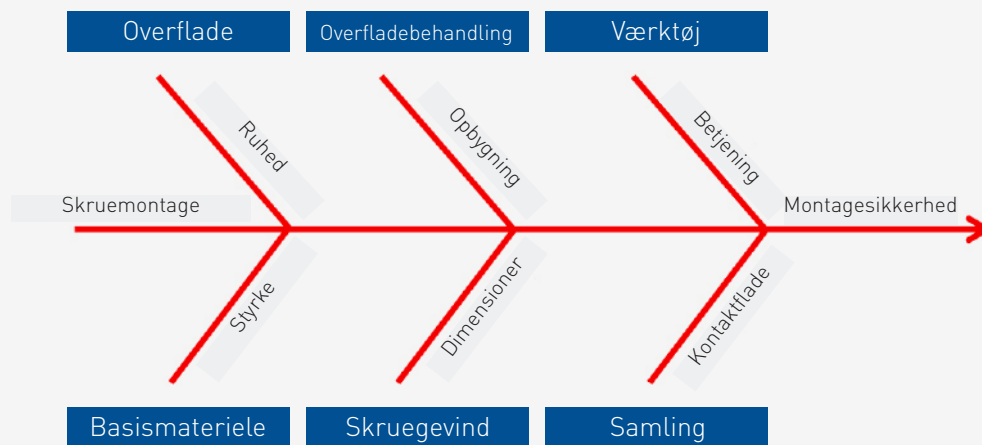


Illustration 5: Bossard illustration

Tribologiske betingelser ved skrueforbindelser

Den ønskede klemkraft iht. dimensioneringen kun kan opnås, hvis de tribologiske betingelser er klart defineret. En processikker montage betyder desuden en lille spredning af friktionen. I praksis kræves der direktiver for smøring, hvis samlinger skal være sikre. I overensstemmelse med «Lean-produktion», der står for kortere produktionstider og omkostningsnedsættelser, skal alle aktiviteter fra behov til færdigt produkt være fastlagt optimalt. Aktiviteter i produktionen som indledende foranstaltninger, der ikke er værdiskabende bør undgås (f.eks. klargøring, rengøring, vådsmøring osv.). Tribologisk tørsmøremiddel formonteres direkte på befæstelseselementet, og forbedrer den påkrævede montagesikkerhed med fastlagte tolerancer for friktionsværdier samt sikrer den ønskede klemkraft (Bossard Coatings som f.eks. ecosyn®-lubric). For at sikkerheden er garanteret, hvis der senere skal monteres nye befæstelseselementer, skal der bruges overfladebehandlede skruuelementer med integreret smøring.

Konklusion

Man opnår en økonomisk montage ved en simpel montageproces, hvor der anvendes korrekt montageværktøj. Hertil er befæstelseselementernes tribologiske egenskaber afgørende for at opnå den påkrævede klemkraft.

Der skal altid bruges nye befæstelseselementer, for at samlingerne er sikre, hvilket kan dokumenteres, hvis nødvendigt, ved produktlabelen (producent-batch).

DERFOR ER FRIKTION I SKRUEFORBINDELSER AFGØRENDE FOR PROCESKAPABILITETEN

Tribologi som udfordring

Omkring 1880 f.Kr. var ægypterne i stand til at transportere kæmpe statuer i alabast ved brug af friktionsreducering. Fra gamle optegnelser kan man udlede et smørekoncept, der klart angiver, hvordan tribologiske betingelser bruges.

I DIN 51834-2 beskrives tribologi således: „Tribologi er videnskaben om og teknikken bag interagerende flader i relativ bevægelse“. Videnskaben omfatter ikke kun områderne friktion, mekanisk slid og smøring, men også vekselvirkningerne mellem faste legemer, mellem faste legemer, væsker og gasser.

Friktion er en vekselvirkning mellem legemers overflader, der rører hinanden. Den modvirker en relativ bevægelse og er tab af mekanisk energi i forbindelse med igangsætning, opretholdelse eller afslutning af en relativ bevægelse af overflader, der rører ved hinanden. Friktion kan desuden betegnes som en irreversibel termodynamisk proces.

En mulig inddeling i friktionsklasser med vejledende værdier for diverse materialer/overflader og skrueforbindelsers smøretilstande fremgår af direktivet VDI 2230.

De publicerede oplysninger er som regel frembragt under laboratoriebetingelser og rumtemperatur og skal derfor genvurderes for hver applikation og specifik anvendelse. Friktionsværdierne μ_{tot} , μ_{th} , μ_{b} indeholder spredninger, da de er afhængige af mange faktorer, f.eks. materialesammensætning, overfladekvalitet (ruhed), overfladebehandling (rå, galvaniseret, zinkflage overfladebehandling osv.) og smøring (med/uden olie, molybdædisulfid, grafit-pasta, PTFE-smørremiddel osv.).

Fastlagte friktionsforhold er en vigtig forudsætning for kontaktheder og gevind mht. dimensionerings- og montagesikkerheden.

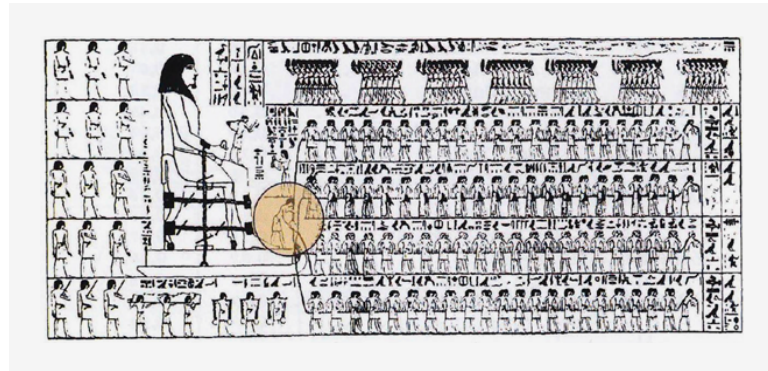


Illustration 6: Transport af en kæmpe alabaststatue i Egypten

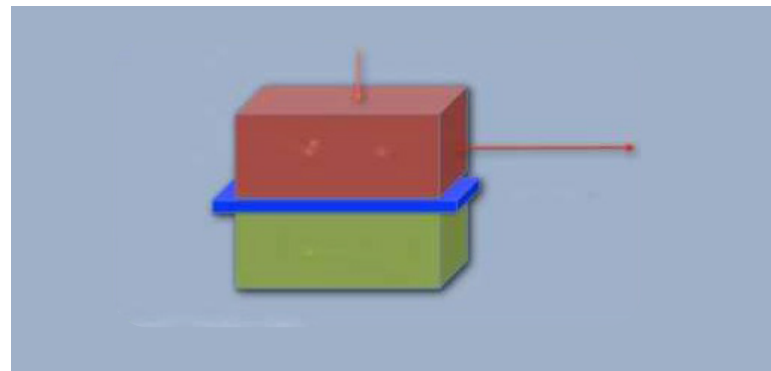


Illustration 7: Friktion i skrueforbindelsen og adskillelsen i samlingen og deres indflydelsesvariabler

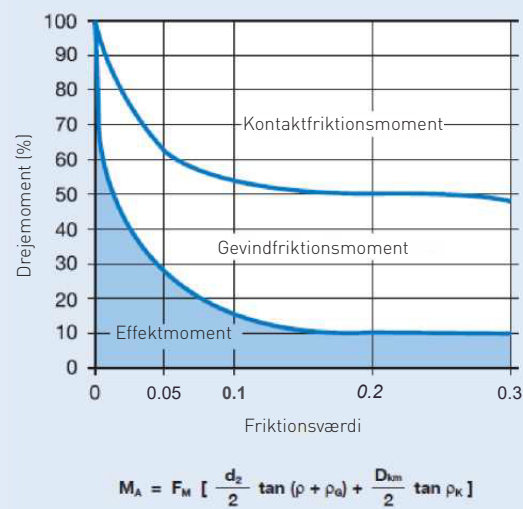


Illustration 8: Friktionsværdien μ er i betydelig grad afhængig af: Materialesammensætning, overfladekvalitet, overfladebehandling og smøring.

Mekanisk slid er defineret som fremskridende materialetab af et fast legemes overflade, fremkaldt af mekanisk påvirkning, dvs. kontakt og relativ bevægelse af et fast, flydende eller luftformet modlegeme. Mekanisk slid ses som små løsnede dele (slidpartikler) og som en ændring af den tribologisk belastede overflades materiale og form.

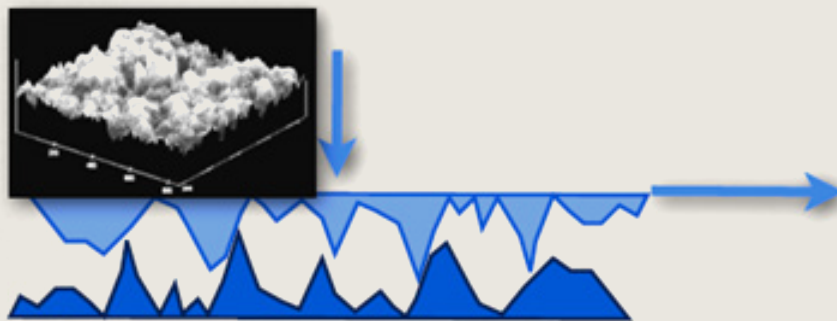


Illustration 9: Slid

Smøring

Et smøremiddels friktionsværdi μ_{tot} er vigtigt, når tilspændingsmomentet og den resulterende klemkraft i en skrueforbindelse skal bestemmes.

Brug af smøremidler er en forudsætning for sikre skrueforbindelser, især ved rå, galvaniseret overfladebehandlet, zinkflage overfladebehandlet eller rustfaste skruer. Den mulige driftstemperatur for skrueforbindelser ligger som regel mellem - 50 °C og maks. + 80 °C. Det konventionelle friktionskoefficientområde for en processikker montage, baseres typisk på en friktionsværdi μ_{tot} fra 0.1 (spredningssområde $\mu_{\text{tot}} = 0.1-0.14$).

Hvis der anvendes et andet smøremiddel med større spredningsområde end $\mu_{\text{tot}} = 0.1-0.14$ er det anbefalet og i flere tilfælde nødvendigt at foretage yderligere undersøgelser og tilpasninger. De reelle friktionsværdier bør kontrolleres, eventuelt periodisk.

Hvis smøretilstanden er „tør“, skal der tages særligt hensyn, og det er ikke muligt at stille krav til en kontrolleret spænding (friktionsværdierne er ikke fastlagt).

I stedet for flydende smøremidler anvendes i stigende grad tribologiske tørsmørringer, såkaldte der er særligt økonomiske. Endvidere er de:

- Fastlagte smøreforhold med høj sikkerhed ved montage og vedligeholdelse
- Smøring kan ikke glemmes
- Økonomisk montage, demontage uden ekstra arbejdsforberedelse
- Reducering af montageomkostninger pga. effektive arbejdsprocesser

De tribologiske tørsmørringer er systemløsninger til mekanisk belastede befæstelseselementer (skrue, møtrikker, skiver). De bliver påført med af ikke elektrolytisk påføres i tynde lag, hvor der er integreret smøreegenskaber. Der findes tribologiske tørsmørringer der bliver belagt mekanisk og elektrolytisk.

Topcoats (f.eks. antifriktion coatings) danner en glat film, der udligner alle overfladens ujævnheder og optimerer friktionsforholdene - også ved ekstreme belastninger og arbejdsbetingelser.

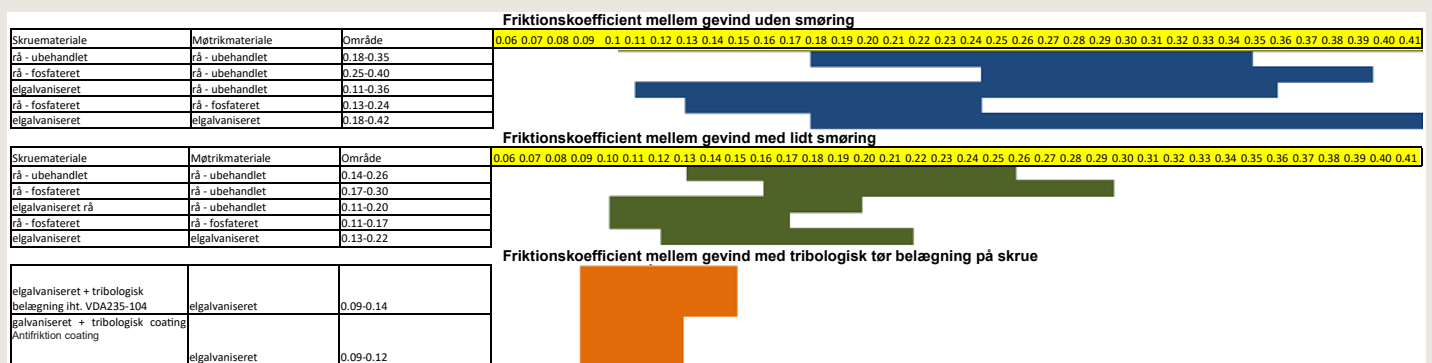


Illustration 10 Effekt af smøring

Konklusion

Tribologi er et interdisciplinært fagområde for optimering af mekaniske teknologier, ved at reducere friktion og slid ved hjælp af smøring, hvorved man reducerer energi- og materialetab. Befæstelsens overfladebehandling vil under drift være udsat for funktionel erosion, hvilket vil tære på overfladebehandling, f.eks. farven, tribologiske- og korrosionsegenskaber, som øger risikoen for funktionsfejl og giver anledning til udskiftning. Den funktionelle erosion afhænger ligeså af iskruningsmaterialet. Derved anbefales løbende observationer, gentagende kontrol samt vurdering af sikkerhedsrelevante skrueforbindelser.

Mål for tribologiske foranstaltninger til optimering af maskintekniske systemer	Målet er opnået - brugernes tilbagemelding (100 % = 978 tilbagemeldinger)
1. Forlængelse af levetiden	
2. Ingen vedligeholdelse	
3. Forøgelse af belastning/omdrejning	
4. Produktionsforbedring	
5. Reducering af elektrisk tabsydelse	
6. Reducering af lækage, tætning	
7. Nedsat støjniveau	
8. Anvendelse ved høje temperaturer	
9. Vibrationsnedsættelse	
10. Vægttnedsættelse	
11. Andet	

Illustration 11 Typiske opgaver inden for tribologi



Hvis du har brug for yderligere hjælp eller har specielle krav til din applikation, kan du kontakte os på www.bossard.dk og vores ingeniører vil vende tilbage til dig.