

M11. Thermische eigenschappen

- Smelttemperatuur T_m – glasovergangstemperatuur T_g – min/max gebruikstemperatuur $T_{\min/\max}$
- Warmtecapaciteit $C_p = \frac{\Delta U}{\Delta T}$ = energie om 1kg 1K warmer te laten worden
- Expansiecoëfficiënt α
- Warmtegeleidingscoëfficiënt λ – warmteflux q
- Smeltgedrag: thermische diffusiviteit a

Fysische achtergrond

Warmtecapaciteit

- Warmte = vibreren van atomen
 - N atomen $\rightarrow N$ golf lengtes; 1 longitudinale + 2 transversale modes $\rightarrow 3N$ modes
- \rightarrow Totale thermische energie per volume-eenheid $= 3 \cdot \frac{k_B T}{\Omega}$
- \rightarrow Warmtecapaciteit per volume-eenheid $\rho C_p = \frac{3k_B}{\Omega} \text{ J/m}^3 \text{ K} = 2 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \text{ K}$

Expansiecoëfficiënt

- Verband tussen atoomafstand a en kracht F is niet-lineair!
 \rightarrow Afwijking t.o.v. a_0 bij toename energie
- Verband met stijfheid: $\alpha \approx \frac{1.6 \times 10^3}{E}$
- Verband met T_m : elk kristallijn materiaal zet ongeveer 2% uit tussen 0 K en T_m

Warmtegeleiding

- Via thermische vibraties
 - Hoge $T \rightarrow$ hoge energie van fononen
 - 6 bewegingsrichtingen: 1/6 naar links en 1/6 naar rechts
- $$q = -\frac{1}{6} \rho C_p c_0 \left(T + \frac{dT}{dx} \ell_m \right) + \frac{1}{6} \rho C_p c_0 \left(T - \frac{dT}{dx} \ell_m \right) = -\frac{1}{3} \rho C_p \ell_m c_0 \frac{dT}{dx}$$
- met $c_0 = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$
- Metalen
 - Warmtetransport via vrije elektronenwolk
 - Goede elektrische geleider \rightarrow goede warmtegeleider
 - Via straling indien transparant voor infrarood

Thermische eigenschappen beïnvloeden

Expansiecoëfficiënt

- Moeilijk te veranderen

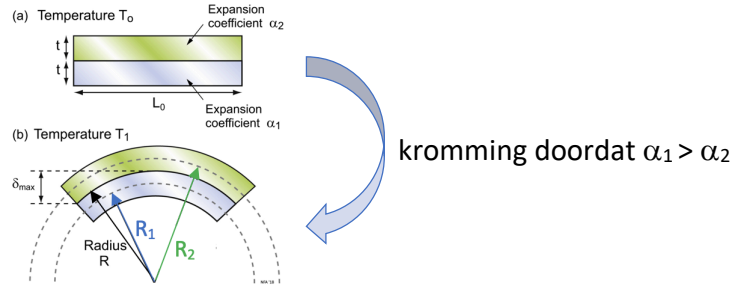
Warmtegeleiding en warmtecapaciteit: $\lambda = -\frac{1}{3} \rho C_p \ell_m c_0$

- ℓ_m daalt door precipitaten of oplossingsversteving
 \rightarrow Poreuze materialen isoleren goed

Ontwerpen met thermische eigenschappen

Verschillen in expansiecoëfficiënt α

- Beheersen van thermische spanningen
 - Deklaag (α_1) op massieve blok (α_2)
 - Rek $\varepsilon = \frac{(\delta L_1 - \delta L_2)}{L_0} = \Delta T(\alpha_1 - \alpha_2)$
 - Biaxiale spanning $\sigma_1 = \frac{E_1}{(1-\nu_1)}(\alpha_1 - \alpha_2)\Delta T$
 - Graduele verbinding
- T sensor en actuatie



$$L_2 - L_1 = R_2\theta - R_1\theta = (R_2 - R_1)\frac{L}{R} \approx (R_2 - R_1)\frac{L_0}{R} = \frac{t}{R} L_0 \left\} \frac{t}{R} = (\alpha_2 - \alpha_1)\Delta T$$
$$L_2 - L_1 = L_0(\alpha_2 - \alpha_1)\Delta T$$

- Thermische vervorming
 - Ook door verschil in gradiënt in T
 - Niet gewenst voor precisie-instrumenten
 - Materialen met hoge ratio $\frac{\lambda}{\alpha}$

Temperatuurgradiënten

- Thermische schokweerstand
 - Buitenste laag ondervindt krimp $\alpha\Delta T$
 - Onderliggend materiaal gaat krimp tegen
 - Biaxiale spanning: $\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu \sigma_y) \Leftrightarrow \sigma = \frac{E}{(1-\nu)} \varepsilon = \frac{E}{(1-\nu)} \alpha\Delta T$
 - Gevaar voor scheuren

Warmtegeleiding λ

- Warmtewisselaar
 - Hoge sterkte (ofwel spanning niet te hoog): $t = p \frac{R}{\sigma_y}$ minimaal
 - Goede geleiding: $q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} = -\lambda \sigma_y \frac{\Delta T}{p R}$ maximaal
 - $\lambda \sigma_y$ maximaal
- >< Isolatie

Warmtecapaciteit C_p

- Warmteopslag $Q = mC_p\Delta T$ maximaal

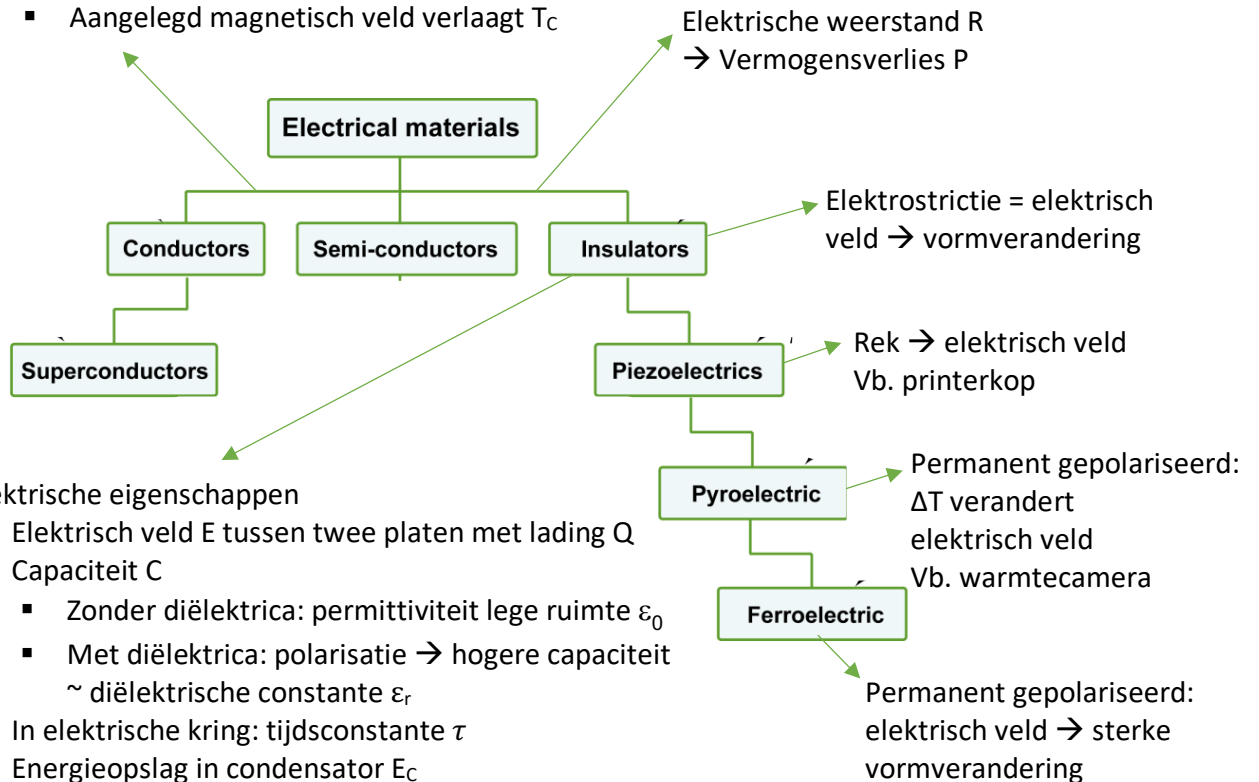
Speciale toepassingen

- Thermische buffer: Phase Change Materials
- Vormgeheugenlegeringen

M12. Elektrische eigenschappen

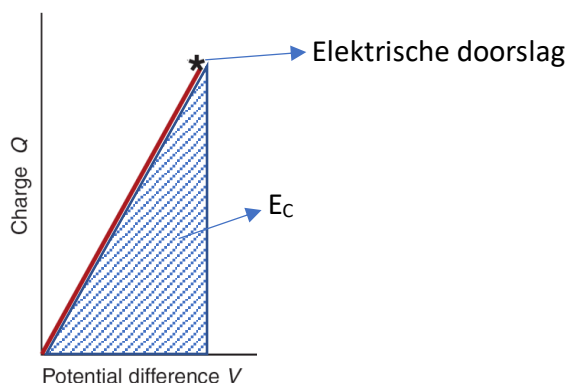
Resistiviteit ρ_e – geleidbaarheid ρ_e^{-1}

- Metalen: $\Delta T \uparrow \rightarrow \rho_e \uparrow$
Vb. gloeilamp: lage $R \rightarrow$ grote $I \rightarrow$
vermogensverlies: $\Delta T \uparrow \rightarrow \rho_e \uparrow \rightarrow I$ stagneert
 \rightarrow vermogensverlies stagneert: T stagneert
- Halfgeleiders: $\Delta T \uparrow \rightarrow \rho_e \downarrow$
- Supergeleiders: $< T_c \rightarrow \rho_e = 0$
 - Meissner effect
 - Aangelegd magnetisch veld verlaagt T_c



Diëlektrische eigenschappen

- Elektrisch veld E tussen twee platen met lading Q
- Capaciteit C
 - Zonder diëlektrica: permittiviteit lege ruimte ϵ_0
 - Met diëlektrica: polarisatie \rightarrow hogere capaciteit
 \sim diëlektrische constante ϵ_r
- In elektrische kring: tijdsconstante τ
- Energieopslag in condensator E_C



- Ladingsdichtheid aan oppervlak $D = \frac{Q}{A} = \frac{CV}{A} = \left(\epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{t}\right) \frac{V}{A} = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{V}{t} = \epsilon_r \epsilon_0 E$
 D_{\max} bij doorslagveldsterkte E_b
- Polarisatie \rightarrow dissipatie van energie (vermogensverlies)

M13. Materiaalverwerking

Grondstoffen

Primaire vormgeving (gieten, walsen, spuitgieten, additive manufacturing)

Heel veel (complexe) mogelijkheden!

Secundaire processen (bewerken, warmtebehandeling, verspanen, boren, ...)

Verbindingstechnieken (lassen, lijmen, ...) & oppervlaktebehandeling (anodiseren)

Eindproduct

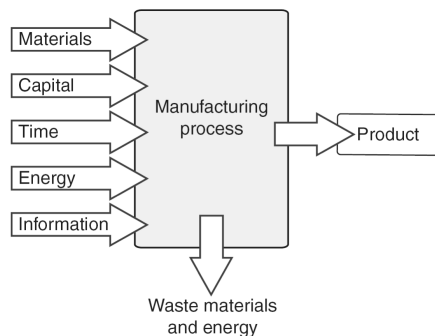
- Materiaal-proces compatibiliteit
- Geometrie van verbinding & belasting wijze
- Extra functionaliteiten
- Beperking bij uitvoering
- Fysische beperkingen
- Materiaal-proces compatibiliteit
- Doel van behandeling
- Secundaire compatibiliteit
- Fysische beperkingen

Selectiestrategie

Vertaalslag:

- Functie
- Beperkingen → screening
 - Technisch
 - Materiaal-proces compatibiliteit
 - Vorm (type, massa, dikte)
→ continu of discreet proces?
 - Kwaliteit
 - Tolerantie
 - Ruwheid R^2
 - Economisch
- Objectief: kostenminimalisatie → ranking

Kostenmodel



- Materiaalkost/e⁻ C_1
 - Variabele kost/e⁻ C_2
 - Uitrustingskost/e⁻ C_3
 - Overheadkost/e⁻ C_4
- } Vervaardigingskost C_s
- Proceskeuze afhankelijk van batchgrootte

- Vrije variabelen: proceskeuze en parameters

Technische evaluatie: beperkingen

Gieten en stollen

- Krimp → interne spanningen
- Gasbellen
- Segregatie
- Bruuske overgangen
- Te dunne stukken stollen te snel

Smeden/walsen

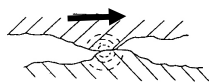
- Wrijving beperkt dikte

Poedervormgeving

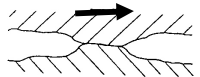
- Porositeit

Wrijving

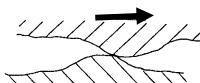
= weerstand bij beweging van 2 oppervlakken t.o.v. elkaar (**systeemeigenschap**)



Ruwheidstoppen botsen → elastische vervorming → plastische vervorming



Adhesie



Afschuiving en elastische terugvering

Wrijvingskracht F_w

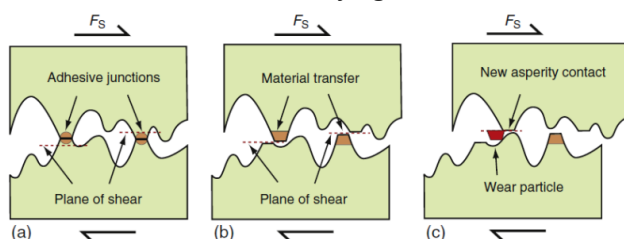
- Onafhankelijk van nominaal contactoppervlak A_n
 - Recht evenredig met belasting F_n
 - Snelheid niet van belang
 - Wrijvingscoëfficiënt μ
- $$F_n = A_r \sigma_y$$

Slijtage

= materiaalverlies door wrijving (**systeemeigenschap**)

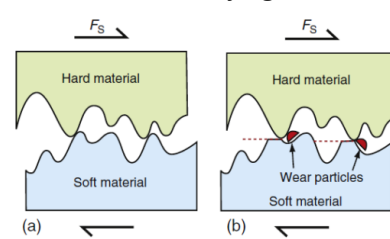
- Onafhankelijk van nominaal contactoppervlak A_n
- Recht evenredig met afgelegde weg
- Recht evenredig met belasting F_n
- Archard vergelijking voor slijtagevolume V

Adhesieve slijtage



↔

Abrasieve slijtage



M14. Duurzaamheidsevaluaties

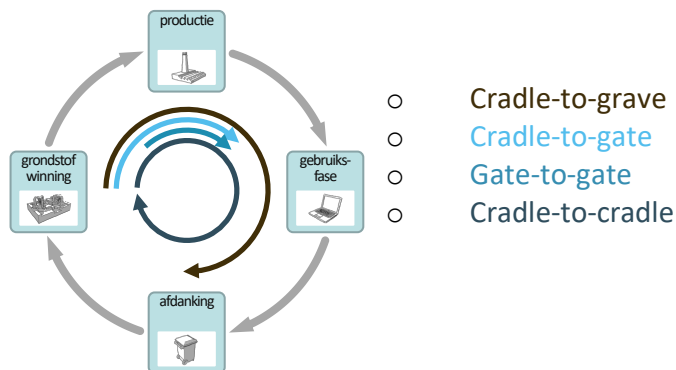
Levenscyclusanalyse

→ Enkel milieu-impact



Stap 1: doelbepaling

- Systeemgrenzen



- Functionele eenheid

→ Vergelijkingsbasis

- Allocatie procedure

Vb. coproductie of diverse input:

- Verdelen volgens massa/economische waarde

Vb. recyclage

- Cut-off/recycled content methode

$$\text{Impact}_1 = \text{ontginning} + (\text{productie}_1 + \text{gebruik}_1)$$

$$\text{Impact}_2 = \text{recyclage}_1 + (\text{productie}_2 + \text{gebruik}_2)$$

$$\text{Impact}_3 = \text{recyclage}_2 + (\text{productie}_3 + \text{gebruik}_3) + \text{afvalverwerking}$$

- Substitutie/recyclability methode

$$\text{Impact}_1 = (\text{productie}_1 + \text{gebruik}_1) + \text{recyclage}_1 + \text{afvalverwerking}$$

$$= (100 - r) \text{ ontginning} + (\text{productie}_1 + \text{gebruik}_1) + r \text{ recyclage}_1 + r \text{ afvalverwerking}$$

- Combinaties: closed loop methode, 50/50 methode, ...

Stap 2: inventarisatie (LCI)

- Eenheidsprocessen

→ Input: grondstoffen, energie, landgebruik

→ Output: emissies in lucht/water/bodem, afval

$$\sum \text{Input} = \sum \text{output}$$

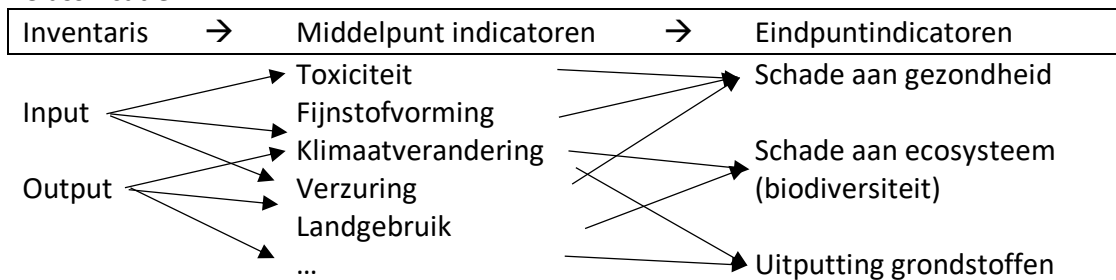
- Gegevensbronnen

- Foreground/primaire data
- Background/secundaire data

Stap 3: effectbeoordeling (LCIA)

→ milieu-impact

- Classificatie



- Karakterisering
 - Conversiefactor → aggregatie per impactcategorie
- (Normalisering)
= delen door referentiewaarde
- (Weging)
 - Distance to target
 - Economische waarden
 - Sociale voorkeuren (hiërarchisch, individualist, egalitair)

Stap 4: interpretatie

Eco-audit

→ Nodige energie/CO₂ ...

- Energie-inhoud H_m om 1 kg bruikbaar materiaal te maken
 - Directe energie, transport, oliederivaten, machines, ...
 - CO₂ voetafdruk
- Procesenergie H_p
- Energie-inhoud recyclage H_{rc}

... per fase in materialenkringloop

- Materiaalwinning
- Productie
- Transport
- Gebruik (statisch/dynamisch)
- Afdanking
 - Storten: geen energierecuperatie
 - Verbranden met energetische valorisatie: calorische waarde als recuperatie
 - Recyclage: $H_m - H_{rc}$ als recuperatie
 - Re-engineering: 90% H_m als recuperatie
 - Hergebruik: volledige energierecuperatie