

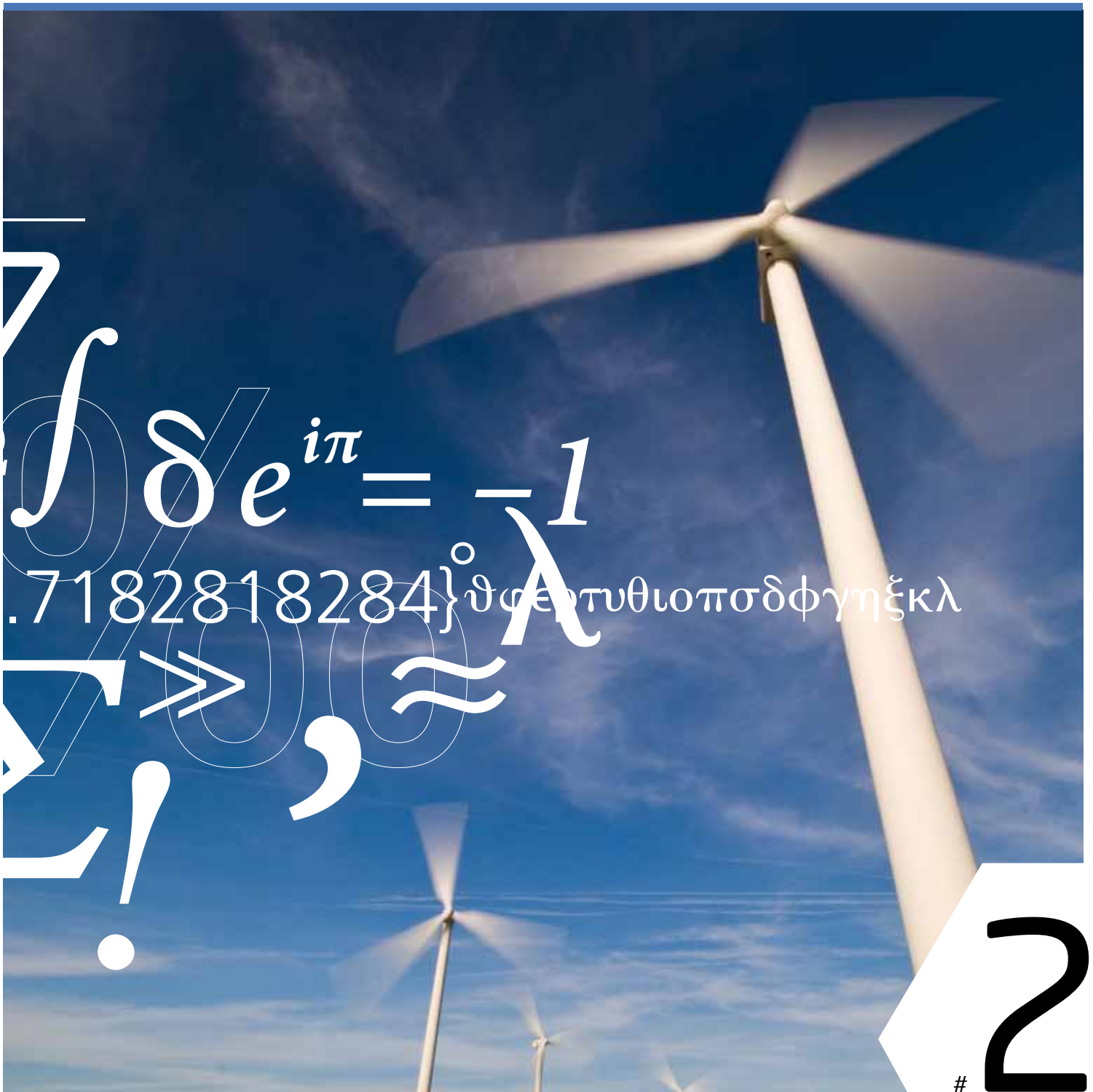


Dansk Industri

Danmarks Tekniske Universitet



Materialer og processer for industrielle anvendelser



$$\int \delta e^{i\pi} = -1$$

.7182818284} ϑ φ ε ρ τ υ θ ι ο π σ δ φ γ η ξ κ λ

! > ≈ ,

2



Nye materialer – en vigtig nøgle til vækst og konkurrenceevne

Samfundets store udfordringer inden for fødevarer, energi, transport, sundhed, miljø og global konkurrenceevne forudsætter markante landvindinger inden for nye materialer og processer.

De virksomheder, som tager nye materialeløsninger effektivt i brug, bliver blandt fremtidens vindere. Valget af materialer og metoder til forarbejdning rummer imidlertid store udfordringer. Blandt nøgleordene er skræddersyede egenskaber, optimal materialeopførsel, forudsigtelig holdbarhed, kontrolleret miljøpåvirkning og minimalt forbrug af Jordens knappe ressourcer.

Nutidens komplekse produkter, hvor mange forskellige materialer kombineres ved hjælp af avancerede fremstillings- og samlingsprocesser, fordrer en dybtgående viden om, hvad der sker i materialerne under forarbejdning og efterfølgende drift. Dette materialekendskab er en vigtig konkurrenceparameter, som har direkte betydning for produktets kvalitet, levetid og pris.

For at accelerere udviklingen af nye løsninger inden for materialeområdet har Danmarks Tekniske Universitet og Dansk Industri iværksat dette ”sektorudviklingsinitiativ”. Initiativet har som målsætning at styrke danske teknologi-intensive virksomheders internationale konkurrenceevne. Initiativet søger ikke at beskrive alle de mange materiale-

udfordringer og -muligheder. Over en række workshops har virksomheder og forskere fra DTU i fællesskab indkredset centrale, teknologiske materialeudfordringer og materialeløsninger - med udgangspunkt i virksomhedernes konkrete problemstillinger.

Rapporten peger på en række konkrete indsatsområder og viser et klart **behov for en større national forsknings- og innovationssatsning inden for materialeforskning** for at øge produktiviteten og danske virksomheders konkurrenceevne.

Sektorudviklingsinitiativets sigte og arbejdsform er det første af sin art mellem DTU og DI. Vi mener afgjort, at denne bottom-up proces, som tager udgangspunkt i virksomhedernes konkrete behov, har vist sig som en brugbar arbejdsform. For dels at sikre konkret opfølgning og resultatskabelse på materialeområdet samt dels at forbedre initiativets arbejdsform, opfordrer vi læseren til at kontakte os med eventuelle bemærkninger og råd vedrørende både samarbejdsmuligheder, indhold og arbejdsform.

God læselyst!

Niels Axel Nielsen
Koncerndirektør, DTU

Charlotte Rønhof
Forskningspolitisk chef, DI

Redaktionsgruppe

Niels Axel Nielsen, Koncerndirektør DTU
Charlotte Rønhof, Forskningspolitisk chef, DI
Marcel A.J. Somers, professor, DTU Mekanik
Daniel Minzari, Civilingeniør Ph.D., IPU
Richard B. Larsen, Chefkonsulent, DI
Morten Andersen, forskningsjournalist, City Pressekontor
Jan E. Molzen, Kontorchef, DTU
Nicoline Kieler, Specialkonsulent, DTU

Virksomheder

Coloplast

Finn A. Sonnenborg, Principal Technology Scouting Manager
Hanne Everland, Director Materials
Hanne Jensen, Principal Technology Scouting Manager
Jacob Vange, Principal Scientist GRD Tech Biomaterials

Cook Medical

Kasper Klausen, Reseach Engineer

Dong Energy

Kristian Vinter Dahl, Materials Engineer
John Hald, Materials & Components

FL Smidth

David Dam Olsson, Reserch Engineer

Force Technology

Torben Lorentzen, Udviklingschef

Grundfos

Morten Ørsnæs, Senior Development Engineer

Haldor Topsøe A/S

Maria Jose Landeira Oestergaard, Principal Engineer, Senior Materials Specialist

Hempel

Søren Nyborg Rasmussen, Director R&D, Protective Coatings
Mads Juhl, R&D Manager, Oil & Gas

LORC

Christian Højerslev, Senior Specialist

Lindoe Welding Technology A/S

Christian Højerslev, Adm. Direktør (har også deltaget i regi af tidligere ansættelse i LORC)

Man Diesel & Turbo

Jesper Vejøl Carstensen, Senior Research Engineer

Novo Nordisk

Lasse Wengel Christoffersen, Manager Materials

SP Group

Jens Hinke, Direktør R&D

DTU forskere

Marcel A.J. Somers, professor, DTU Mekanik (tovholder på Materialer udsat for ekstreme påvirkninger)
Kristoffer Almdal, professor, DTU Nanotech (tovholder på Materialer i kontakt med biologiske systemer)
Hans Nørgaard Hansen, professor, DTU Mekanik (tovholder på Sammenføjninger)
Per Møller, professor, DTU Mekanik (tovholder på Skræddersyede overflader)
Henning Friis Poulsen, professor, DTU Fysik (tovholder på Instrumenter i verdensklasse)
Ole Hassager, professor, DTU Kemiteknik
Søren Hvilsted, professor, DTU Kemiteknik
Christian Berggreen, lektor, DTU Vindenergi
Bent F. Sørensen, sektionsleder, DTU Vindenergi

Henvendelser vedr. rapporten kan rettes til specialkonsulent Nicoline Kieler, DTU, nikie@adm.dtu.dk

Indhold

Resumé	6
1. Materialer udsat for ekstreme påvirkninger	10
2. Materialer i kontakt med biologiske systemer	18
3. Sammenføjninger	24
4. Skræddersyede overflader	30
5. Andre perspektiver	38
6. Instrumenter i verdensklasse	40
7. Konklusioner og anbefalinger	44

Resumé

“Vi kæmper med næb og klør for at opretholde produktion i Danmark. Det kan imidlertid kun ske, hvis vi forstår at tilføre så meget knowhow, at det opvejer de højere lønomkostninger. I den sammenhæng er viden om materialer netop det, der flytter os i forhold til konkurrenterne. Teknisk design er for eksempel også vigtigt, men knowhow inden for materialer er det virkelig afgørende.”

*Jens Hinke
Udviklingsdirektør i SP Group*

Materialer er den usynlige vækstfaktor

Danske virksomheder skal være førende i anvendelsen af nye materialer og processer for at være konkurrencedygtige på det globale marked. Men, virksomhederne møder i dagligdagen en række materiale- og proces-teknologiske problemstillinger, som kun kan løses i et tæt samspil med forskningsmiljøer inden for forskellige fagområder. Det gælder ikke mindst for løsningerne på tidens store udfordringer inden for fødevarer, vand, energi, sundhed, transport og ressourceeffektivitet.

Det er baggrunden for, at DTU og DI har igangsat dette sektorudviklingsinitiativ. Danske industrivirksomheder og forskere ved DTU har i fællesskab indkredset en række centrale temaer, hvor en materialeteknisk udvikling markant vil kunne fremme danske fremstillingsvirksomheders internationale konkurrenceevne.

Følgende virksomheder har indgået i arbejdet: Coloplast, Cook Medical, DONG Energy, FLSmidth, Force Technology, Grundfos, Haldor Topsøe A/S, Hempel, Lindoe Offshore Renewables Center, MAN Diesel & Turbo, Novo Nordisk og SP Group. Forskere fra en række institutter ved DTU har deltaget i arbejdet: DTU Mekanik, DTU Nanotech, DTU Kemiteknik, DTU Fysik og DTU Vindenergi. Arbejdet er typisk gennemført af udviklingschefer fra virksomhederne og forskningsledere fra DTU som i en workshoprække kombineret med skrivegruppe-analyser har udarbejdet oplæg og konklusioner.

Virksomhederne og forskerne ved DTU har identificeret udfordringer og veje til mulige løsninger samt behov for ny forskning, som på kort eller længere sigt kan styrke virksomhedernes produktivitet og konkurrenceposition. Arbejdet har med udgangspunkt i de af virksomhederne definerede problemstillinger centreret sig om fire områder, hvor materialemæssige udfordringer er konkretiseret og hvor mulige løsninger er indkredset, med særlig fokus på behovet for teknologiudvikling og procesindsigt. De fire områder, som beskrives i hver sit kapitel i denne rapport, vedrører:

Materialer udsat for ekstreme påvirkninger: Industrien står over for en række problemstillinger, hvor materialer udsættes for ekstreme belastninger og påvirkninger fra det omgivende miljø. Disse belastninger kan være af kemisk, mekanisk eller termisk karakter og giver anledning til hurtig nedbrydning af materialerne gennem korrosion, slid, udmattelse eller krybning. På møderne mellem industri og forskere blev udfordringer og

løsningsmuligheder inden for følgende områder fremhævet:

- Slid ved produktion af cement, stenuld og ved neddeling af træpiller
- Erosion på vindmølevinger
- Udmattelse af højtbelastede gearkasse-komponenter i vindmøller
- Højtemperatur-korrosion ved afbrænding af biomasse, i skibsmotorer, brændselsceller og i procesudstyr

Materialer i kontakt med biologiske systemer: Når et materiale kommer i kontakt med et biologisk system, vil der oftest ske en vekselvirkning, der kan være ønskelig eller uhensigtsmæssig. Det betyder, at der er en række udfordringer forbundet med at kontrollere og forudsige interaktionen mellem proteiner og materialeoverflader. Ved aktivt at designe materialers kemi og overfladestruktur kan sådanne vekselvirkninger skræddersyes, kontrolleres og forudsiges. På møderne mellem industri og forskere blev udfordringer og løsningsmuligheder inden for følgende områder fremhævet:

- Implantater i blødt væv
- Hudallergi og bionedbrydelige medicoprodukter
- Medicinsk emballage af polymermaterialer
- Produktion af stamceller

Sammenføjninger: Stedet, hvor to dele er forbundet med hinanden, udgør ofte akilleshælen i en konstruktion. Danske virksomheder har gennem tiden udviklet avancerede løsninger inden for svejsning, limning og mekaniske samlinger, men industrien står fortsat over for en række udfordringer relateret til samling af materialer til produkter. Det gælder f.eks. i forhold til:

- Svejsning af uens materialer
- Samleprocesser på mikroskala
- Automatisering af svejseprocesser
- Direkte opbygning af emner i metal

Skræddersyede overflader: Kapitlet sætter fokus på, hvordan skræddersyede overflader kan sikre nye, innovative materialeløsninger, der kan løse strukturelle materialeudfordringer og skabe overflader med øget funktionalitet. På møderne mellem industri og forskere blev udfordringer og løsningsmuligheder inden for følgende områder fremhævet:

RESUMÉ

- Antibakterielle overflader
- Selvrensende og vandskyende overflader
- Overflader med særlige elektriske egenskaber

Anbefalinger

Rapporten viser, at der nu bør etableres et stort, nationalt forsknings- og innovationsprogram inden for materialeforskning. Løsning af danske virksomheders konkrete materialeudfordringer bør samtidig være en central del af de initiativer, der nu igangsættes som led i udmøntningen af regeringens innovationsstrategi. Dette vil kunne bidrage væsentligt til danske virksomheders innovation, produktivitet og konkurrenceevne. Konklusionerne fra de afholdte workshops mellem industrien og forskere fra DTU er i det følgende sammenfattet i seks overordnede anbefalinger.

Anbefaling # 1: Behov for en tværgående platform

Eksemplerne i rapporten viser med al ønskelig tydelighed, at tværfaglig viden er en forudsætning for at løse industriens problemstillinger. Heri ligger først og fremmest en organisatorisk udfordring i forhold til at fremme en kultur, hvor forskerne ikke alene søger løsninger inden for eget felt, men også bygger videre på løsninger opstået i andre fagmiljøer. Som løsning på dette anbefaler rapporten, at der etableres en national platform for materialeforskning, design og udvikling. F.eks. i form af en SPIR (Strategic Platform for Innovation and Research). Platformen skal fungere som portal for danske virksomheders adgang til tværvidenskabelige løsninger og fostre innovative, tværfaglige forsknings- og udviklingsprojekter som er drevet af de udfordringer, som virksomhederne står overfor.

Anbefaling # 2: Hurtigere vej fra forskning til anvendelse af nye løsninger

Fra et nyt materiale opfindes, til det tages i brug på markedet, kan det tage flere år. Rapporten anbefaler derfor, at nye initiativer har fokus på at forkorte vejen fra opfindelse til anvendelse og sikre en bedre nyttiggørelse af nye forskningsresultater i virksomhederne. Der er markant behov for værktøjer til f. eks. risikovurdering, kvalificering og validering samt simulerings- og modeleringsværktøjer. Målet i det amerikanske "Materials Genome Initiative" om at halvere den tid, der går fra et nyt materiale opfindes til dets implementering i industriel skala, bør være en inspiration og samarbejdskilde for en dansk satsning på området.

Anbefaling # 3: Øget omfang og styrket fokus på forskningsprojekter, der løser virksomhedernes materialeudfordringer

Ialt gennemgår rapporten flere end 20 centrale materiale-

udfordringer, som danske fremstillingsvirksomheder står over for i hverdagen, eksempelvis slid, højtemperaturkorrosion, svejsning af uens materialer, samleprocesser på mikroskala, antibakterielle overflader, selvrensende overflader, implantater i blødt væv, bionedbrydelige medicoprodukter. Der er behov for, at forskning inden for emner som disse udføres i tæt samspil mellem virksomheder og videninstitutioner.

Anbefaling # 4: Parat til start af nye internationale forskningsanlæg

I de kommende år vil to avancerede forskningsfaciliteter blive bygget i Lund i Sverige. Neutronkilden ESS, som vil blive verdens største og mest avancerede af sin slags, og synkrotronen MAX IV. Samtidig etableres den europæiske røntgenfacilitet XFEL i Hamborg. Disse nye forskningsinfrastrukturer giver danske virksomheder og universiteter en enestående chance for at udnytte avancerede forskningsanlæg med store perspektiver for karakterisering af materialer. Imidlertid er der en række barrierer for virksomheder, der har interesse i at udnytte mulighederne. Rapporten anbefaler derfor, at der på universiteterne etableres samarbejdsstrukturer og industriportaler, som kan sikre fuld udnyttelse af det innovationspotentiale, som ligger i anlæggene. Faciliteter såsom et 3D Imaging center på DTU vil bidrage til at løfte den opgave.

Anbefaling # 5: Mere uddannelse – en afgørende byggesten i udviklingen af fremtidens materialer

Uddannelse af de rette kandidater er en af de væsentligste veje til at sikre virksomhedernes konkurrencedygtighed. Rapporten påpeger, at det er afgørende, at universiteterne gennem deres aftagerpaneler, advisory boards og lignende har et konstant fokus på, om nye anvendelsesmuligheder giver anledning til rekrutteringsproblemer i industrien. Dette gælder ikke mindst i forhold til ESS og MAX IV, hvor svenske undersøgelser viser, at der eksisterer et betydeligt efterslæb med hensyn til kompetencer.

Anbefaling # 6: Øget international videndeling

Der er igangsat væsentlige internationale initiativer, hvor det er vigtigt, at danske videninstitutioner og virksomheder markerer sig, så de får del i den nyeste viden. Materialeforskning har bl.a. en fremtrædende plads i EU's kommende rammeprogram for forskning og innovation, Horizon 2020. Et andet eksempel er det amerikanske Materials Genome Initiative. Hvis danske virksomheder ikke skal hægtes af den udvikling inden for materialeområdet, som sker andre steder i verden, anbefaler rapporten, at danske virksomheder og videninstitutioner tilskyndes til øget deltagelse i internationale forskningsinitiativer.

Materials Genome Initiative

Det amerikanske Materials Genome Initiative blev lanceret af præsident Barack Obama i juni 2011. Indsatsen har til formål at halvere den tid, der går fra et nyt materiale udvikles til dets implementering på industriel skala. Samtidig skal industriens omkostninger ved at bringe de nye materialer i anvendelse mindskes. Indsatsen støtter bl.a. udvikling af beregningsværktøjer til simulering og modellering, udvikling af nye metoder til materialekarakterisering og analyse samt udvikling af åbne standarder og databaser. Centralt for indsatsen er bestræbelserne på at involvere alle aktører på materialeområdet, både akademiske institutioner, små og store virksomheder, faglige organisationer og statslige organer som forsvarsministeriet og forskningslaboratorier. Indsatsen har særligt fokus på udvikling af materialer til den nationale sikkerhed, materialer til menneskers sundhed og velfærd samt materialer til ren energi. Alene i 2012 var der afsat 100 mio. dollars til opstart af indsatsen.

Læs mere: www.whitehouse.gov/mgi

Materialer er hjørnesten i EU's innovation

I juni 2012 fremlagde Europa-Kommissionen en strategi for såkaldte understøttende nøgleteknologier (Key Enabling Technologies). Det vil sige teknologier, som er afgørende for fremskridt på en lang række andre områder. To af de i alt seks nøgleteknologier er henholdsvis materialeforskning (advanced materials) og avancerede fremstillingsprocesser (advanced manufacturing and processing), som er tæt forbundet med materialeforskningen. De fire øvrige nøgleteknologier er IT, nanoteknologi, bioteknologi og rumfart. At beherske disse i alt seks nøgleteknologier betyder ifølge kommissionen at "være på forkant i omstillingen til en klimavenlig, videnbaseret økonomi". Nøgleteknologierne er samtidig "afgørende for europæisk industri's konkurrenceevne i videnøkonomien". Strategien lægger op til, at de seks nøgleteknologier skal have særlig opmærksomhed ved tildelingen af midler fra EU's kommende rammeprogram for forskning og innovation, Horizon 2020. Programmet dækker perioden fra 2014 til 2020. Ca. en fjerdedel af midlerne i programmet skal gå til at udvikle de seks nøgleteknologier og bringe løsningerne i kommerciel anvendelse.

Læs mere:
www.ec.europa.eu/research/horizon2020



1. Materialer udsat for ekstreme påvirkninger

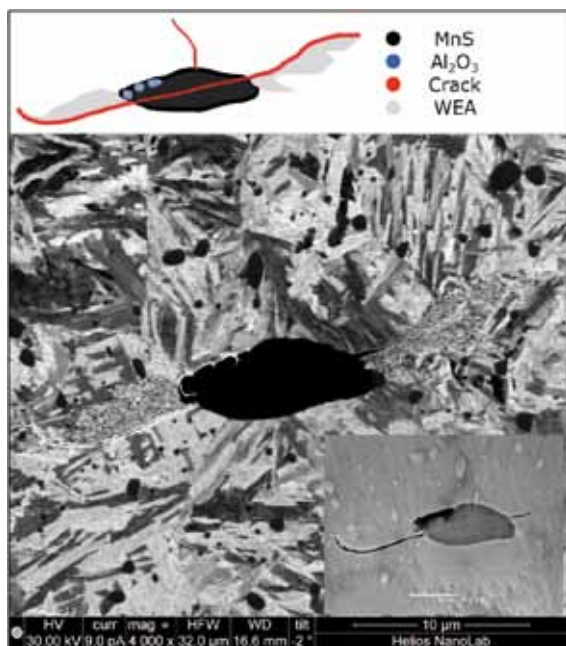
MATERIALER UDSAT FOR EKSTREME PÅVIRKNINGER

Klar til slid, udmattelse og korrosion

Der er store forretningsmuligheder i at få materialer til at holde til mere, end de kan i dag. Det kan samtidig føre til betydelige gevinster for samfundet. For eksempel kan materialeforskning gøre produktionen af strøm ud fra afbrænding af biomasse langt mere effektiv. Det vil gavne biobrændslernes driftsøkonomi, miljøet og klimaet.

Hver eneste dag bliver materialer udsat for belastninger, som de ikke kan holde til i længden. Det gælder for eksempel for langt de fleste bevægelige dele i maskiner i industrien, som før eller siden må skiftes ud. Komponenterne bliver udsat for slid, en ekstrem mekanisk påvirkning. Det skønnes, at samfundet hvert år taber ca. tre procent af BNP på grund af skader fra slid og udmattelse. Det svarer til 47 milliarder kr. Til sammenligning var de samlede offentlige bevillinger til forskning i 2012 på knap 20 milliarder kr. Med andre ord er der store gevinster at hente, hvis man kan få materialer til at holde længere. Dermed er der også gode forretningsmuligheder for virksomhederne.

Tilsvarende store muligheder er der ved at forebygge skader fra korrosion. Her er der i mange tilfælde tale om en ekstrem kemisk påvirkning, som materialet ikke kan modstå. Korrosion vurderes, lige som slid og udmattelse, at forårsage et tab på ca. tre procent af BNP årligt.



Revnedannelse ved en inklusion i lejrstål til vindmølle.

Omfanget af tabene ved slid og korrosion stammer fra en rapport udarbejdet af World Corrosion Organization i 2009. Rapporten bygger på tal fra amerikansk industri, som har endnu højere tab. Ud fra forskellene mellem industrien i USA og i Danmark, hvor vi har en lavere andel af tung industri, er tabene forsigtigt skønnet til samlet set seks procent af BNP for både slid og korrosion.

Skaderne er især problematiske, hvis de kommer uden varsel. Desværre ser man ganske ofte, at fejl opstår pludseligt. Det kan i værste fald medføre fare for mennesker. Pludselige nedbrud har også tendens til at forårsage større udgifter i form af følgeskader på andet udstyr og reparation sammenlignet med udgifterne ved planlagt vedligeholdelse.

Problemstillingen betyder naturligt nok, at mange tøver med at indføre nye materialer. Frygten for, at ukendte faktorer kan føre til et nedbrud, overskygger ofte lysten til at høste gevinsten ved at anvende et nyt og bedre materiale. Man holder sig hellere til det, man kender.

Derfor er det ikke i sig selv nok at udvikle en ny materialeløsning. Det gælder også om at forstå, hvorfor løsningen er bedre. Simulering af væksten af de mulige skader med tiden er en forudsætning for at kunne skønne komponentens restlevetid. Endelig skal der være metoder til at overvåge komponenterne, så man kan sætte ind, inden fejl opstår, og det skal være let at skifte komponenter, der er blevet slidte.

Vedvarende energi kræver bedre materialer

Stadig flere kraftværker fyrer med biomasse. Imidlertid kan værkerne ikke udnytte energiindholdet i brændslerne nær så godt som for kul. Det skal materialeforskning lave om på. Også vindmøllerne kræver bedre materialer. Her er fundamentet til hav-vindmøller et stort kommende forskningsområde.

Danmark er godt i gang med at omstille sig fra fossile brændsler til vedvarende energi. Især står biomasse og vindkraft højt på dagsordenen, men på begge områder skal der ske markante forbedringer af materialer og forarbejdning. Det mener John Hald, Manager, Power Materials & Components, DONG Energy:

”DONG Energy har haft tæt samarbejde med især DTU gennem 30 år om materialeforskning. På et kraftværk vil materialer altid være udsat for ekstreme påvirkninger, og forskningen har medvirket til, at vi har kunnet udsætte materialerne for mere end tidligere. Det har betydet, at vi har kunnet holde en højere temperatur i kraftværkernes kedler. Det giver en bedre udnyttelse af brændslet. Således kunne vi trinvis hæve den såkaldte el-virkningsgrad fra 40 til 47 procent på de kulfyrede kraftværker. Eller sagt på en anden måde kan vi i dag få 20 procent mere strøm ud af den samme mængde kul. Det betyder en stor økonomisk gevinst og en tilsvarende besparelse for miljø og klima.”

Uden den forbedring af effektiviteten, som Danmark har været frontløber for, ville kulkraften have belastet miljø og klima væsentligt mere, end det er tilfældet.

”Alle rapporter viser jo, at verdens forbrug af kul fortsat stiger. Så betydningen har været enorm, og materialeforskning har spillet en væsentlig rolle for, at det kunne lade sig gøre,” konstaterer John Hald og fortsætter:

”Selvom Danmark ikke satser på kulfyret energiforsyning fremover, kan vi bestemt bygge videre på erfaringerne. Her tænker jeg især på kraftværker, der helt eller delvist bliver fyret med biomasse.”

Udsigt til danske arbejdspladser

Ganske vist kan man ikke bruge de samme materialer som på kulfyrede kraftværker til de biomasse-fyrede. Det skyldes især, at biomasse indeholder en række stoffer, som er meget aggressive med hensyn til at forårsage korrosion. Det kan de særlige stållegeringer, som er udviklet til kedlerne på kulfyrede værker, ikke holde til.

”I første omgang har vi været nødt til at holde forbrændingstemperaturen lavere på de biomasse-fyrede værker. Vi er så at sige rykket tilbage til de temperaturer, som var gældende for kulkraften, inden materialeudviklingen satte ind. Nu gælder det om at få temperaturen, og dermed også el-virkningsgraden, hævet igen. Det skal ske ved at udvikle nye materialer, som passer perfekt til at fyre med biomasse,” siger John Hald.

I den forbindelse skal man ikke forvente, at der kan opnås det helt store ved at udvikle nye stållegeringer.

”I stedet forestiller vi os at coate kedlernes overflade med særlige belægninger, der er modstandsdygtige over for korrosion. Den gode nyhed er i øvrigt, at det kan der være danske arbejdspladser i. Mens stålproduktion er sværindustri, som ligger dårligt for Danmark, vil udvikling af coating være mere nichepræget. Samtidig vil det formentlig være muligt at beskytte nogle af tingene med patenter. Så vi forventer, at en række danske virksomheder har mulighed for at byde ind.”

Oversete fundamentet

En anden energiform, som er meget afhængig af materialeforskning, er vindkraften.

”Et eksempel er hav-vindmøller, som er endnu mere udsatte for ekstreme belastninger end vindmøller på land. Det giver anledning til udmattelse i gear og lejer,” forklarer John Hald.

”Svaret kan være overfladehærdning af de kritiske komponenter. Her skal forskningen blandt andet vise, hvor langt man kan få hærdeningen til at gå ned i overfladen. Desuden er der naturligvis forskningen i de materialer, som bruges i vingerne. Her har der været forsket intensivt i hele vindkraftbranchens historie, og forskningen er stadig helt afgørende, fordi vingerne bliver stadig længere og dermed udsat for endnu mere ekstreme belastninger.”

Endelig peger John Hald på behovet for forskning i materialer til fundamentet til hav-vindmøller:

”Området har måske været lidt overset. Man har udnyttet olie/gas-branchens erfaringer med offshore-fundamenter til vindmøllerne også. Men i takt med, at møllerne vokser i størrelse, bliver det stadig mere synligt, at der er behov for særlige løsninger. Først og fremmest giver vindtrykket en belastningsprofil, hvor møllernes dynamik er anderledes end for en olie/gas-plattform. Det betyder sammen med stadig større vanddybder, at man er nødt til at gå væk fra de traditionelle enkelt-pæle fundamentet. I stedet må man satse på gitter-fundamenter. Her bliver styrken af samlingerne i gitteret meget afgørende. Der er stort behov for forskning, der kan afdække de rigtige valg af materialer og geometrier til fundamentet.”

For dyrt at overdimensionere

Samtidig er der væsentlig forskel mellem offshore vindkraft og olie/gas med hensyn til, hvor kritisk omkostningen til fundamentet er, slår John Hald fast:

”I olie/gas-branchen har man råd til at overdimensionere sit fundament, fordi den ekstra omkostning trods alt er beskeden i forhold til værdien af de råstoffer, man henter op. Det samme er ikke tilfældet ved vindkraft, hvor økonomien i et projekt kan blive fuldstændig ødelagt af en stor udgift til fundamentet. Derfor er det særdeles vigtigt for offshore-vindkraftens fremtid, at man udvikler holdbare materialer med stor styrke, så man holder udgifterne til materialer så lave som muligt. Det gælder både for materialerne i selve møllerne og for fundamentet.”

MATERIALER UDSAT FOR EKSTREME PÅVIRKNINGER

Sådan kan materialerne tåle ekstreme belastninger bedre

Danske virksomheder udfordres på mange måder af problemer omkring materialer, der udsættes for ekstreme belastninger og påvirkninger fra det omgivende miljø. Dialogen med industrivirksomhederne har udmøntet sig i en række områder, hvor udvikling af løsninger på de nuværende materialeudfordringer vil betyde en væsentlig forøgelse af de involverede virksomheders konkurrenceevne.

Slid ved produktion af cement og stenuld

Formaling af mineraler til cement foregår i såkaldte vertikalmøller ved høj temperatur. Der er en høj grad af slid på udstyret. Lignende udfordringer findes i stenulds- og glasuldsproduktion, hvor meget dyre, specialfremstillede spindler bruges til at danne uld af den flydende sten- eller glasmasse. I den nuværende løsning anvendes hvidt støbejern, hvor kromkarbider udfældes fra smelten under størkningen. Alternative løsninger er efterspurgt, da der til stadighed opleves voldsomt materialenedbrud. Det har vist sig, at "hard-facing" teknologier, hvor mere hårdføre metaller pålægges et underliggende substrat ved hjælp af svejseteknologier, kan mindske sliddet på procesudstyret. Metoden er imidlertid dyr.

Mulige løsninger

Det ville være ideelt, hvis man kunne fremstille komponenterne i keramiske materialer, som er meget modstandsdygtige over for slid. Det kan man desværre ikke umiddelbart, fordi keramiske materialer har væsentligt dårligere mekaniske egenskaber i forhold til metaller. Der bør fokuseres på hybrid-løsninger, hvor man indfører meget hårde og slidbestandige keramiske faser i en metal-matrix. På den måde kan de gunstige slid-egenskaber fra det keramiske materiale kombineres med de gode mekaniske egenskaber fra det omgivende metal. En fremstillingsteknologi til formålet findes endnu ikke. Her kunne man overveje at udvikle slidbestandige partikler, som ikke smelter, men som medindfældes under støbning af komponenterne. Udfordringen er at identificere passende faser og modificere dem, så de er kompatible med smelten og efterfølgende hænger sammen med det størknede metal. En anden tilgang kunne være at medudfælde slidbestandige partikler i en elektro-pletterings-proces. Tilsvarende teknologi kendes fra andre sammenhænge, men den har aldrig været anvendt til dette formål. At teste om denne type teknologi kan anvendes, vil kræve forskning og udvikling. Nærmere bestemt skal der skabes en metal-matrix-komposit-belægning, hvor partiklernes størrelse, hårdhed og geometri kombineres med en passende hårdmetal-matrix, og hvor krystalstrukturen af hårdmetallet optimeres til formålet.

Slid ved neddeling af træpiller i kraftvarmeværker

Danske kraftvarmeværker er i gang med at omstille sig fra især at afbrænde kul til i stedet at afbrænde biomasse som halm, træflis, træpiller eller affald. Omstillingen er forbundet med store materiale-mæssige udfordringer. En af udfordringerne knytter sig til den nødvendige neddeling af brændslet i mindre dele, inden det fyres ind i kedlerne. Mange former for biomasse indeholder hårde slidende partikler i form af kvarts og silikater. Det gælder blandt andet for træpiller. Andelen af slidende partikler i træpillerne varierer stærkt. Ganske vist er det muligt at købe træpiller af høj renhed med få slidende partikler, men de er væsentligt dyrere i forhold til træpiller af lav renhed. Derfor vil det forbedre driftsøkonomien kraftigt, hvis værkerne er i stand til at brænde træpiller af relativt lav renhed. Det stiller store krav til slidbestandigheden af udstyr og komponenter.

Mulige løsninger

I øjeblikket testes egnetheden af forskellige eksisterende metoder til neddeling. Det drejer sig blandt andet om skivemøller og valsemøller. Desuden er nye metoder under udvikling. Et eksempel er neddeling ved ekstremt høj temperatur. Fælles for alle metoderne er, at der i dag ses så stort et slid, at der skal tænkes i alternative løsninger med hensyn til slidbestandige materialer.

Udmattelse i gearkasse-komponenter i vindmøller

Store vindmøller har alt andet lige bedre driftsøkonomi end små vindmøller. Derfor er branchen præget af en udvikling, hvor møllerne hele tiden bliver større. Det skaber store materialeudfordringer. En af disse er nedbrud i lejerne til gear, hvor de enorme kræfter fra møllevingernes rotation overføres til generatorens akse. Materialenedbruddet skyldes udbredelsen af revner i metallets indre struktur under overfladen. I fagsproget taler man om rullende kontakt-udmattelse (sliding contact fatigue). Revnerne udspringer fra små uregelmæssigheder i materialets indre struktur, som har deres oprindelse i stålets



MATERIALER UDSAT FOR EKSTREME PÅVIRKNINGER

fremstillingsproces og er meget svære at undgå. Revneudbredelsen menes også at være påvirket af dannelsen af brint, som kan stamme fra den smøring, der bruges. Brint kan trænge ind i metaloverfladen og svække metallet lokalt i form af såkaldt brintskørhed.

Mulige løsninger

Der bør fokuseres på grundlæggende studier af de detaljerede skademe mekanismer. Det gælder om at afsløre, hvordan skaderne udbreder sig over tid, og hvordan fejl kan modelleres og forudsiges. En komplikation er, at man ikke kender belastningen på komponenterne. Derfor har man hidtil holdt sig til de klassiske materialeløsninger, man kender fra andre sammenhænge. Det er nødvendigt at kende belastningen og vide, hvordan den fordeles sig i materialets indre struktur, før man kan pege på alternative materialeløsninger. En mulig strategi kunne være at benytte såkaldt termokemisk teknologi til at behandle materialets overflade, så den bedre kan modstå denne form for udmattelse. Her er det imidlertid en barriere, at de nuværende typer af stål, som anvendes, ikke egner sig til termokemisk overfladebehandling. Derfor skal man i givet fald også finde frem til alternative ståltyper.

Erosion på vindmøllevinger

Når vindmøllens vinge roterer, støder den ind i insekter, regn, hagl og andre partikler i luften. Det slider på vingens coating (maling). Sliddet øger ruheden af vingens overflade. En mere ru overflade betyder dårligere ydelse og dermed dårligere driftsøkonomi for vindmøllen. Problemet er størst på og i nærheden af vingespidsene, for det er her, bevægelsen gennem luften foregår med størst hastighed. Samtidig er hastigheden af vingespidsen højere, jo større møllen er. Derfor er slid på vingerne et stigende problem ved bestråbelserne på at producere større og mere effektive vindmøller. Problematikken kompliceres af, at der er mange parametre, som har betydning for erosion af overfladebelægningen på vindmøllevingen. Ud over vingens hastighed gælder det for eksempel belægningens vedhæftning til det underliggende materiale, effekten af vandoptagelse i belægningen samt effekten af UV-lys og variationer i temperaturen.

Mulige løsninger

Der bør udvikles tests, der omfatter effekten af de relevante parametre, som har indflydelse på erosion af vindmøllevinger. Der skal tages højde for, at forskellige parametre kan forstærke hinanden, hvis de optræder på samme tid. Med baggrund i retvisende funktionstests kan

nye coatingssystemer udvikles og efterprøves. På grund af den stærke konkurrence på vindmølle markedet bør der fokuseres på løsninger, som fører til et mere konkurrencedygtigt produkt.

Korrosion ved afbrænding af biomasse

Afbrænding af biomasse i danske kraftværker i stedet for kul, som kraftværkerne oprindeligt var designet til, medfører store udfordringer. En af dem er, at biomasse har et højt indhold af såkaldte alkaliske salte, som kan forårsage korrosion. Til kraftværkernes overhedere er der brugt stållegeringer, som opnår deres korrosionsbeskyttelse ved dannelse af kromoxid. Når man fyrer med biomasse, udfældes alkaliske salte som kaliumklorid på røroverfladen. Disse salte angriber og nedbryder kromoxidlaget og giver anledning til hurtig nedbrydning af materialet. Det samme gælder i øvrigt for kedler i mineralindustrien og lignende sektorer, hvor man også må forvente, at biomasse i stigende grad vil blive anvendt som brændsel.

Mulige løsninger

Det er en kompliceret, tværfaglig opgave at designe alternative materialeløsninger, som kan modstå korrosion ved afbrænding af biomasse, fordi mange modstridende krav spiller en rolle. En lovende strategi er at udvikle belægningssystemer (coatings), som kan sikre kemisk stabilitet samtidig med, at de gode mekaniske egenskaber af stålet bibeholdes. Forskning tyder på, at aluminiumoxid er stabil over for angreb fra kaliumklorid. Imidlertid er det svært at danne oxiden i det relevante temperatur-område på grund af langsom diffusion. Stabilitet og vækst af aluminiumoxid kan potentielt forbedres ved tilleggering af andre kemiske elementer. Der kræves dog en forskningsindsats, før denne teknologi kan indføres. Samtidig er der væsentlige teknologiske udfordringer forbundet med anvendelsen af coatings generelt. Det drejer sig blandt andet om at sikre vedhæftningen, samt tage højde for forskelle i termisk udvidelseskoefficient i forhold til det underliggende stål samt ændring af egenskaber ved langtidssdrift. Indledende forsøg har vist, at aluminiumoxid har tendens til afskalning. Der kræves en indsats for at finde materialekombinationer, der giver den nødvendige mekaniske vedhæftning til stålet. Generelt er der behov for viden om de mekanismer, der optræder i lovende materialeløsninger ved langtidseksponeringer. Det gælder både ved laboratorieforsøg og overvågning under drift, for eksempel ved brug af sonder.

MATERIALER UDSAT FOR EKSTREME PÅVIRKNINGER

Metalforstøvning i procesudstyr

Metalforstøvning (metal dusting) opstår, når stål- eller nikkelbaserede metaller er udsat for gasmiljøer med høj aktivitet af kulstof i et temperaturområde mellem 400 og 850 °C. Aggressive gasmiljøer, som medfører metalforstøvning, findes i mange industrier, herunder den petrokemiske industri, for eksempel ved tilstedeværelse af ammoniak, brint, metanol og kulilte.

Eksempler på udstyr, som bliver angrebet, er procesudstyr til varmeudvinding af røggasser og procesudstyr til syntesegas.

Metalforstøvning optræder efter en vis inkubationstid, hvorefter metaloverfladen nedbrydes til støv og grafit, hovedsagelig i form af fine metalpartikler, oxider og karbider. Metalpartiklerne fra støvet har typisk en dimension i nanometer-området og er i stand til at katalysere yderligere kuldannelse ved reaktion med det omgivende miljø. Udover nedbrydningen af metaloverfladerne fører metalforstøvning derfor ofte til dannelse af store mængder kul, som kan skabe tilstopninger og derved ændre procesforholdene i hele produktionsanlægget.



Kilde: Haldor Topsøe

Mulige løsninger

Der kan tænkes forskellige strategier for at forebygge metalforstøvning. En strategi kan være at designe procesanlægget sådan, at metaloverfladerne ikke udsættes for det aggressive miljø, en anden at belægge metaloverfladen med et inert (kemisk inaktivt) materiale og en tredje at ændre miljøet i procesanlægget. Alle disse løsninger er forbundet med betydelige teknologiske udfordringer. Designændringer er ofte vanskelige eller umulige, fordi andre faktorer som styrke, formbarhed, termisk stabilitet og pris nødvendiggør brugen af den valgte legering. Belægninger af et inert materiale stiller store krav til vedhæftningen af denne belægning. Det

skyldes blandt andet, at den termiske udvidelse af belægningen skal være i samme størrelsesorden som udvidelsen af det underliggende materiale samt, at belægningen skal kunne holdes ensartet og tæt under drift. I princippet kunne man mindske problemet med metalforstøvning ved at tilsætte svovl til gassen, men det går ikke, fordi svovl ville forurene katalysatorer i andre dele af procesanlægget. Derfor er der fokus på at udvikle metoder til at forudsige metalforstøvning af forskellige metaller i forskellige industrielle anvendelser. Det kan skabe et fundament for udvikling af mere robust procesudstyr. Dette er dog en krævende opgave, idet metalforstøvning påvirkes af en lang række parametre, som tilmed indbyrdes kan forstærke hinanden. Mange af de basale mekanismer i processen er endnu ikke til fulde forstået. Derfor er der behov for grundforskning og for at opstille modeller for mekanismerne.

Materialeudfordringer for skibsmotorer

For at spare brændstof sejler mange skibe i dag langsommere, end de er designet til. Umiddelbart kunne man måske tro, at det ville være mere skånsomt for motorerne at sejle langsomt, men det er ikke nødvendigvis tilfældet. For nogle motortyper stiger temperaturen i forbrændingskammeret, når man sejler langsomt. Det stiller større krav til materialerne og kan betyde en højere grad af korrosion på udstødningsventiler, brændstofforstøvere og stempeltoppe. Myndighederne har i de seneste år skærpet kravene til det brændstof, der anvendes i skibsmotorer. Man har blandt andet ønsket at sænke svovlindholdet for at skåne miljøet. Mindre svovl i brændstoffet giver mindre svovlsyrekorrosion i motoren, men faktisk har svovlsyre også en gunstig effekt. Den varme svovlsyregas kondenserer på den kølede cylinderforing og skaber en langsomt fremadskridende korrosion, som er kontrolleret via neutraliserende tilsætningsstoffer i smøreolien. Den vedvarende korrosion blotlægger den forskelligartede mikrostruktur af cylinderforingens støbejern, hvilket sikrer en ujævn overflade med en stor mængde oliedepoter. Uden svovlsyre kan støbejernsstrukturen "lukke til", hvilket fører til katastrofal slid, når oliefilmen mellem foring og stempelring forsvinder. Renere brændstof giver en renere forbrænding med færre forbrændingsprodukter. Således vil der dannes færre sodbelægninger på komponenterne i forbrændingskammeret. Sod har både isolerende og inhiberende egenskaber, så derfor kan et renere brændstof faktisk give anledning til øget slid på eksempelvis udstødningsventil og stempeltop.

MATERIALER UDSAT FOR EKSTREME PÅVIRKNINGER

Mulige løsninger

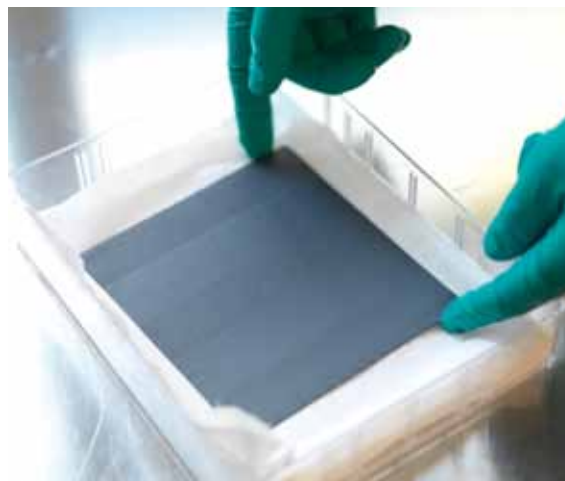
Problemerne med korrosion og slid kan imødegås ved at forstå og simulere det miljø og de belastninger, som materialerne udsættes for i drift. Realistiske modeller af de vigtigste mekanismer samt laboratorietest, der giver et retvisende billede af driftsbetingelserne, er nødvendige. Med udgangspunkt i dette bør der fokuseres på forskning i alternative materialeløsninger med fokus på korrosionsegenskaber, friktionsegenskaber og samspillet mellem smørefilm, materiale og forbrændingsprodukter. Der bør fokuseres på løsningsforslag, hvor eksisterende motorer tilpasses, så de kan overgå til at bruge renere brændstof med blandt andet lavt svovlindhold.

Højtemperatur-brændselsceller

Fastoxid-brændselsceller betragtes som en af fremtidens energiteknologier, fordi de har meget høj elektrisk virkningsgrad og ekstremt lave udslip af miljøskadelige stoffer. Desuden har de ingen bevægelige dele. Det er med til at gøre dem robuste og pålidelige. Samtidig er de modulært opbyggede, så man kan skalere dem efter behov. Fastoxid-brændselsceller er imidlertid komplekse systemer med høj driftstemperatur. Typisk arbejder cellerne ved temperaturer i intervallet 500-1000°C. Det skaber risiko for både højtemperaturkorrosion og termiske spændinger. Denne type brændselsceller indeholder såvel metaller som keramiske materialer og glas. Blandingen af materialer gør problemerne yderligere komplekse. For eksempel kan afdampning af krom fra stål give anledning til, at bestemte områder i brændselscellen bliver inaktive (såkaldt forgiftning). Desuden kan der forekomme inkompatible udvidelseskoefficienter mellem keramiske materialer, glas og metaller. Endelig kan kemiske reaktioner og volumenændringer medføre spændinger og termisk udmattelse.

Mulige løsninger

Teknologien er under udvikling. Med en solid forskningsindsats inden for højtemperaturkorrosion, defekt kemi samt procesteknologi til fremstilling og forarbejdning af keramiske materialer skønnes fastoxid-brændselsceller på sigt at kunne opnå stor udbredelse. Teknologien kan opnå store fremskridt ved at forøge den eksisterende viden om materialernes opførsel og degraderingsmekanismer ved høje temperaturer. Det er besværligt med traditionelle eksperimentelle metoder, som ikke tillader at studere processerne, mens de foregår. Samtidig betyder traditionelle test ofte, at det studerede emne bliver ødelagt. De seneste år er der imidlertid sket en rivende udvikling inden for non-destruktive test og teknologi, der gør det muligt at studere processerne, mens de foregår (in-situ). Det har skabt baggrund for en dramatisk forøgelse i vidensniveauet. Teknologier bliver i øjeblikket udviklet, så teknikker som røntgen-diffraktion, neutron-diffraktion og højopløselige elektronmikroskoper kan kombineres med varme- og gaskilder, der tillader in-situ analyse af materialedegradering ved høj temperatur.



2. MATERIALER I KONTAKT MED BIOLOGISKE SYSTEMER

MATERIALER I KONTAKT MED BIOLOGISKE SYSTEMER

Materialer, der er ven med kroppen

Farmaceutiske og medicotekniske virksomheder spiller i dag markante roller i dansk økonomi. Begge brancher oplever udfordringer inden for materialer - og også store nye muligheder. Det drejer sig både om biologiske materialer og om materialer, der kan spille sammen med biologiske systemer.

Danske farmaceutiske og medicotekniske virksomheder har oplevet stærk vækst gennem de seneste årtier. De har stor betydning for dansk økonomi, og en af nøglerne til deres fortsatte vækst er bedre forståelse af materialer, der kan fungere i kontakt med biologiske systemer. Dels materialer, der er i direkte kontakt med kroppens væv. Her kan man for eksempel tænke på implantater, katedre eller insulin-penne. Dels materialer, der indirekte kommer i kontakt med kroppen. For eksempel emballage til fødevarer, medicin og lignende.

Når et materiale kommer i kontakt med et biologisk system, sker der næsten altid en vekselvirkning. Nogle gange er det en vekselvirkning, som man ønsker. Eksempelvis er det i dag muligt at skabe overflader, der fremmer kroppens naturlige gendannelse af skadet væv.

Andre gange er der tale om en vekselvirkning, man helst vil undgå. For eksempel kan der ske en uheldig indvirkning, hvis emballagen til medicin er lavet af et forkert materiale. Så kan vekselvirkningen forårsage ændringer i strukturen af proteiner, som indgår i det medicinske produkt. Derved kan præparatet blive uvirksomt eller i værste fald farligt.

Ved at designe materialers kemi og overfladeegenskaber rigtigt, kan vekselvirkningerne skræddersys, kontrolleres og forudsiges. Det er et spirende forskningsfelt, som må forudsiges at blive meget stort inden for de nærmeste år.

Et fælles træk for de fleste projekter er vekselvirkningen mellem proteiner og overfladen af materialer. Når et materiale kommer i kontakt med levende væv, kan der udløses en kaskade af reaktioner. Især de indledende reaktioner, hvor proteiner sætter sig på overfladen af materialet, har vist sig at være afgørende for det videre forløb. Denne grundlæggende viden er nøglen til at kunne vælge de bedste materialer og forarbejde dem rigtigt i medicobranschen.

En særlig udfordring i forbindelse med biologiske systemer er, at forskellige individer kan reagere forskelligt på de samme påvirkninger. Det gælder ikke mindst i forbindelse med allergi og inflammatoriske tilstande, hvor nogle mennesker kan blive kraftigt påvirket af stoffer, som andre fint kan tåle. Forståelse af mekanismerne bag allergi er særdeles vigtig for alle, der beskæftiger sig med materialer, der kommer i kontakt med biologiske systemer.

Materialer, der bruges i emballage til fødevarer og medicin, har som regel til opgave at holde produktet adskilt fra omgivelserne. Alligevel kan der forekomme vekselvirkning mellem proteiner og overfladen af materialerne. Derfor er der et stort potentiale for at udvikle bedre materialer til emballage. Et sideordnet formål er desuden at gøre det på en måde, som reducerer mængden af emballageaffald.



Kapløb om materialer bag insulin-penne

Det var en revolution i behandlingen af diabetes, da Novo Nordisk kom først med lanceringen af insulin-penne. Siden har konkurrenter meldt sig. Nøglen til at holde fast i den dominerende position er at kunne indbygge nye funktioner i pennene uden, at de bliver større. Det kræver udnyttelse af nye materialer og processer.

Det var en stor forbedring i livskvaliteten for millioner af diabetes-patienter verden over, da Novo Nordisk som den første virksomhed lancerede insulin-penne. Pennene gør det let for patienterne selv at administrere deres insulin. Men selvom man er først i verden med et produkt, kan man naturligvis ikke tage for givet, at man fortsat vil dominere markedet.

”En væsentlig konkurrenceparameter for penne til injektion af insulin er at indbygge funktioner, som gør pennen lettere at benytte eller øger sikkerheden for brugeren. Et eksempel er en ny pen, hvor den kraft, som patienten skal tilføre med sin tommelfinger for at udløse en dosis, er mindsket betydeligt. Det gør pennen velegnet for svækkede patienter, f.eks. ældre. Samtidig skal de fremtidige pennes ydre dimensioner og vægt ikke forøges væsentligt, fordi vores patienter ikke er interesserede i at

gå rundt med et større eller tungere produkt,” forklarer Lasse Wengel Christoffersen, Manager, Primary Packaging and Materials, Novo Nordisk.

”Kravet om flere funktioner på den samme plads kan betyde, at de enkelte komponenter, delsystemer og anlægsflader skal blive mindre. Derfor har vi interesse i materialer med stor stivhed og styrke, og samtidig skal det være muligt at sprøjtestøbe materialerne i slanke og komplekse geometrier. Lav friktion er også et stærkt ønske for os. Det betyder, at vi er meget interesserede i nye materialemæssige muligheder. Hvor går grænserne for, hvor langt man kan presse materialerne?”

Dog bliver det ikke Novo Nordisk selv, der skal udvikle de nye materialer til insulin-pennene, understreger Lasse Wengel Christoffersen:

”Det vil være vores leverandører, men vi følger området tæt. Faktisk har vi seks medarbejdere ansat inden for forskning og udvikling inden for materialer til pennene. Vi skal være gode til at designe de bedste materialer ind i vores produkter. Omvendt, hvis vores konkurrenter ser mulighederne før os, så taber vi.”

Sådan bliver materialer ven med kroppen

Virksomhederne i medicinal- og medicobrancherne beskæftiger sig med mange forskellige materialer, der skal designes til at komme i kontakt med biologiske systemer. De følgende eksempler viser områder, hvor nye materialer eller forbedring af nuværende materialer kan få væsentlig betydning for danske virksomheders konkurrenceevne.

Implantater i blødt væv

Sammenlignet med knogleimplantater er implantater i blødt væv en ung disciplin. Området udspringer af de senere års bioteknologiske udvikling. Blandt andet er der stort fokus på, hvordan forskellige forbindelser har det med vand. Nogle molekyler er hydrofile. Det vil sige, at de er meget villige til at knytte sig til vand. Andre molekyler er modvillige – de er hydrofobe. Denne forskel kan man udnytte til at styre egenskaberne af et syntetisk fremstillet materiale, hvilket har givet talrige medicinske og farmaceutiske fremskridt inden for områder som tissue engineering, biomaterialer, celle- og molekylærbiologi samt polymervidenskab. Der er en nyere udvikling i gang, hvor kroppen tilføres materialer, der fungerer som en slags stillads (scaffold) for kroppens egen gendannelse af væv. Det er emnet for danske forskningsprojekter inden for gendannelse af dels brusk og dels blødt væv. På grund af vævs bløde og fleksible natur er det især polymermaterialer, der kan fungere som implantater.

I øjeblikket anvendes forskellige såvel naturlige som syntetiske materialer til formålet. Blandt de naturligt forekommende materialer er collagen, chitosan, alginat, hyaluronsyre og dextran. Collagen anvendes således til eksempelvis kunstige blodårer. Almindeligt anvendte syntetiske polymerer omfatter poly-(mælkesyre) (PLA) og poly-(mælke-co-glycolsyre) (PLGA), poly-(ethylenglycol) (PEG), 2-hydroxyethylmethacrylat samt poly-(vinylalkohol) (PVA). Det er materialer, som anvendes i den danske medicobranche, for eksempel til katedre og kunstige blodårer, og de anses for at være biokompatible. Dog har det vist sig, at biologiske reaktioner, der ikke er skadelige i én anvendelse, kan være skadelige for i anden sammenhæng. Derfor er der behov for bedre viden.

Mulige løsninger

Danske medicovirksomheder, der anvender polymerer eller naturmaterialer i deres implantater, deltager i udviklingen af avancerede polymermaterialer. Grundet områdets kommercielle natur er det naturligt, at danske virksomheder ønsker at holde syntese af nye materialer inden for huset. Det udelukker på ingen måde, at der vil være et tæt samspil mellem industrien og forskningsinsti-

tutionerne om udvikling af fundamental viden om interaktionen mellem væv og bestemte overfladegrupper på polymerer, samt vidensopbygning om biokompatibilitetsforhold, og materialestabilitet. Området vil kræve en langsigtet og meget tværfaglig indsats. Der bør desuden etableres en dialog med relevante virksomheder om en langsigtet strategisk satsning indenfor scaffolding/tissue engineering for at sikre en stærkere dansk position på området.

Hudallergi

Materialer som nikkel, kobolt og krom kan forårsage allergiske reaktioner på huden. Det kendes især fra smykker, men gælder også for håndtag til vandhaner og mange andre metalgenstande, der kommer i kontakt med huden. Danmark er et af de lande, der tidligt tog problemet alvorligt. Det giver danske virksomheder store forretningsmuligheder, efterhånden som flere lande stiller krav om, at produkter ikke må afgive de problematiske stoffer. EU har allerede lavet regler for området, og mange andre lande ventes at følge efter. For eksempel skønner de amerikanske sundhedsmyndigheder, at op mod 15 procent af USA's befolkning lider af nikkel-sensitivitet, der kan betragtes som et forstadium til nikkelallergi. Et andet eksempel er klæbematerialer, der bruges til at holde medicinske hjælpemidler fast ind mod kroppen, eller som skal beskytte brugerens hud mod irritation ved at absorbere fugt. Det gælder blandt andet kateder- og stomiprodukter, hvor man også kan opnå en førerstilling ved at være opmærksom på at forebygge hudallergi.

Mulige løsninger

Dansk forskning viser, at bestemte legeringer af nikkel og tin ikke forårsager nikkelallergi. Nikkel/tin kan derfor vise sig at blive et interessant alternativ til nikkelbelægninger i fremtiden. Belægningen skønnes at have et stort potentiale, men der er usikkerhed om belægningens egenskaber sammenlignet med nikkel. Danmark er det land i verden, hvor anvendelsen af denne coating er mest udbredt. Belægningen minder i udseende meget om rustfrit stål. Den er særdeles velegnet i korrosive miljøer,

MATERIALER I KONTAKT MED BIOLOGISKE SYSTEMER

hvor nikkel anløber eller korroderer pga. kemiske påvirkninger. Det gælder for eksempel laboratorie-udstyr af forskellig art samt til beskyttelse af messing eller ståldele, der anvendes i levnedsmiddel-sektoren. Også en række andre legeringer er interessante i forbindelse med at forebygge hudallergi. Det samme gælder for alternative klæbematerialer, som kommer i kontakt med hud.

Bionedbrydelige medicoprodukter

Stigende fokus på miljø og bæredygtighed har ført til stor interesse for bionedbrydelige materialer. Det gælder også inden for farma- og medicobrancherne. Et eksempel er implantater, der nedbrydes, så indholdsstofferne optages i kroppen efter endt funktion. Især har polymermaterialer som polyestere, polycarbonater og polyurethaner kemiske egenskaber, der gør dem interessante. Nærmere bestemt har de lange molekyler, som stofferne består af, nogle bestemte bindinger, som kroppen er i stand til at nedbryde. I kemisk fagsprog siger man, at bindingerne kan hydrolyseres. Det findes der allerede produkter, som udnytter. Eksempler er tråd til medicinske syninger (suturer) samt skruer og pinde til at fastholde knogler. Der er imidlertid fortsat muligheder for at udvikle bedre produkter samt at udvikle produkter til nye anvendelser.

Mulige løsninger

Et bionedbrydeligt materiale til medicinsk anvendelse skal leve op til en række krav. For det første skal det have mekaniske egenskaber, der matcher anvendelsen. Det vil sige, at den mekaniske styrke skal bevares, indtil det omgivende væv er helet. For det andet må det ikke forårsage allergi eller betændelse. For det tredje skal det omsættes i kroppen efter at have opfyldt sit formål uden at efterlade spor. For det fjerde skal det være muligt at forarbejde til den ønskede form. For det femte skal det kunne holde til at ligge på lager i en vis tid uden at blive nedbrudt. Og endelig skal det være let at sterilisere. Det er ikke nemt at finde et materiale, der opfylder alle de mange krav. Ganske vist er der stor viden om de enkelte materialers opførsel i forskellige konkrete situationer, men der mangler fortsat metoder til at forudsige, hvordan et materiale vil opføre sig i en ny anvendelse. Desuden mangler der viden om, hvordan materialerne kan modificeres, så egenskaberne bedre passer til en given anvendelse. Og endelig mangler der metoder til at "oversætte" resultater fra forsøg i laboratoriet, så man kan forudsige, hvordan materialet vil opføre sig, når det kommer ind i kroppen. Der er både behov for en kortsigtet teknologisk indsats og for grundforskning. Området har stor betydning for danske medicovirksomheder, der producerer utensil- eller implantatprodukter.

Teknologiske løsninger bør tage udgangspunkt i ønsker om konkrete anvendelser i samarbejde med industrien. Langsigtet bør der etableres akademiske kompetencecentre med tværfaglig viden om materialers nedbrydningsmekanismer i kroppen og om samspillet mellem affaldsprodukter og kroppen.

Medicinsk emballage af polymermaterialer

Glas og metaller er de bedst kendte materialer til medicinsk emballage. Det skyldes dels gode barriereegenskaber – det vil sige evne til at holde produktet inde, og stoffer fra omgivelserne ude – og dels, at glas og metaller er meget lidt tilbøjelige til at vekselvirke med medikamentet. Under selve produktionen af medicin anvendes hovedsageligt metaller (især rustfrit stål), mens emballagen, som medikamentet forlader fabrikken i, oftest er af glas. Især glas kræver store ressourcer i forbindelse med fremstilling og genbrug. Derfor vil det være interessant at benytte polymermaterialer i stedet for. Det vil kunne sænke prisen på emballagen markant til gavn for både producenter og forbrugere. En anden fordel vil være, at et polymerbaseret materiale kan have attraktive mekaniske egenskaber som slagfasthed. At gå væk fra glasbaserede emballager til medikamenter vil imidlertid kræve polymermaterialer, der er lige så tætte som glas. Desuden er det et problem ved mange polymermaterialer, at de kan vekselvirke med medikamentet. For eksempel kan det medføre forandringer i proteinstrukturen for insulin, som fører til, at insulinen nedbrydes. Med andre ord står det højt på ønskelisten hos danske virksomheder at finde polymerer, der ikke vekselvirker med medikamenterne.

Mulige løsninger

Det vil kræve yderligere forskning at finde et polymermateriale med de egenskaber, som kræves for medicinsk emballage. Især barriereegenskaberne er afgørende for moderne emballage. Blandt andet skal der være styr på gennemtrængeligheden for ilt og for vand. Ofte kan en given polymer levere en af de ønskede barriereegenskaber, men ikke dem alle. Derfor er moderne emballage typisk lagdelt. Så kan man for eksempel have et lag, der styrer gennemtrængeligheden af ilt, og et nabolag, der giver mekanisk styrke. Forskningsmæssigt har der for nylig været fokus på at tilsætte ler-mineraler til polymerer for at forbedre barriereegenskaberne. Ler-mineralerne kan umiddelbart mindske gennemtrængeligheden for ilt med en faktor 10. Det er langt fra at være nok, men der er lovende muligheder i området.

MATERIALER I KONTAKT MED BIOLOGISKE SYSTEMER

Med hensyn til at undgå vekselvirkning mellem polymermaterialer og proteiner spiller overfladespændingen i polymermaterialet en vigtig rolle. Det har det vist sig, at overflader, der er meget hydrofile (gerne forbinder sig til vand) har mindst vekselvirkning med proteiner. Det gælder blandt andet glas, metaller og en række keramiske materialer, mens polymerer generelt er hydrofobe (vandskyende). Derfor kan det være en interessant strategi at ændre overfladespændingen i polymermaterialet.

Teknologiske løsninger bør tage udgangspunkt i lagdelte materialer. Samtidig er det vigtigt at holde kompleksiteten og mængden af materialer og processer på et minimum, så løsningerne er konkurrencedygtige med hensyn til pris.

Produktion af stamceller

I dag er det muligt at efterligne nogle af de vekselvirkninger, som sker mellem proteiner og overflader i kroppen, i et laboratorium. Det gælder om at understøtte vekselvirkningen mellem overfladen og det biologiske system på en sådan måde, at det biologiske system tror, at det befinder sig i kroppen. For eksempel har det vist sig, at visse overflader kan fungere som en slags stillads, der tillader kontrolleret cellevækst. I princippet vil det være muligt at fremme vækst af stamceller i laboratoriet. Stamceller er interessante i forbindelse med en række medicinske behandlinger, blandt andet fordi de kan erstatte ødelagte celler i kroppen. Stamceller kræver imidlertid helt specielle overflader for at kunne opformeres, og det er endnu ikke blevet muligt at designe de rigtige overflader. Forskning har indtil videre vist, at overfladens form, kemiske sammensætning og overfladespænding har stor betydning for stamcellernes vækst.

Mulige løsninger

Det er en kendsgerning, at dyrkning af stamceller rummer et enormt vækstpotentiale for danske virksomheder, men der er behov for intensiv forskning og udvikling. Samtidig er området præget af stor konkurrence fra udenlandsk forskning. Det understreger, at der er behov for en målrettet forskningsindsats, hvis danske virksomheder skal spille en rolle. Området er meget tværfagligt med elementer fra såvel materialeforskning som cellebiologi og biokemi. Basale studier i cellers vekselvirkning med overflader bør intensiveres, og der bør fokuseres på tværfaglige projekter.



3. SAMMENFØJNINGER

SAMMENFØJNINGER

Svejsning, lime, samle

Stedet, hvor to dele er forbundet med hinanden, udgør ofte akilleshælen i en konstruktion. Danske virksomheder har gennem tiden udviklet mange avancerede løsninger inden for svejsning, limning og mekaniske samlinger. I takt med, at forståelsen af materialerne bliver stadig bedre, er der mulighed for at opnå endnu bedre resultater.

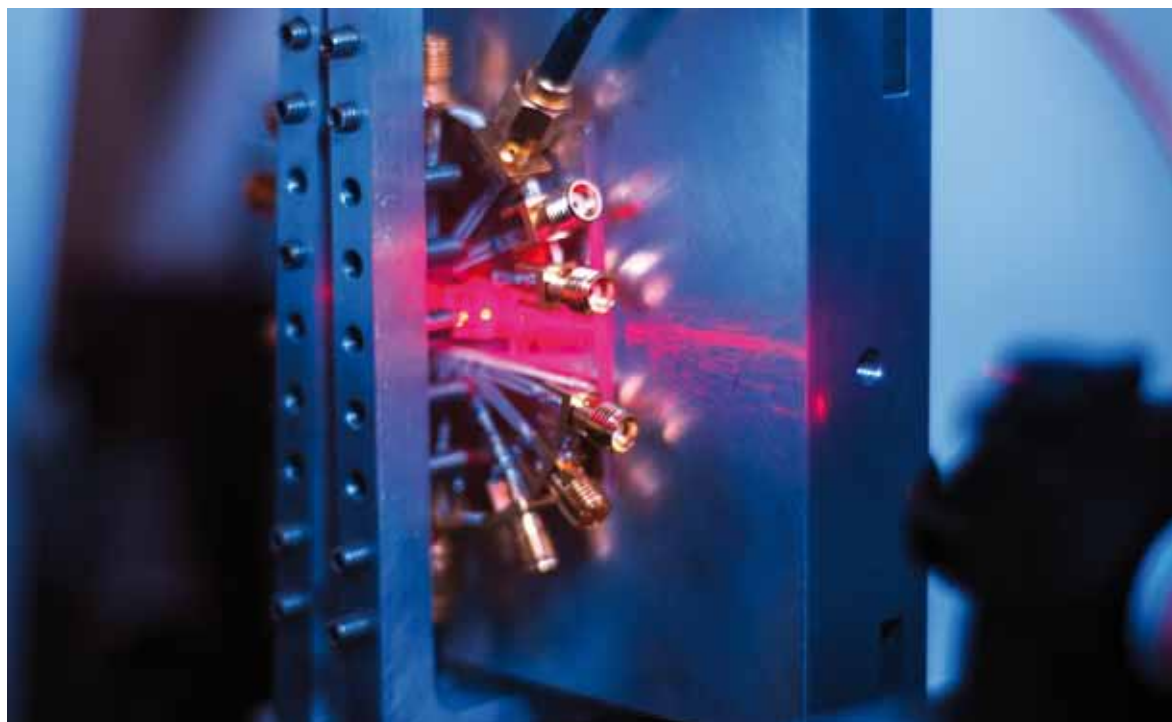
En kæde er aldrig stærkere end sit svageste led, og ofte er det en stor udfordring at føje dele sammen på en måde, så man ikke sætter stabiliteten af det samlede system over styr. Men udfordringer betyder også forretningsmuligheder. Historisk har danske virksomheder ofte formået at gøre sig gældende netop ved at udvikle de rigtige løsninger inden for sammenføjning. Det gælder for eksempel for svejsninger, som fortsat er den dominerende metode til sammenføjning i jern- og metalindustrien. Denne industri udgør 29 procent af den samlede industri i Danmark. Med en eksportandel på hele 70 procent er jern- og metalindustrien en vigtig motor for samfundsøkonomien.

I takt med at forskningen i de senere år har ledt til en stadig bedre forståelse af mange materialer, er der også opstået nye måder at udføre sammenføjninger på. For eksempel var svejsning tidligere lig med sammensmeltning af to komponenter udført i det samme materiale. Når der

var tale om komponenter i to forskellige materialer, blev svejsning anset for uanvendelig, blandt andet på grund af forskellene i smeltepunkter og lignende egenskaber. Det har forskningen ændret på, selvom det fortsat er en relativt ung disciplin at kunne svejse to komponenter, der er udført i forskellige materialer, sammen.

Svejsning er en såkaldt termisk sammenføjning, da det især er varmeudviklingen, som skaber den ønskede effekt. Andre former for sammenføjning er kemisk sammenføjning, blandt andet ved hjælp af lim, samt mekaniske løsninger som boltesamlinger, nitter, snap-fits og lignende. I mange situationer er mekaniske samlinger fortsat den eneste måde at sammenføje to forskelligartede materialer.

I disse år udvikles en lang række spændende nye materialer. Eksempler er nye varianter af kompositmaterialer, hvor man blander forskellige polymertyper med kul- eller glasfibre samt kulstofmaterialet grafen. Det betyder også, at man er nødt til at lære sig at beherske nye former for sammenføjning. Igen er der både tale om en udfordring og om en vifte af nye forretningsmuligheder. Og igen er den gode nyhed, at danske virksomheder står med et godt udgangspunkt for at være med i udviklingen.



Sammenføjningen er ofte det svage led

Grundfos er især kendt for at være en af verdens absolut førende leverandører af pumper. Hvad der måske er mindre kendt, er den rolle, som materialeudvikling har spillet og stadig spiller for virksomheden.

”Ser man på Grundfos’ historie, er det ofte innovation inden for materialer, som har skabt differentiering i vores produkter og dermed dannet grundlaget for vores fortsatte vækst,” siger forskningschef Ebbe Kruse Vestergaard, Grundfos.

”Som pumpeproducent har vores vinkel især været avanceret forarbejdning af materialer som rustfrit stål. Vi har dog også haft en del forskning og udvikling inden for polymermaterialer – særligt med henblik på styrke og langtidsholdbarhed i vand. Derudover har vi arbejdet med forarbejdning af titan, hvilket har sat os i stand til at lave pumper til specialapplikationer. Desuden har vi udviklet coatings, som har givet os unikke muligheder på sensorområdet.”

”Viden om materialer og innovation inden for forarbejdningen og anvendelsen af materialer har været afgørende for Grundfos’ succes. Vi har derfor også haft tætte forbindelser til universiteterne. Det har været en vigtig medvirkende faktor for, at tingene er lykkedes.”

Vand trænger gennem samlinger

Fremadrettet ser Ebbe Kruse Vestergaard flere områder, hvor der er behov for yderligere fremskridt inden for materialeforskning:

”Vi vil fortsat have stor fokus på øget holdbarhed af vores pumper i vand og andre medier. Dette kunne for eksempel være forbedrede korrosionsegenskaber og beskyttelse mod vandindtrængning. I den forbindelse vil materialesammenføjninger typisk være det svage led, så her er forskning og udvikling en høj prioritet for os. Der vil altid ske en vis indtrængning af vand gennem

sammenføjninger, men målet er at begrænse det og at have en forståelse af, hvor meget vand, der trænger igennem hvor og hvordan. Gennem den forståelse kan vi forbedre pumpernes holdbarhed i fremtiden.”

Tilsvarende er det heller ikke muligt at skabe fuldstændigt vandtætte polymermaterialer:

”Der vil altid ske en vis diffusion af vand gennem polymerer, men gennem forskning kan vi begrænse den og træffe forholdsregler mod det vand, der trænger igennem. Et spændende nyt område i den forbindelse er nye kompositmaterialer - muligvis kombineret med nanoteknologiske løsninger.”

Overflader skal afvise smuds

En anden vigtig materialeegenskab for Grundfos er evnen til at afvise smuds:

”Det er allerede en vigtig materialeegenskab i mange produkter, der er i berøring med væsker, såsom spildevand, og vi forestiller os, at det vil blive et endnu større område i fremtiden,” uddyber forskningschefen.

”Både inden for pumper og nogle af vores nye områder som vandrensning er viden om materialer og forarbejdning enormt vigtig for os. Derfor er vi også nødt til at følge med i materialeforskningen ret bredt. Vi vil fortsat have kontakt til forskere, der er med helt fremme, og gennem dem ser vi for eksempel frem til at få indblik i resultaterne fra nye karakteriseringsværktøjer som f.eks. forskningsanlægget ESS, der er under opførelse i Lund. Avanceret materialekarakterisering er en af de vigtige måder, hvormed nye gennembrud og innovation inden for materialer kan ske.”

”Det er svært at sige noget om, hvilke materialer, vi vil have interesse for i fremtiden. Det afgørende for os er ikke materialevalget i sig selv, men hvad materialet kan gøre for det færdige produkt.”

Sammenføjninger, der skaber vækst

Svejsning, limning og mekaniske samlinger er forskellige løsninger på det samme grundlæggende problem, nemlig at integrere to emner med hinanden. Så godt som alle danske produktionsvirksomheder er nødt til at forholde sig til problemstillinger, der involverer sammenføjninger. Her kommer en række eksempler på problemer, hvor løsninger vil gavne konkurrenceevnen hos virksomheder, der har medvirket i projektet bag denne rapport.

Smart svejsning

I de sidste par årtier har der været en stadig udvikling væk fra standardmaterialer over mod nye materialer, som passer perfekt til det givne formål. Det kan være stærke materialer som højstyrkestål eller højstyrkealuminium, lette materialer som nye aluminiums- eller titanlegeringer, mere varmfaste materialer som martensitisk kromstål eller nikkellegeringer, eller mere korrosionsfaste materialer som super-austenitter eller super-duplex stål. Med denne specialisering indenfor materialer følger tilsvarende høje krav til svejseprocesserne, så de tilstræbte egenskaber af emnerne bevares. Et tydeligt eksempel er svejsning ved bygning af hav-vindmøller, hvor man ser en kombination af nyskabende materialer og ekstreme belastninger. Moderne laserteknologi har åbnet for nye ”kolde” svejseprocesser, hvor man undgår at smelte mere af materialet end højst nødvendigt. Det er smart, fordi smeltningen har tendens til at gå ud over det materiale, der ligger lige ved siden af svejsesømmen. Der er imidlertid store muligheder for at forbedre teknikkerne yderligere og gøre dem mere udbredte i forhold til traditionelle teknikker.

Mulige løsninger

Det er oplagt at udnytte en række nye højeffekts- og højstrålekvalitets lasertyper samt såkaldte fiber- og disk-lasere. For det første kan man få en højere grad af automatisering i sine processer, så man opnår højere produktivitet. For det andet kan man få bedre kvalitet. Blandt andet er det muligt at mindske omfanget af deformationer samtidig med, at den metallurgiske kvalitet og de mekaniske egenskaber højnes markant.

Et andet fokusområde er at sammenføje uens materialer. Som et eksempel rummer en succesfuld sammenføjning mellem metal og plast et meget stort potentiale for en række anvendelser af industriel relevans indenfor eksempelvis medicoindustrien, apparat- og komponentindustrien. I dag findes der ikke nogen industriel teknologi, der kan anvendes til sammenføjning af metal og plast.

Man kan ikke forvente, at der vil være universelle løsninger. Snarere skal der findes særlige løsninger for de givne kombinationer af materialer til det givne formål. Derfor er der brug for en forskningsindsats, der kombinerer proces- og materialeviden. Samtidig skal der etableres eksperimentelle faciliteter, der i sammenhæng med modellering skal sikre velfungerende løsninger. Det må forventes, at det vil kræve en langsigtet indsats at finde sådanne løsninger.

Sammenføjninger i medicoindustrien

Danmark har en meget stor medico-, høreapparat- og apparatindustri, som arbejder i mini- og mikro-områderne. Det kan dreje sig om konstruktioner i plast, metal eller kombinationer heraf. Målet er ofte en integreret løsning, som kan indgå direkte i det færdige produkt. De ekstremt små dimensioner i kombination med forskellige materialer udgør en stor teknologisk udfordring. Der kræver viden om såvel processer som materialer og mikro-forarbejdning at opnå den nødvendige høje kvalitet og reproducerbarhed. Kravene til sammenføjning af materialer i medicoindustrien er store. Certificeringer og krav til kvalitetsstyring sætter meget høje krav til viden om de færdige komponenters specifikke performance. I de tilfælde, hvor der laves produkter til brug i implantater, er kravene endnu større. Der bruges mange forskellige materialer – blandt andet plast, metal og keramik – og mange forskellige processer. Samtidig kan der forekomme variationer i udgangsmaterialerne – for eksempel i forbindelse med skift til et nyt batch – som skaber yderligere udfordringer med hensyn til at opnå ensartet kvalitet og stabilitet i produktionen.

Mulige løsninger

Der skal udvikles løsninger, der sikrer høj processtabilitet selv ved meget små dimensioner. Samtidig skal løsningerne tilgodese hurtig produktionshastighed, som er en væsentlig konkurrenceparameter i industrien. Dette kan forventeligt kun etableres gennem en øget automatiseringsgrad samt en dyb indsigt i materiale-proces vekselvirkningen i den enkelte situation. Forskningsindsatsen skal både basere sig på eksperimenter og modellering.



SAMMENFØJNINGER

Automatiseret svejsning

Mens det er lykkedes at automatisere mange andre processer, som forarbejder materialer, halter svejsning bagefter. Moderne intelligent automatisering bygger dels på detaljeret forståelse af processer, som gør det muligt at bygge hurtige og pålidelige matematiske styremodeller, dels på sensorer, som kan give de nødvendige informationer om processens tilstand. Lysbue-svejsning, som fortsat er den dominerende svejseteknik, passer dårligt på begge områder. For det første er processerne ved lysbue-svejsning så komplekse og sammensatte, at de er meget tunge at modellere. For det andet gør det skarpe lys fra lysbuen det meget vanskeligt at anvende optiske sensorer, som ellers er indført med held ved andre former for automatisering.

Mulige løsninger

Fremtidens intelligente produktionssystemer forudsætter samtidig udvikling af processer, sensorer og styresystemer. Sensor- og modelbaseret styring af svejseprocessen vil være krumtappen i indsatsen. Ideelt set skal passende sensorteknikker udvikles og integreres i et modelbaseret styresystem. Til tider kan simple automatiseringsløsninger dog være brugbare. Målet er at indføre løsningerne hos danske fremstillingsvirksomheder. Teknologien er for eksempel meget relevant indenfor den tunge industri som on- og off-shore vindmølletårne, hvor den internationale konkurrence er endog meget stor.

Direkte opbygning af emner i metal

I de seneste år har en ny gruppe af teknikker vundet indpas ved opbygning af emner i metal. Fælles for metoderne er, at emnet opbygges direkte ud fra en computermodel, og oftest på grundlag af en plan lagdeling af emnet. Metoden kaldes direkte opbygning af metal – eller additiv fremstilling. Metoderne er hidtil typisk set til fremstilling af prototyper, men anvendes i stigende grad til direkte emnefremstilling eller fremstilling af støbeforme. Der er dog også udviklet teknikker, hvor egentlige emner opbygges direkte i metal ved hjælp af sammensvejsning. Mange forventer, at additiv fremstilling bliver den næste industrielle revolution, hvor man kan fremstille skræddersyede komponenter og produkter til eget brug.

Der er store muligheder i at arbejde med laserbaserede teknikker, hvor en fokuseret laserstråle anvendes til at sammenføje pulvermaterialer, så det ønskede emne opbygges. Pulveret kan forefindes i en større mængde i

et kammer, hvor der hele tiden tilføres nye lag på overfladen, eller det kan tilføres til laserstrålen gennem en pulverstråle. Sidstnævnte teknik er især velegnet til reparation af slidte eller fejlbehæftede emner. Såvel små emner i millimeter-området som større emner (f.eks. sprøjtøbeforme) kan opbygges eller repareres.

Mulige løsninger

Udvikling og forfining af teknikker til direkte opbygning af emner i metal kræver en kombination af modellerings-, proces-, manipulerings- og materialeviden, ligesom det oftest vil være nødvendigt at tilføje en sensorbaseret lukket sløjfe ("feed-back") styring af processen. Udover for virksomheder, der fremstiller komponenter, vil teknologien være højt relevant i forbindelse med fremstilling af værktøj – eksempelvis til sprøjtøbeforme med konforme kølekanaler. Især kvaliteten af overfladerne er en udfordring for denne industri, når formene fremstilles med dagens teknologi.



4. SKRÆDDERSYEDE OVERFLADER

Et spørgsmål om overflade

Tiden, hvor valget af materiale til et produkt afgjorde overfladens egenskaber, er forbi. Mulighederne for at indbygge særlige egenskaber i overfladerne synes nærmest uendelige. Det gælder om at være med i udviklingen, og danske virksomheder er stærkt interesserede.

Alle kender til stegepander og gryder, der er lette at gøre rene, fordi deres overflader afviser fedt og snavs. Det er imidlertid kun begyndelsen på en revolution, der støt vil brede sig til flere produkter og omfatte mange flere særlige egenskaber. Man taler om funktionelle overflader. Det vil sige overflader, som har andre egenskaber end dem, der gælder for udgangsmaterialet. Eksempler er vandafvisende overflader, som vi allerede kender fra regntøj, og overflader, der har indbygget bakterie- eller svampedræbende effekt.

Det er svært at sige, hvordan dansk industri præcis er stillet med hensyn til at deltage i den nye "overfladiske" revolution. Udviklingen og udnyttelsen af nye typer overflader er nemlig ikke begrænset til få udvalgte brancher. For de danske virksomheder indgår spørgsmålet om valg af overfladeegenskaber typisk som et blandt mange andre hensyn i forbindelse med udviklingen af et nyt produkt.

Der er imidlertid ingen tvivl om, at danske virksomheder har stor interesse i området. De står på spring for at udnytte de nye muligheder, der åbner sig for at designe overflader, som er skræddersyede til bestemte formål.

Det gælder for eksempel en teknik, hvor man skaber meget små strukturer i overfladen, som ikke kan ses med det blotte øje, men alligevel ændrer egenskaberne. På den måde kan man få et farveløst materiale til at se ud, som om det har farve. Det sker ved at udnytte lysets interferens – et princip, der kendes fra visse insekter. Et andet markant eksempel er, når overfladen af medicinske implantater som kunstige hofte- og knæled får en særlig struktur, der narrer kroppens væv til at acceptere dem som en del af kroppen.

Andre typer af funktionelle overflader er måske knap så spektakulære, men kan ikke desto mindre have stor betydning i forhold til vækst og konkurrenceevne. Det gælder i særlig grad teknikker, der giver overfladen af et relativt billigt råmateriale egenskaber, som ellers kun kendes fra væsentligt dyrere materialer.

Skræddersyede overflader er et forskningsfelt, som er i rivende udvikling, og som er tæt knyttet til de øvrige typer af innovative løsninger på materialeområdet. Derfor er der et stort overlap mellem området og de øvrige former for materialeforskning, som er beskrevet tidligere i denne rapport. For eksempel er særlige overflader helt afgørende for flere af de nye materialer, som er under udvikling med henblik på at indgå i kontakt med biologiske systemer. Det samme er tilfældet for en række materialer, der udvikles til at kunne holde til ekstreme belastninger.



Materialer afgørende for dansk produktion

Viden om materialer er ”det, der flytter os i forhold til konkurrenterne”. Sådan lyder meldingen fra SP Group, der blandt andet fremstiller avancerede coatings, som beskytter overfladen af rør.

SP Group er en international virksomhed med hovedsæde i Sønderød på Nordfyn, som udvikler og fremstiller overfladebelægninger og emner i plast.

”Der er ingen tvivl om, at viden om materialer er en af vejene til vækst og beskæftigelse. For SP Group er det netop det, der flytter os i forhold til konkurrenterne. Teknisk design er for eksempel også vigtigt, men knowhow inden for materialer er det virkelig afgørende,” siger udviklingsdirektør Jens Hinke, SP Group.

”I dag har vi hovedparten af vores ca. 1.000 medarbejdere i udlandet, mens vi tidligere havde hovedparten i Danmark. Som så mange andre virksomheder har vi lagt en del af vores produktion, som ikke er højt specialiseret, ud til lande med lavere lønomkostninger. For nylig flyttede vi således 150 arbejdspladser til Polen. Det er jo nu engang sådan, at når vi skal sælge vores produkter i Ægypten eller Kina, så kigger køberne på prisen og kvaliteten, ikke på, om vi har været med til at opretholde det danske velfærdssamfund. Men når det er sagt, så vil jeg gerne understrege, at vi kæmper med næb og klør for at opretholde produktion i Danmark. Det kan imidlertid kun ske, hvis vi forstår at tilføre så meget knowhow, at det opvejer de højere lønomkostninger.”

God dynamik hos universiteterne

I de senere år har SP Group involveret sig i flere forsknings- og udviklingsprojekter inden for materialer i samarbejde med andre danske virksomheder og universiteter.

”I den forbindelse har vi oplevet en helt anden tone fra universiteternes side i forhold til, da jeg startede i branchen for 30 år siden. Dengang indlod universitetsforskere sig kun modvilligt på industrisamarbejde. I dag

er der en helt anden dynamik. Der skal stadig også udføres forskning, som ikke udspringer af erhvervslivets behov, absolut, men man er blevet opmærksom på, at vores input faktisk kan være frugtbar og inspirere til bedre forskning,” siger Jens Hinke.

Blandt andet forventer SP Group at udnytte resultaterne til forbedrede coatings. For eksempel til at coate rør, der bruges til at transportere brint og brintholdige forbindelser, som beskyttelse mod indtrængning af brint, som ellers kunne føre til såkaldt brint-skørhed.

”Som frontløber inden for plastmaterialer er det en stor fordel, at du har mulighed for at holde på dine hemmeligheder. Bag det færdige produkt har jo været en ”suppe” i form af en blanding af forskellige ingredienser, som har gennemgået forskellige former for behandling. Konkurrenterne kan skaffe sig det færdige produkt, men det er ikke nemt for dem at regne sig baglæns til, hvad suppen er kogt på.”

Ideer og tillid skaffer ordrer

”Nogle gange kan vi desuden beskytte vores viden med patenter. For eksempel forhandler vi lige nu med en meget stor, international koncern i olie- og gasbranchen, som ønsker at købe rettighederne til at udnytte en af vores unikke ideer.”

”Et andet eksempel er en helt ny ordre til et afrikansk land, hvor vi skal coate dele i specialstål med et særligt polymermateriale. Vi er en af relativt få virksomheder, der er i stand til at fremstille det rigtige materiale. Desuden har vi 15 års erfaring med at lægge materiale af denne type rigtigt på, så der ikke opstår problemer senere. Det skaber den tillid, som gør, at kunden kommer til os.”

”I min verden er der ingen tvivl om, at avanceret viden om materialer er et rigtig godt udgangspunkt for vækst og for at opretholde produktion i Danmark.”





Smarte overflader, der styrker konkurrenceevnen

Der er en revolution i gang for brugen af funktionelle overflader, hvor man forsyner overfladen med andre egenskaber end dem, der gælder for det underliggende materiale. Mulighederne er nærmest uendelige, og mange danske virksomheder følger udviklingen med stor spænding. De følgende eksempler viser nogle af de områder, hvor virksomhederne, som har deltaget i forarbejdet for rapporten, ser direkte forretningsmuligheder.

Antibakterielle overflader

Årligt invalideres flere end 2.000 personer af smittespredning på de danske sygehuse. Ud over de tragiske følger for de ramte påføres samfundet årlige ekstra omkostninger på ca. 1,2 milliarder kr. Med andre ord kan der ligge en god samfundsøkonomisk investering i at indføre bakteriedræbende overflader på sygehuse, hvor risikoen for spredning af sygdomsfremkaldende bakterier er størst. Da man har samme problemstilling i resten af verden, byder området desuden på gode muligheder for eksport. Også i fødevarerbranchen kan bakteriedræbende og selvrensende overflader øge hygiejnen og nedbringe forbruget af kemikalier til rengøring. Gevinsterne vil være fødevarer med lavere smitterisiko, forhøjet produktkvalitet og mindsket miljøpåvirkning. Ved at anvende passende antibakterielle overflader er det desuden muligt at dræbe bakterier i vand, der passerer et filter. Her findes store potentialer for udvikling af teknologier til f.eks. at eliminere *Legionella* i drikkevandsystemer på sygehuse, svømmehaller og ældreboliger.

Mulige løsninger

Antibakterielle overflader skabes ved at tilføre kemiske og/eller fotokemiske effekter. Et eksempel på en kemisk effekt er overflader, der afgiver antibakterielle metal-ioner ved kontakt med håndsved. Her er især sølv-ioner anvendt. Gennem de senere år er der imidlertid opstået bekymring for, at den hyppige anvendelse af sølv-ioner kan føre til sølv-resistente bakterier. Mange kemisk antibakterielle overflader har ikke kontrolleret afgivelse af metal-ionerne. De afgiver ofte langt højere koncentrationer, end der reelt behøves. Fremtidig forskning kan øge vores viden om den eksakte dosis, der behøves afgivet fra en given overflade. Desuden kan forskningen bidrage til at udvikle metoder, der kontrollerer afgivelsen af metal-ioner.

Også fotokemiske effekter er anvendt til antibakterielle og antimikrobielle overflader. Effekten kommer når visse mineraler, især krystalstrukturen anatase af titandioxid, TiO_2 , belyses med UV-lys, hvorved fotokatalyse danner kraftigt oxiderende stoffer i overfladen, der populært sagt

brænder alt i deres nærhed af. Effekten er uhyre effektiv, men der mangler viden om, hvilke kemiske biprodukter der kan dannes ved ufuldstændig forbrænding af stofferne på overfladen. Desuden kan den fotokatalytiske aktivitet optimeres ved at tilpasse det fotokatalytiske materiale, således at fotokatalyse også kan opnås i synligt lys.

Udfordringerne for at indføre antibakterielle og antimikrobielle overflader på danske virksomheder og i deres produkter består i, at der mangler konsekvensanalyser, systematikker for validering af virkning samt procesvalideringer.

Selvrensende og vandskyende overflader

Overflader kan belægges med strukturer, der gør, at vanddråber ikke kan hæfte sig på dem. En vanddråbe vil prelle af samtidig med, at støv og andre urenheder opsamles i dråben og transporteres væk. Det kaldes en selvrensende overflade. Nogle typer selvrensende overflader er sårbare over for mekanisk slid som berøring. Det sætter grænser for, hvor de kan bruges. Dog har det vist sig, at man kan få selvrensende overflader med en vis robusthed ved at kombinere korrekt materialevalg med den rigtige struktur i overfladen.

I malingsindustrien er belægninger med selvrensende og antimikrobielle egenskaber allerede under udvikling. Der er et stort potentiale i malinger med ekstremt vandskyende egenskaber og i malinger, der aktivt modvirker algevækst. Den hæmmende effekt over for alger og bakterier kan opnås ved, at belægningen afgiver kontrollerede mængder af antimikrobielle stoffer. Alternativt kan man indføre fotokatalytiske partikler i belægningen, der virker kraftigt oxiderende ved belysning med bestemte bølgelængder af lys. Udfordringen i denne teknologi er dog, at sådanne partikler også har en tendens til at oxidere og dermed nedbryde selve belægningen.

Gennem de seneste år er der også opstået interesse for overfladebehandling, der forebygger dannelse af is (såkaldte ice-phobic overflader). Der er mange

SKRÆDDERSYEDE OVERFLADER

potentielle anvendelser. Et eksempel er behandling af broer og bygninger for at forhindre, at der dannes større is-formationer, som kan være livsfarlige for mennesker, hvis isen brækker af og styrter ned. Også for vinger til fly og vindmøller vil is-afvisende overflader være særdeles interessante. Der er foreslået mange strategier, og dele af det amerikanske militær har brugt mange ressourcer på at løse problemet. Der eksisterer dog ingen løsninger, der giver varige icephobic overflader.

Mulige løsninger

Forskningen bør fokusere på udvikling af robuste og selvhelende strukturer samt udvikling af testmetoder til verificering af en struktureret overflades effektivitet over tid ved en given anvendelse. Der findes allerede teknologier, som kan producere overflader med nogle af de ønskede egenskaber, men ofte kun i en begrænset skala. Den største udfordring består i at producere robuste overflader, der kan opretholde deres egenskaber over tid. Desuden er de nuværende metoder for dyre til, at man kan bruge dem til større overfladearealer. Der er stor efterspørgsel efter billigere løsninger.

Overflader med særlige elektriske egenskaber

Sikker elektrisk signaloverførsel i fremtidens elektronik rummer store materialeudfordringer. I dag anvendes guld til de elektronikkonvektorer, som er nøglekomponenterne i elektronikken. Forklaringen er, at guld har lav såkaldt kontaktovergangsmodstand. Eller sagt på en anden måde, at det elektriske signal meget let kan vandre fra en anden komponent ind i en guld-konvektor. Den lave modstand skyldes kombinationen af guldets unikke termodynamiske egenskaber og gode elektriske ledningsevne. Der er imidlertid også ulemper ved at bruge guld. Først og fremmest er gulds mekaniske og elektrokemiske egenskaber - hårdhed, slidbestandighed og evne til at fungere som en effektiv katode i en galvanisk kobling - langt fra det optimale til formålet. Det skaber især problemer ved såkaldte make/break kontakter, hvor højt slid fører til eksponering af underliggende metallag. Hidtil er belægninger af ædelmetallet rhodium det eneste brugte alternativ. Dog er prisen ca. 10 gange højere end for guld, så coatingen kan kun lægges på i meget tynde lag.

Mulige løsninger

Der er behov for at finde materialer med langt bedre mekaniske og elektrokemiske egenskaber i forhold til

guld. Mulige kandidater er elektron-tunnelerende keramiske materialer, hvor de elektrokemiske egenskaber er afpasset i forhold til det underliggende substrat og evt. med et tyndfilm top-lag, der kan sikre lav kontaktovergangsmodstand. Principielt er problematikken relevant for virksomheder, der producerer elektronik. I praksis stoler mange elektronikvirksomheder imidlertid på løsninger, der er kommercielt tilgængelige fra underleverandører, og der hersker generelt en konservativ tilgang til ændringer i materialevalg. Producenter af elektronik-print bør derfor inddrages i udviklingsarbejdet, mens producenter af færdigsamlede elektroniske produkter bør inddrages i kvalificeringsarbejdet vedrørende indførelse af alternative materialeoverflader.



5. ANDRE PERSPEKTIVER

Arktisk kulde, brint og selvhelende materialer

Danmarks særlige knytning til Grønland giver virksomhederne mulighed for at blive frontløbere inden for arktiske materialer og teknologi. Andre interessante danske niches kan være teknologi til håndtering af brint samt materialer, der reparerer sig selv.

De foregående kapitler beskriver fire områder, hvor materialeforskning har stor betydning for vækst og konkurrenceevne hos de virksomheder, der har leveret input til rapporten. Imidlertid har dialogen med virksomhederne også peget på perspektiver, der er spændende, men er svære at anbringe i en af de fire ”kasser”. Det skyldes typisk, at perspektiverne går på tværs af mange områder inden for materialeforskningen.

Det gælder for eksempel for materialer og teknologi, der egner sig særligt til brug i arktiske områder. Interessen for at udnytte forekomster af energiråstoffer og industrielt interessante mineraler i Grønland og de øvrige arktiske områder vokser hastigt. Samtidig er Grønland og Danmark store spillere på området. Det skaber et stort fælles potentiale, som også kan udmøntes på materialeområdet.

I kapitlet om materialer udsat for ekstreme belastninger blev det beskrevet, hvordan slid, udmattelse og korrosion skaber udfordringer, herunder ved høje temperaturer. Mange af udfordringerne er de samme under arktiske forhold, men der er også særlige udfordringer. For eksempel har mange materialer tilbøjelighed til at blive skøre, når de udsættes for ekstrem kulde. Udfordringen er ekstra stor, når der forekommer store variationer i temperaturen – et materiale skal måske både kunne holde til hård frost i passiv tilstand og høj temperatur, når produktet tages i brug. Udfordringerne omfatter ikke kun valget af materialer, men også forarbejdningen. For eksempel er svejsning meget udfordrende under arktiske forhold. De fleste konstruktioner i det arktiske område er desuden udsatte for høj belastning. Samtidig er mulighederne for tilsyn og reparation begrænsede.

Materialerne til brintsamfundet

En anden mulig niche for danske virksomheder er materialer til systemer, der skal håndtere brint. Mange betragter brint som fremtidens energibærer, og der forskes intensivt i metoder til produktion, lagring og transport af brint. Den dominerende metode til produktion

af brint er elektrolyse, som kræver elektricitet. Mange ser produktion af brint som en smart måde at nyttiggøre vind, sol og bølgekraft i situationer, hvor der er rigelighed på strøm i et vedvarende energisystem. Med andre ord kan man bruge den overskydende strøm til at producere brint, der kan lagres, i stedet for at eksportere strømmen til lav pris.

Forudsætningen for det, som mange kalder ”brintsamfundet”, er imidlertid udvikling af materialer til formålet. Effektiviteten i elektrolyse-processen skal være bedre. Det kan ske ved at optimere materialerne i elektroderne. Samtidig skal materialerne gerne være både billigere og mere robuste.

Dertil kommer spørgsmålet om sikkerhed. Brint er en yderst eksplosiv gasart. Det stiller særlige krav til transport og lagring af brint. I den sammenhæng er det en helt speciel udfordring, at brint er i stand til at trænge ind i overfladen af stål og andre metalliske materialer. Det kan forårsage brint-skørhed, der, som navnet siger, gør metallet skrøbeligt.

Materialer, der reparerer sig selv

Endelig er det et spændende nyt forskningsområde at udvikle materialer, der er i stand til at reparere sig selv. I naturen arbejder forskellige molekyler i biologiske materialer ofte sammen og placerer sig korrekt i forhold til hinanden efter selvorganiserende principper. Mange forskere mener, at det er muligt at udnytte de samme principper til at skabe materialer med selvhelende egenskaber. Det kunne for eksempel være en polymer-baseret maling, der heler sig selv, hvis den malede overflade får en ridse.

Materialeforskningen under EU's nuværende ramme-program for forskning omfatter faktisk selvhelende materialer. Fokus er dels på en tilgang, hvor man henter inspiration i naturligt forekommende materialer som muslingers slim, og dels på at udvikle helt syntetiske materialer til formålet.

Også i Danmark forskes der i området. Forskerne opbygger viden om, hvordan naturlige systemer heler sig selv. Men der er stadig et stykke vej til at kunne producere selvhelende materialer industrielt. Det vil kræve et samarbejde med virksomheder.

6. INSTRUMENTER I VERDENSKLASSE

Danmark i materialeforskningens smørhul

Tre forskningsanlæg i absolut verdensklasse er under opførelse i vores nabolag. To på den anden side af Øresund i Lund og et i Hamborg. DTU opretter et center, som kan hjælpe danske virksomheder med at få fuldt udbytte af de enestående muligheder, der åbner sig.

To af verdens største forskningsfaciliteter er i øjeblikket ved at blive bygget i Lund. Det drejer sig om neutronspredningsfaciliteten ESS (European Spallation Source) og røntgen-spredningsfaciliteten MAX-IV. Begge vil fungere som en slags mikroskoper med unikke muligheder for materiale-undersøgelser indenfor såvel hårde som bløde og biologiske materialer og med sigte på alt fra grundforskning til kvalitetssikring. En række tekniske fremskridt, samt ikke mindst nærheden, gør at faciliteterne forventes at kunne give et væsentligt vidensløft til dansk industri.

Tilsammen vil ESS og MAX-IV udgøre det største mikroskop i verden med helt unikke muligheder for at studere materialer fra den mindste atomare struktur til store proteinkomplekser eller f.eks. maskindele i fuld størrelse og drift. Dermed vil man kunne udføre forskningsprojekter, der er relevante for hovedparten af de udfordringer, som danske virksomheder har peget på i forarbejdet til denne rapport.

Samtidig nærmer indvielsen af anlægget European XFEL i Hamborg sig hastigt. Med en kombination af røntgenstråling og laserlys bliver anlægget i stand til at følge ekstremt hurtige begivenheder – for eksempel de forskellige mellemtrin i en kompleks kemisk reaktion.

Danmark deltager i opførelsen af både ESS og European XFEL, og danske virksomheder har mulighed for at foreslå eksperimenter til udførelse på alle tre anlæg, som på hver deres måde udvider grænserne for, hvad materialeforskningen kan.

Allerede mange danske brugere

MAX-IV vil blive en synkrotron, der er enestående på verdensplan: et anlæg, der genererer røntgenlys med en intensitet, der er op til en milliard gange større end det, man opnår med sædvanligt laboratorieudstyr. Røntgenlyset vil blive fordelt på ca. 20 instrumenter, der kan arbejde samtidigt. Instrumenterne er specialiserede både med hensyn til teknik og videnskabelige discipliner. MAX-IV er p.t. svensk finansieret, men vil være til rådighed for europæiske brugere. På den eksisterende, mindre MAX-II-facilitet udgør de danske brugere over 20 procent.

ESS vil blive verdens bedste neutronspredningsfacilitet. Den er i store træk opbygget på samme måde som MAX-IV, blot benyttes neutronstråler i stedet for røntgenstråler. Danmark finansierer som medvært i projektet 12,5 procent af anlægget, svarende til ca. 1,4 milliarder kr.

Synkrotron- og neutron-målinger er komplementære. Noget forenklet er røntgen bedst egnet til undersøgelser af tunge materialer, mens neutroner er mest følsomme for bløde/biologiske materialer. Neutroner kan typisk bedre gennemtrænge store emner, mens synkrotronens lys er langt kraftigere og helt enestående med hensyn til at få en høj rumlig og tidslig opløsning.

MAX-IV vil blive taget i brug i 2015 og ESS i 2019. Imidlertid eksisterer der allerede et meget aktivt dansk miljø, der bruger andre udenlandske faciliteter, og som industrien allerede i dag kan koble sig på.

Undersøgelse af emner i 3D og 4D

Det er velkendt fra medicinske scannere, at røntgen kan bruges til at lave tre-dimensionelle (3D) billeder. Baseret på tilsvarende teknikker er det muligt at bruge de store neutron- og røntgenfaciliteter til at se, hvordan materialer og komponenter er opbygget i 3D. Endnu mere interessant er det også at følge tidsudviklingen af strukturen inden i et emne (4D), mens man f.eks. behandler eller udmatter det. Videre kortlægger man i dag ikke blot densitetsforskelle, som vi kender det fra hospitalet, men også f.eks. de lokale spændinger, eller, på mikrometer-skalaen, hele mikrostrukturen i 3D. Dette felt, som kaldes ”imaging”, er derfor i rivende udvikling på alle de store faciliteter og har i dag det største industrielle brugersamfund næst efter proteinkrystallografi.

Neutron imaging benyttes til store strukturer som bestemmelser af spændinger omkring svejsesøm i pipelines eller 3D visualisering af sod og partikler i et dieselfilter. Tyske bilfirmaer bruger det til at gennemlyse motorblokke og se på flow af brændstof og gas under kørsel. Det danske firma Amminex har undersøgt fordelingen af ammoniak i et lagringsemne inden i en tyk stålbeholder.



INSTRUMENTER I VERDENSKLASSE

Med røntgen kan man lave 3D undersøgelser med uhørt god rumlig opløsning – helt ned til 50 nanometer (nm). Dog er det typisk sådan, at jo bedre opløsning, man ønsker, jo mindre må prøven være. Videre kan man gøre det meget hurtigt: rekorden er et helt 3D billede taget på 1/10.000 af et sekund. Dette betyder, at man dels kan filme selv meget hurtige processer live, dels kan forestille sig at måle på meget store serier af emner, eventuelt ved hjælp af en robot, der tager emner ind og ud af strålen.

Mere end "pretty pictures"

Typisk vil målingerne i 3D være multi-modale; dvs at man f.eks. i letvægts-beton både ser hullerne og bestemmer faserne af anden-fase partikler. I forbindelse med tidsopløste studier egner imaging sig fortrinligt til bl.a. studier af revne-dannelse og korrelationen af disse til den lokale struktur. Et eksempel på brug er udmattelse i glasfiber-kompositter til brug i vindmøllevinger. Imaging er ligeledes meget velegnet til at studere materialer under tryk eller til at forstå sammenhængen mellem flow og struktur i porøse medier, såsom brændselsceller, katalysatorer og geologiske strukturer af interesse for bl.a. den danske olieindustri. Et andet meget aktivt område er imaging af fødevarer.

Der er i dag stor vægt på ikke blot at tage "pretty pictures" men også at udlede pålidelige kvantificerbare materialeparametre og at kunne korrelere 3D strukturen til eksisterende materialemodeller såsom finite element modellering.

Røntgendiffraktion er langt den mest udbredte metode til identifikation af den atomare opbygning – såkaldt strukturløsning - af nye stoffer. I takt med, at stoffernes kompleksitet vokser, bliver strukturen af langt hovedparten af nye materialer i dag bestemt ved brug af synkrotronstråling. Synkrotronen tilbyder samtidig muligheder for screening af meget store serier af emner – ved hjælp af robotter – og for in situ undersøgelser af strukturændringer under f.eks. faseomdannelser. Neutrodiffraction giver komplementær information, f.eks. om placeringen af brint i den atomare struktur. Den danske farmaceutiske industri er stærkt repræsenteret blandt andet af Carlsberg, Novo og Lundbeck. Kemisk Institut på Aarhus Universitet har et stort eksisterende netværk af danske industrier indenfor energi-sektoren, som de hjælper med sådanne undersøgelser.

Haldor Topsøe A/S har været pioner i udviklingen af EXAFS teknikken – som kun kan benyttes på synkrotroner. Den muliggør, at man i et komplekst materiale for hver type atom kan bestemme valens-tilstanden og de lokale bindinger tilmed under operationsbetingelser.

Overflader og nano

Kort fortalt giver såvel neutron- som synkrotron-stråling glimrende muligheder for strukturelle, mekaniske, spektroskopiske og magnetiske studier af overflader. Egenskaber kan bestemmes som funktion af dybden med næsten atomstørrelses nøjagtighed. Hele deponerings-anlæg er blevet kopieret og brugt til in situ studier af væksten af tynde og tykke film.

Indenfor de sidste 10 år er det blevet muligt også at generere koherente stråler på synkrotronerne – med andre ord en røntgenlaser. Dette giver helt nye muligheder ikke mindst for studier af nano-materialer. Isolerede nano-partikler er således blevet karakteriseret i detaljer med en opløsning på 5 nm. Disse teknikker er under udvikling, men de tegner til at blive et kraftfuldt alternativ til brugen af højopløsnings elektronmikroskopi, idet de har fordel af, at nano-strukturerne kan undersøges i realistiske prøve-omgivelser og uden noget krav om, at strukturen er krystallinsk. Dette er af stor interesse for bløde materialer, specielt cellebiologi.

Mulighederne for dansk industri

I praksis er der især tre store udfordringer for mange potentielle industrielle brugere:

- Manglende kendskab.
- Adgangen til instrumenter er primært via peer review, hvilket typisk indebærer 1 års ventetid mellem ide/behov og målinger.
- Dataanalysen kræver ofte en specialist på ph.d.-niveau.

På initiativ af Region Hovedstaden er strukturfondsprojektet "ESS og MAX-IV som vækstmotorer for regionen" oprettet. Projektet har til opgave at forberede initiativer, som fremmer dansk industris udbytte. Et første fokuspunkt er et "3D Imaging Center" på DTU. Dette center vil fungere som en industriportal for den danske industri i relation til 3D og 4D imaging. Centeret vil via strategiske partnerskaber sikre sig nem tilgang til faciliteterne og vil være bemandet således, at det kan tilbyde hele porteføljen af opgaver fra rådgivning over dataopsamling til fuldt analyserede data. Det er også tanken, at 3D Imaging centeret vil være en lokal facilitet med røntgenudstyr, som kan benyttes til testforsøg, til mindre krævende opgaver og til efteruddannelse.

3D imaging centeret er inspireret af det engelske center MXIF, der fungerer som industriportal over for neutron-faciliteten ISIS og synkrotronen DIAMOND. Efter 3 års drift er centeret en klar succes med over 50 industrielle kunder i alle størrelser fra små og mellemstore virksomheder (SMV) til Rolls-Royce og BP, som har indgået store samarbejdskontrakter med MXIF.

7. KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER

Tid til dansk satsning på materialer

Evnen til at vælge de bedst egnede materialer og forarbejde dem rigtigt er hemmeligheden bag en stor del af Danmarks erhvervssucceser. Det vil også være afgørende for, at vi kan skabe nye, højproduktive og konkurrence-dygtige arbejdspladser fremover.

”Vi kæmper med næb og klør for at opretholde produktion i Danmark. Det kan imidlertid kun ske, hvis vi forstår at tilføre så meget knowhow, at det opvejer de højere lønomkostninger. I den sammenhæng er viden om materialer netop det, der flytter os i forhold til konkurrenterne. Teknisk design er for eksempel også vigtigt, men knowhow inden for materialer er det virkelig afgørende.”

Jens Hinke, udviklingsdirektør i SP Group, sammenfatter budskabet i denne rapport i få sætninger. Citatet er fra et interview til rapporten. Virksomheden med hovedsæde i Sønderø på Nordfyn fremstiller blandt andet coatings. Særligt udviklede polymermaterialer, der for eksempel bruges til at belægge indersiden af et stålrør, så det kan tåle de stoffer det skal transportere.

Andre eksempler er pumper fra Grundfos, kraftværker hos DONG Energy og insulin-penne fra Novo Nordisk. Grundfos' pumper udmærker sig ved at kunne overleve i barske miljøer, konstant nedsænket i vand, som endda kan indeholde forurening. DONG Energy har været i stand til at hæve driftstemperaturen på de kulfyrede kraftværker markant. Det giver bedre driftsøkonomi og lavere miljøpåvirkning. Nu er virksomheden i gang med den samme udvikling inden for kraftværker fyret med biomasse. Novo Nordisk's insulin-penne fungerer stadig bedre og bedre, siden Novo Nordisk lancerede dem. Ved anvendelse af nye materialer og funktionelle designs er de blevet lettere at bruge og mere sikre for patienterne.

Så længe produktet virker, tænker vi ikke så meget over, hvilke materialer, det indeholder. Men for både SP Group, Grundfos, DONG Energy, Novo Nordisk og en lang række andre danske virksomheder ligger der dyb indsigt i materialer bag den forretningsmæssige succes. Det fremgår af rapporten.

Som eksemplerne viser, har danske virksomheder historisk været gode til at vælge de bedst egnede materialer til givne formål og lære sig at forarbejde dem optimalt. Men, industrien står over for en række udfordringer, hvor et tæt samspil med forskningsmiljøer er afgørende for at sikre en fortsat vækst og konkurrenceevne hos danske fremstillingsvirksomheder.

Rapporten viser, at der nu bør etableres et stort, nationalt forsknings- og innovationsprogram inden for materialeforskning. Løsning af danske virksomheders konkrete materialeudfordringer bør samtidig være en central del af de initiativer, der nu igangsættes som led i udmøntningen af regeringens innovationsstrategi. Dette vil kunne bidrage væsentligt til danske virksomheders innovation, produktivitet og konkurrenceevne. Konklusionerne fra de afholdte workshops mellem industrien og forskere fra DTU er i det følgende sammenfattet i seks overordnede anbefalinger.

Anbefaling #1

Behov for en tværgående platform

Den relativt enkle bottom-up proces, som ligger bag denne rapport, har afdækket en række konkrete eksempler på, at danske virksomheder står over for krævende materialeudfordringer. Løsningerne af dem går ofte på tværs af faglige discipliner og kræver tæt samspil mellem virksomheder, grundforskning og anvendt forskning.

Netop den tværfaglige viden er karakteristisk for størstedelen af problemstillingerne i denne rapport. Det gælder f.eks. i relation til en række af problemstillingerne i kapitlet om ”Overfladeteknologier”, hvor der stilles krav til overfladernes funktionalitet, deres visuelle egenskaber og/eller måden de føles på. Løsninger på dette område kræver ofte et tæt samspil mellem forskellige fagligheder med baggrund i f.eks. materialevidenskab, optiske fænomener, biologi, fluiddynamik, nanoteknologi og processering.

I kapitlet om ”Materialer i kontakt med biologiske systemer” kræver løsningen eksempelvis medicinsk viden om kroppens reaktion over for et fremmed materiale. Tilsvarende kræves materialeviden for at forudsige, hvordan kroppens væv, væsker og mekaniske belastninger vil påvirke materialet over tid. Tilgangen spænder fra grundlæggende til anvendt forskning i en række videnskabelige discipliner og kræver en symbiose af eksperimentelt, numerisk og karakteriseringsarbejde.

Uden en hensigtsmæssig organisering, der sikrer, at industrielle løsninger findes på tværs af de enkelte forskningsmiljøers snævre faggrænser, risikerer Danmark at gå glip af et kæmpe innovationspotentiale. Der er behov for, at forskerne ikke bare søger løsninger inden for eget fagfelt, men også bygger videre på løsninger opstået i andre fagmiljøer beskæftiget med f.eks. andre materiale-typer og teknikker.

KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER

I 1990'erne gennemførte Danmark to materialeteknologiske udviklingsprogrammer, MUP1 og MUP2. Programmerne skabte mange succeshistorier i dansk industri. For eksempel startede NKT datterselskaber inden for såvel optisk kommunikation samt superledning som direkte resultat af MUP-projekter, lige som Grundfos grundlagde en pulvermetallurgisk virksomhed. Desuden kunne Danfoss melde om store fremskridt inden for plastisk formgivning af rustfrit stål, modstandssvejsning samt forståelsen af nedbrydningen af plast i varmt vand. Plastindustrien fik samlet kræfterne inden for plast- og polymerforskningen, og mikro-elektronikken fik et kraftigt løft som følge af MUP-midler. Derudover grundlagde de to programmer en lang række relationer og netværk mellem forskere og industri. For eksempel opstod der et netværk med flere end 20 virksomheder omkring Teknologisk Institut og Aarhus Universitets fælles overfladecenter. Det seneste af de to MUP-programmer udløb i 1998.

Rapporten anbefaler, at der etableres en national platform, som kan fungere som portal for danske virksomheders adgang til tværvideenskabelige løsninger, f.eks. i form af en SPIR (Strategic Platform for Innovation and Research). Platformen skal favne både grundlæggende og anvendt forskning og fostre innovative, tværfaglige forsknings- og udviklingsprojekter, som løsninger på de reelle udfordringer, som virksomhederne står overfor.

Anbefaling #2

Hurtigere vej fra forskning til anvendelse af nye løsninger

Dialogen med de deltagende virksomheder har vist, at virksomhederne i høj grad er opmærksomme på, at der er et stort antal nye, relevante teknologier og processer til rådighed. Faktisk er mulighederne så mange, at det nogle gange kan være svært at vælge mellem dem. Udfordringen for virksomhederne er at navigere mellem potentielt lovende teknologier og vurdere risikoen for, at et nyudviklet materiale eller en ændret proces vil påvirke et produkts levetid.

Innovationskæden fra opfindelsen af et materiale eller en proces til en succesfuld anvendelse i et produkt strækker sig typisk over mange år og består af en række stadier: Opfindelse, udvikling, optimering af egenskaber, systemdesign, integration, certificering, fremstilling, anvendelse (inklusive bæredygtighed og genvinding), kvalitetskontrol og dokumentation. Den enkelte virksomhed står desuden over for en vanskelig cost-benefit analyse af fordelagtigheden i teknologien, risikovurdering, kvalificering og validering med dertil hørende tests.

Med andre ord er der ikke en enkel formel for, hvordan man forkorter tiden fra opfindelse til anvendelse. I rapportens kapitel om "Skræddersyede overflader" gives der eksempler på de mange muligheder for at opnå fantastiske funktioner og effekter ved at ændre et materiales overfladeegenskaber. Dog savnes der effektive værktøjer til at risikovurdere, kvalificere og validere disse overflader. Man må nødvendigvis kende materialets opførsel og holdbarhed i en given anvendelse, før teknologien tages i brug. Det samme er i høj grad relevant for kapitlet om "Sammenføjninger", hvor der også er store perspektiver i ny teknologi, men hvor netop kvalificeringen og valideringen ofte er en hæmsko for industrielt udbytte. Samtidig peger kapitlet om "Materialer udsat for ekstreme påvirkninger" på, at der er behov for realistiske simulering- og modelleringsværktøjer for at forudsige skadesudbredelse i materialer under praktiske forhold. Disse modeller vil kunne bruges til at forudsige restlevetiden af materialer og komponenter, som allerede er taget i brug, men de kan også indgå i fremtidigt materialedesign for at forkorte tidsrummet mellem udvikling og anvendelse af nye materialeløsninger.

Fra et nyt materiale opfindes, til det tages i brug på markedet, kan det tage flere år. Rapporten anbefaler derfor, at nye initiativer har fokus på at forkorte vejen fra opfindelse til anvendelse og sikre en bedre nyttiggørelse af nye forskningsresultater i virksomhederne. Der er markant behov for at udvikle værktøjer til f.eks. risikovurdering, kvalificering og validering samt simulering- og modelleringsværktøjer. Målet i det amerikanske "Materials Genome Initiative" om at halvere den tid, der går fra et nyt materiale opfindes til dets implementering i industriel skala, bør være en inspiration og samarbejdskilde for en dansk satsning på området.

Anbefaling #3

Øget omfang og styrket fokus på forskningsprojekter, der løser virksomhedernes materialeudfordringer

I alt gennemgår rapporten flere end 20 centrale materialeudfordringer, som danske fremstillingsvirksomheder står over for i hverdagen, eksempelvis slid, højtemperaturkorrosion, svejsning af uens materialer, samleprocesser på mikroskala, antibakterielle overflader, selvrensende overflader, implantater i blødt væv, bionedbrydelige medicoprodukter. Der er behov for, at forskning inden for emner som disse udføres i tæt samspil mellem virksomheder og videninstitutioner.

Eksemplerne fra rapporten identificerer fire faglige temaer, hvor en fornyet dansk forsknings- og udviklingsindsats særligt vil fremme dansk erhvervslivs konkurrenceevne:

KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER

1. Materialer udsat for ekstreme påvirkninger
2. Materialer i kontakt med biologiske systemer
3. Sammenføjninger
4. Skræddersyede overflader

Parterne bag rapporten vil fastholde fokus på at vedligeholde og udvikle overblikket over virksomhedernes materialemæssige udfordringer parallelt med, at der søges etableret de nødvendige finansieringsinstrumenter til at sørge for konkret aktivitet. Forskningsaktiviteterne skal udføres i tæt samspil mellem virksomheder og videninstitutioner.

Anbefaling #4

Parat til start af nye internationale forskningsanlæg

Etableringen af ESS og MAX IV i Lund samt European XFEL i Hamborg giver danske virksomheder og universiteter en enestående chance. Faciliteterne rummer meget store perspektiver for karakterisering af materialer. Imidlertid er der en række barrierer for virksomheder, der har interesse i at udnytte mulighederne. Først og fremmest kræver det højt specialiseret viden at udføre forsøg på anlæggene. Det samme gælder den efterfølgende databehandling. Kun få virksomheder er i besiddelse af denne ekspertise.

Derfor er det afgørende, at virksomhederne samarbejder med universiteterne. Her tænkes ikke kun på udførelsen af selve forsøgene i Lund og Hamborg. Ofte vil det være hensigtsmæssigt at udføre en række test og screeninger hjemmefra, så man er sikker på, at forsøgstiden på de avancerede anlæg bliver udnyttet bedst muligt. Dertil kommer hjælp til den efterfølgende databehandling, som typisk er langt mere ressourcetrækkende end selve forsøgene. Erfaringerne viser, at den support, som virksomhederne typisk kan få adgang til på andre storskalafaciliteter, er utilstrækkelig for langt de fleste virksomheder.

Rapporten anbefaler, at der på universiteterne etableres samarbejdsstrukturer og industriportaler, som kan sikre fuld udnyttelse af det innovationspotentiale, som ligger i ESS, MAX IV og European XFEL. Ideen om DTU som hjemsted for et 3D Imaging Center er et konkret eksempel på en aktivitet, der kan bidrage til at løfte den opgave.

Anbefaling #5

Mere uddannelse – en afgørende byggesten i udviklingen af fremtidens materialer

Den hurtige udvikling på materialeområdet og de stadig større krav til tværvidenskabelige løsninger stiller høje krav til videreudvikling af uddannelser og efteruddannelser, som gør kandidater og medarbejdere i stand til at matche industriens behov. Tilpasningen af uddannelserne

til samfundets krav foregår inden for rammerne af universitetets aftagerpaneler og advisory boards, og er ikke noget vi har kunnet komme tættere på i denne proces. Dog peger rapporten på, at skal Danmark være parat til at gribe de muligheder, som storskalaanlæggene ESS, MAX IV og European XFEL giver, er det afgørende, at anvendelsesmulighederne ved sådanne anlæg inddrages som en del af pensum på relevante uddannelser, og at der udvikles efteruddannelses tilbud for industrien i relation til anlæggene.

Uddannelse af de rette kandidater er en af de væsentligste veje til at sikre virksomhedernes konkurrencedygtighed. Rapporten påpeger, at det er afgørende, at universiteterne har et konstant fokus på, om nye anvendelsesmuligheder giver anledning til rekrutteringsproblemer i industrien. Dette gælder ikke mindst i forhold til ESS og MAX IV, hvor svenske undersøgelser viser, at der eksisterer et betydeligt efterslæb med hensyn til kompetencer.

Anbefaling #6

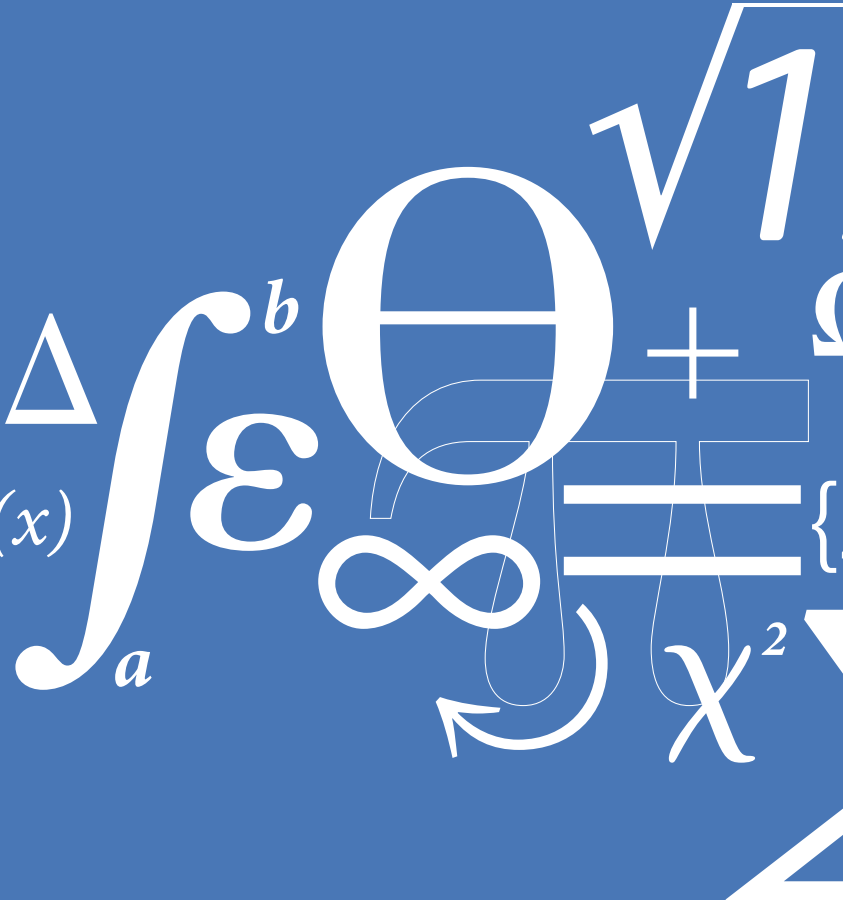
Øget international videndeling

Både EU og USA har etableret store initiativer for at styrke deres virksomheder og finde nye løsninger. USA lancerede i 2011 sit "Materials Genome Initiative". Målet er at halvere tiden, der går fra opfindelsen af nye materialer (heriblandt processer) til deres implementering på industriel skala. Det er et ambitiøst mål, som Danmark også bør tilslutte sig, men det kræver en aktiv og målrettet indsats, så danske virksomheder i samspil med danske forskere let og smidigt kan få adgang til de værktøjer, der kræves for at indføre ny teknologi. I det amerikanske initiativ arbejdes, der blandt andet på tiltag, der øger anvendelsen af materiale- og procesmodellering over flere længdeskalaer, åbent tilgængelige databaser for materialer samt avanceret karakterisering.

På europæisk plan er der med et stort budget sat fokus på materialeområdet i Horizon 2020. Materialer er udnævnt som såkaldt Key Enabling Technologies. Det vil sige teknologier af afgørende betydning for at skabe innovation og vækst på en lang række områder.

Hvis danske virksomheder ikke skal hægtes af den udvikling inden for materialeområdet, som sker andre steder i verden, anbefales det, at danske virksomheder og videninstitutioner tilskyndes til at deltage i højt profilerede internationale forskningsinitiativer. Kun på den måde kan danske virksomheder og videninstitutioner få adgang til den nyeste internationale viden.

Danmarks Tekniske Universitet
Anker Engelundsvej 1
2800 Kgs. Lyngby

$$f(x+\Delta x) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(\Delta x)^i}{i!} f^{(i)}(x)$$
A collection of large, white, stylized mathematical symbols is scattered on the right side of the page. These symbols include a large integral sign with a delta symbol above it and 'a' and 'b' as limits, a large Greek letter epsilon, a large infinity symbol, a large Greek letter theta, a plus sign, a square root symbol, and a chi squared symbol. Some symbols are partially cut off by the right edge of the image.