

Ashbyn kartat (Ashby diagrams)

Kullakin materiaaliryhmällä on muutama ominaisuus, joka erottaa ne selvästi toisista materiaaliryhmistä. Ashbyn kartoissa materiaalit jaetaan ryhmiin. Niistä voidaan päätellä suunnitteluvaiheessa, mikä materiaali on hyvä sovellukseen. Ashbyn kartoissa materiaalit on lajiteltu siten, että lujuus on esitetty tiheyden funktiona.

Yksikkökoppi

Pienin toistuva rakenne materiaalin sisällä.

Kiderakenne

Kiderakenteen muodostavat säännöllisesti toistuvat atomijoukot. Pienin säännönmukainen yksikkö on yksikkökoppi. Samaan suuntaan suuntautuneet kiteet muodostavat rakeen.

Raeraja = kideraja

Raerajalla kiderakenteen orientaatio muuttuu. Kts. kiderakenne.

Bravaisin hilat (Bravais lattice) = yksikkökopit

On mahdollista määrittää 14 erilaista atomien muodostamaa hilaa, joita kutsutaan bravaisin hilaksi. Hilapisteeet ovat atomeita hilassa.

pkk = pintakeskinen kuutiollinen kiderakenne

tkk = tilakeskin kuutiollinen kiderakenne

tph = tiivispakkauksinen heksagoninen

Allotrooppinen tai polymorfinen

Materiaali jolla voi olla useampi kuin yksi kiderakenne.

Millerin indeksit

Metallit muovautuvat atomista sen lähimpään atomiin olevassa suunnassa. Millerin indeksi määrittää tämän suunnan. Indeksien määrittäminen Askeland s.48.

Kiteiden välisijat

Tiivispakkauksisessa atomipunouksessa muodostuu tetraedrikoloja (neljä atomia) ja oktaedrikoloja (kuusi atomia). Välisija toistuu kiderakenteessa eikä koloja voida täyttää. Kiteen välisijapisteen pitää olla symmetrisesti välisijan muodostavien atomien keskellä. Jos välisijapistettä ympäröi neljä atomia on se tetraedrikolo ja kuudella oktaedrikolo.

Atomien lukumäärä per yksikkökoppi

Kuinka monta atomia kuuluu yhdelle yksikkökopille. Voidaan laskea siten, että lasketaan ensin kuinka moneen (x) yksikkökoppiin kukin atomia kuuluu. Summataan yksikkökopin kaikkien atomien osat (1/x) yhteen, jolloin saadaan kuinka monta kokonaista atomia on yhdellä yksikkökopilla.

Kidevirheet

Viivamaiset: Eli *dislokaatiot*.

Pistemäiset: Pistevirheitä ovat vakanssit, välisijavirheet, korvausvirhe ja muut virheet (Frenkel, Shottky).

Vakanssi = atomi puuttuu kidehilasta

Välisijavirhe = välisijapisteessä on ylimääräinen atomi (voi olla epäpuhtausatomi)

Korvausvirhe = kidepisteen atomi on korvautunut muulla atomilla (voi olla epäpuhtausatomi)

Frenkel-virhe = kidepisteen atomi on siirtynyt välisijapisteeseen. Synonyymi: vakanssi- tai atomipari.

Shottky-virhe = ionikidehilassa sekä negatiivinen, että positiivinen ioni puuttuu

Tasomaiset:

Raerajat = raerajalla tapahtuva kiderakenteen muutos

Faasirajat = faasirajalla tapahtuva kiderakenteen muutos

Pinousviat = tapahtuu pkk-rakenteessa, kun (tahkotasojen)pinousjärjestys on jossain kohtaa väärä.

Tilavuusvirheet: sulkeumat, kaasurakkulat, terminen värähtely

Kuinka dislokaatiota vaikuttavat keskenään: Kidevirheet vaikeuttavat dislokaatioiden etenemistä.

Kuinka kidevirheet vaikuttavat materiaalin ominaisuuksiin:

Vähenee: Muokattavuus, sähkön johtuminen (plastisen alueen pituus)

Lisääntyy: Lujuus, jännitykset, (elastisen alueen pituus)

Lujuus kasvaa

Kovuus kasvaa kun dislokaation eteneminen pysähtyy rearajaan tai pistevirheeseen.

Dislokaatiot

Dislokaatiot ovat viivamaisia tai nauhamaisia kidevirheitä ja niitä syntyy mm. plastisessa deformaatioissa, jähmettymisen yhteydessä ja säteilytettäessä metallia.

*Särmädislokaatio*ssa kidehilaan on muodostunut ylimääräinen atomitaso puolikas ja tarkasteltaessa rakennetta tietyistä suunnasta nähtäisiin viivamainen virhe.

Ruuvimaisesta dislokaatiosta Akseli kertoi Edam-esimerkin.

Plastinen deformaatio = pysyvä muovautuminen

Materiaalien lujittaminen (dislokaatioiden etenemisen estäminen)

Metalleja pyritään usein lujittamaan haluttujen mekaanisten ominaisuuksien saavuttamiseksi.

1. *Raerakenteen pienentäminen*: *Rearajat* toimivat dislokaatioiden liikkeen esteenä. => Mitä suurempi on kiteiden orientaatioero sitä voimakkaampi este raeraja on. Mitä pienempi raekoko sitä enemmän esteitä.

2. *Liuoslujitus*: *Epäpuhtausatomit* vääristävät hilaa = jännityksiä. Jännityskenttä vaikuttaa dislokaation liikkumiseen.

3. *Erkautuslujittaminen*: ? (*Liukutasolle muodostetaan pieniä, koherentteja vieraan aineen erkautumia.*)

4. *Kylmämuokkaus*: Erilaisia tapoja muuttaa kappaleen poikkipinta-alaa. Taonta, valssaus, veto, pursotus. Samanaikaisesti lijitetaan ja saadaan kappale oikeaan muotoon. Sähkönjohtavuus huononee (kysytty tentissä). Tapahtuu dislokaatiotiheyden kasvulla. Katso elastoplastisen materiaalin venymäpiirros!

Amorfinen tila

Aineen tila, jossa sillä ei ole kiderakennetta.

Metallit

Ominaisuudet:

1. suuri sähkön ja lämmön johtavuus,

2. korkea lujuus sekä sitkeytä

3. hyvä muovattavuus

-Halutut ominaisuudet saadaan usein seostamalla

Metallien rakennetasot:

1. Atomirakenne

2. Kiderakenne

3. Raerakenne

4. Monifaasirakenne = erikiderakenteiden omaavien rakenteiden joukko

Keraamit

Epäorgaanisia epämetallisia (ei muodosta metallihilaa) materiaaleja, jotka sisältävät sekä epämetallisia, että metallisia elementtejä (atomeita), jotka ovat sitoutuneet toisiinsa ioni ja/tai kovalenttisilla sidoksilla.

Ominaisuudet (riippuvia sidosten ominaisuuksista).

1. Kovia mutta hauraita

2. Hyviä sähkön ja lämmön eristeitä

3. Korkea sulamispiste

4. Kemiallisesti stabiileja

Rakenne: On olemassa kidekeraameja.

Polymeerit, Muodostuu useista monomeereistä.

Tyypit:

1. Kestumuovit: Voidaan saattaa kuumentamalla sulamuovattaviksi.
2. Elastomeerit eli kumit.
3. Nesetekidepolymeerit
4. Kertamuovit: Hajoaa termisesti niitä kuumennettaessa.

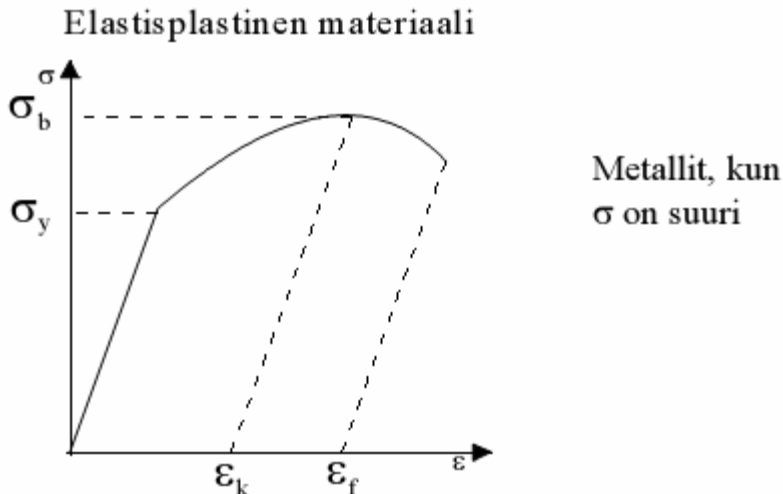
Ominaisuudet:

1. Riippuu paljon lämpötilasta
 2. Johtaa heikosti lämpöä
 3. Johtaa heikosti sähköä
- Käytetään usein eristeenä kohtien 2 ja 3 takia.

Rakenne:

1. Polymeerin molekyylien atomien väliset voimat ovat kovalenttisia
2. Polymeerimolekyylien välillä vaikuttaa sekundääriset sidosvoimat (vety, induktiovoimat)
-Sekundääriset sidosvoimat määrittävät lähes kaikki polymeerien ominaisuudet
3. Polymeerit ovat tyypillisesti puolikiteisiä l. niillä on sekä
-kiteinen (järjestäytynyt osa josta johtuu sulamislämpötila) että
-amorfinen (järjestäytymätön osa josta johtuu lasiutumislämpötila) osa.

Elastisplastinen materiaali



0 -> σ_y = elastinen venyminen. Suoran kulmakertoimesta saadaan kimmokerroin l. Youngin moduli

σ_y -> σ_b = plastinen venyminen

σ_y = myötälujuus, plastisia deformaatiota alkaa tapahtua ja dislokaatiot etenemään

σ_b = murtolujuus, jännitys pienenne ja alkaa murtua

ϵ_k = venymä, jolla kuroutuminen alkaa

ϵ_f = venymä murtuman tapahtuessa

vinot katkoviivat = viiva vedetään samalla kulmakertoimella kuin elastinen venyminen (Youngin moduli).

Esim. Vedetään kappaletta murtolujuuteen asti, kunnes kappale vapautetaan => pituus palaa

ϵ_k :hon. Aloitetaan venyttäminen uudestaan, jolloin venyminen on plastista katkoviivaa myöten saavutettuaan murtolujuuden, jonka jälkeen alkaa jälleen plastinen deformaatio.

Ensimmäisen venytyksen jälkeen kappaleeseen voidaan kohdistaa suurempi voima ennen plastista deformaatiota, jolloin lujuus kasvaa! Katso kylmämuokkaus.

Viruminen (Creep)

Viruminen on vakiokuormituksen (F =vakio) vakiolämpötilassa aiheuttamaa hidasta ja jatkuvaa muodonmuutosta.

Virumista tapahtuu, kun
metalleilla $T > 0.3-0.4 \times T_{sp}$
keraameilla $T > 0.4-0.5 \times T_{sp}$
polymeereillä $T > T_{glass}$

Viruminen johtuu: Mekanismit epäselvät!

1. Dislokaatioiden liukuminen
2. Dislokaatioiden kiipeäminen
3. Diffusioviruminen

-Merkittävää juotoksissa.

-Ei ole merkittävää fysiologisissa olosuhteissa.

Homologinen lämpötila

Homologinen lämpötila on noin 45% sulamispisteestä kelvineinä. Viruminen tulee merkittäväksi kun ylitetään homologinen lämpötila.

Murtumismekaniikka

LEMM = lineaariselastinen murtumismekaniikka. Sen tarkoituksena on ottaa huomioon materiaalivikojen jo materiaalivalinnassa.

Rasitetaan kappaletta jossa on virhe (kolo). Särö lähtee liikenteeseen kun $K=K_c$.

$$K_c = \sigma_n \sqrt{\pi a}$$

Materiaalin valinta

Suunnittelu-jännitys

Havaittu/ sallittu särökoko

K_c on särön kärjen kriittisen jännityksen suuruus, joka voidaan karakterisoida mitattavien suureiden σ_n ja a avulla. a on $2a$, kun virhe on kappaleen sisällä! Kappale murtuu helpommin kun särö ydintyy kappaleen pinnalta. Usein ydintyminen lähtee juuri pinnalta!

Ydintyminen

Ydintymisellä tarkoitetaan uuden faasin muodostumisen ansimmäistä vaihetta. Ydintyminen tapahtuu esimerkiksi kuin pieni palanen kiinteää ainetta muodostuu nesteestä. (Ilmeisesti myös siis särön syntyminen säröttömään materiaaliin)

Väsyminen (fatigue)

Väsyessään toistuvilla kuormituksilla alistuva komponentti voi pettää jännityksellä joka on alle murtalujuuden ja jopa alle myötäljuuden.

1. Jännityksen kontrolloima (säröttömän materiaalin väsyminen)

High-cycle väsymisellä tarkoitetaan väsymistä, kun jännitykset pysyvät myötäljuuden alapuolella mutta toistuvat useasti.

Low-cycle väsymisellä tarkoitetaan väsymistä, kun jännitykset suurempia kuin myötäljuus ja syklien lukumäärä pieni.

Särön ydintyminen kontrolloi väsymisprosessia. Oleellista on että ensin särön pitää ydintyä (syntyä).

2. Venymän kontrolloima (kuormitus ylittää yleisesti tai paikallisesti materiaalin myötäljuuden)

Kuormituskerrat kasvattavat säröjä rakenteessa. Ratkaisevaa on kuinka monta kuormituskertaa tarvitaan ennenkuin säröt ovat kasvaneet kriittiseen kokoonsa ja murtuminen tapahtuu

murtumismekaniikan kaavan mukaan.

Elpyminen = hehkutuksen aikana tapahtuvat muutokset metallin raenteeseen

Kun kappaletta kylmämuokataan sen ominaisuudet huonontuvat. Jotta ominaisuuksia saataisiin palautumaan on välttämöntä tehdä hehkutuksia. Kappaleen elpyminen voi tapahtua toipumalla tai rekristalisaatiolla.

1.Toipuminen = recovery: Matalammilla lämpötiloilla, jossa

-raekoko ja fyysiset ominaisuudet ei muutu

-dislokaatiot sekoittuu (ei vähene) => materiaalissa olevat jännitykset laukeavat.

Korroosiokestävyys ja sähkönjohtavuus paranee

2.Rekristalisaatio = recrystallization: Tapahtuu ydintymisellä ja uusien rakeitten syntymisellä.

-uusissa rakeissa vain vähän dislokaatioita

=> lähes kaikki dislokaatiot poistuu jolloin lujuus pienenee ja sitkeys kasvaa

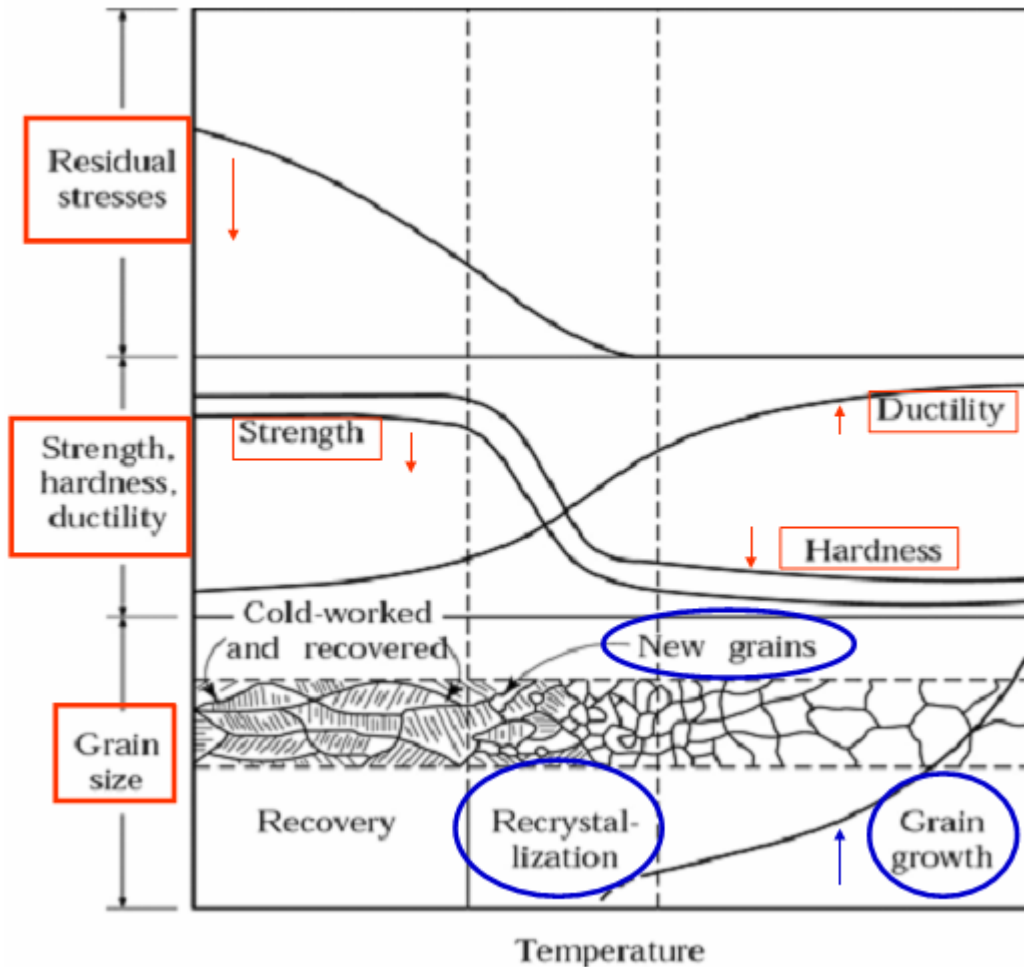
-kaikki jäännösjännitys häviää

-vaikuttavia tekijöitä: muokkausaste, lämpötila, aika, alkuperäinen raekoko ja

metallin/metalliseoksen koostumus

3.Raekoon kasvu = grain growth:

Sekä toipumista että rekristalisaatiota tapahtuu nopeasti jolloin muodostuu hyvä uusi raerakenne. Rakeet alkavat yhdistyä isommiksi rakenteiksi, jolloin raekoko kasvaa.



Ductility = sitkeys

Residual stress = jäännösrasitus

Strength = lujuus

Hardness = kovuus

Juoteliitosten luotettavuus

Juoteliitoksen ominaisuudet muuttuvat (termo)mekaanisessa rasituksessa.

- 1."Vanheneminen" eli lujuuden pieneminen syklisen rasituksen ja/tai korkealämpötila-altistuksen johdosta. Mitä eroa on vanhenemisellä ja väsymisellä?
- 2.Rakeenkasvu
- 3.Muodonmuutosnopeuden vaikutus mekaanisiin ominaisuuksiin (strain-rate hardening): Kylmäkäsittelyn aiheuttama metallin kovuuden kasvu.
- 4.Superplastisuus: Tietyllä käsittelyllä metalli tai metalliseos saadaan kestävämmän venytystä kauttaaltaan enemmän kuin 1000%.

Vaurion syy juoteliitoksessa tavallisesti väsymisen ja virumisen yhteisvaikutus (lukuunottamatta vaurioita shokkikuormituksessa)

Lämmönsiirtomekanismit

Lämpö on aineen sisäistä energiaa ja lämmönsiirto on lämpötilaerosta johtuvaa energiansiirtoa.

Johtuminen: Lämmön siirtymistä kappaleen lämpimämmästä osasta kylmempään osaan tai yhdestä kappaleesta toiseen. Voi tapahtua mikroskooppisesti 1.lämmön diffuusiolla (= amorfisissa aineissa lämmön johtuminen on liige-energian siirtoa molekyyliltä toiselle) ja 2. järjestäytyneessä aineessa, kuten kiteessä kidehila alkaa värähdellä atomisen liikkeen johdosta. Kiinteissä aineissa lämmönjohtuminen on faaseista parhainta. Kiteiset johtavat paremmin kuin amorfiset. Puhtaiden metallien lämmönjohtavuus laskee ja epämetallien nousee lämmön kasvaessa.

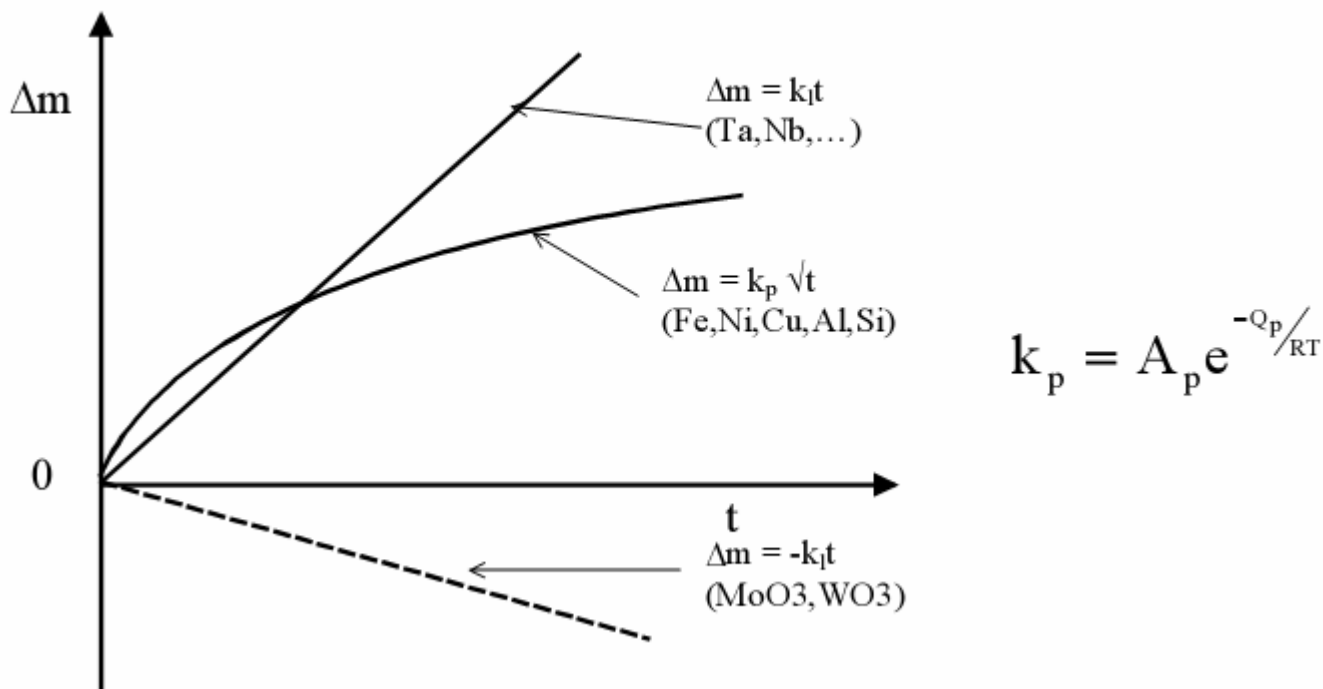
Säteily: Kaikki kappaleet, jotka ovat absoluuttisen nollapisteen yläpuolella lähettävät SMG-säteilyä. Kun säteily kohtaa jonkun aineen, se absorboituu ja muuttuu lämmöksi. Säteilemällä siirtyvä energia ei riipu lämpötilaeroista.Säteily tapahtuu lähinnä infrapuna-alueella. Säteilemällä siirtyvän lämpöenergian määrä on verrannollinen kappaleen absoluuttisen lämpötilan neliöön.

Konvektio: Lämmönsiirto mekaanisesti liikkuvan fluidin avulla kuumemmasta pinnasta kylmempään. Konvektiossa lämpötilaero saa aikaan lämpödiffuusion ja fluidin aineen makroskooppisen liikkeen. Tällöin jäädytettävälle pinnalle tulee aina viileämpää fluidia, mikä tehostaa jäädytystä. *Pakotetulla konvektiolla* tarkoitetaan viileämmän fluidin liikuttamista mekaanisesti, kuten tuulettimilla.

Piirilevyn suuntainen konvektio on huonompi kuin piirilevyä vastaan. Eli tuulettimet kannattaa laittaa puhaltamaan mieluummin päältä kuin sivulta.

Hapettuminen

Hapettuminen



Lineaarinen kasvu: Oksidikerros jää kappaleen pinnalle, muttei suojaa kappaletta. Edellytyksenä, että hapettava materiaali pääsee diffundoitumaan oksikerroksen läpi => halkeilu ja hauras.

Parabolinen kasvu: Oksidikerroksen synty suojaa metallia. Kappaleen massa lähenee kohti tiettyä raja-arvoa, jonka jälkeen ollaan saavutettu natiivioksidikerros. Edellytyksenä on, ettei oksidikerros ole haihtuva tai halkeava

Lineaarinen väheneminen: Linearisessa vähenemisessä oksidikerros poistuu pinnalta eikä suojaa kappaletta. Edellytyksenä on oksikerroksen kaasuuntuminen.

Redox-reaktiot = Sähkökemialliset reaktiot

Anodilla tapahtuu reaktioaineen hapettuminen eli anioni (-) luovuttaa elektronit anodille (+).

Katodilla tapahtuu reaktioaineen pelkistyminen eli katioini (+) vastaanottaa elektroeja katodilta (-).

Passivoituminen on kemiallisen reaktiivisuuden häviäminen tietyssä ympäristössä.

Nerstin yhtälö

Jos tunnetaan elektronin standardipotentiaali, voidaan elektronin potentiaali laskea myös muissa olosuhteissa.

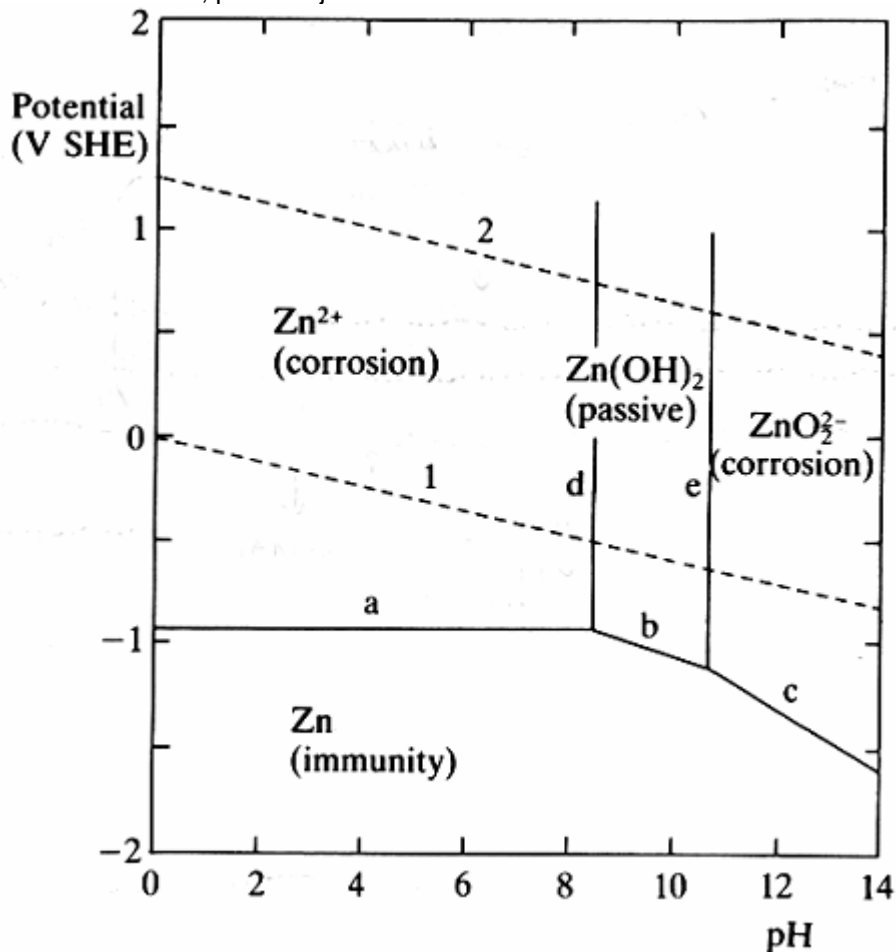
$$\Delta G = -zFE$$

, josta

$$E = E_0 + \frac{RT}{zF} \ln \left(\frac{a_{\text{oxid}}}{a_{\text{red}}} \right)$$

Pourbaix – diagrammi

Pourbaix-diagrammien avulla voidaan tutkia materiaalien ja yhdisteiden stabiilisuusalueita. Diagrammeissa on vaak-akselilla liuoksen pH ja pystyakselilla potentiaali. Pourbaix-diagrammista voidaan arvioida materiaalien teoreettiset aktiivi-, passiivi- ja immuunialueet.



Kuvasta määritteetävät alueet.

-*Immunity:* Immuunialueella metalli on tasapainopotentiaalinsa alapuolella eikä liukene. Immuunialueella ei tapahdu mitään reaktiota.

-*Passive:* Passiivialueella metalli tasapainopotentiaalinsa yläpuolella ja reagoi yhdisteikseen, jotka voivat olla suojaavia

-*Corrosion:* Aktiivialueella metalli on tasapainopotentiaalinsa yläpuolella ja liukenee metalli-ioniksi. Korroosialueella aine on **ionina!**

Viivan kulmakeeroin kertoo reaktion tyypistä seuraavasti.

-*Pystysuorien* viivojen kohdalla mukaan tulevat joko **H₊ tai OH⁻ ionit**. Reaktiot joissa on mukana H tai OH-ioneja, mutta eivät riipu potentiaalista, koska elektronit eivät osallistu reaktioon.

-*Vaakasuorien* viivojen reaktiot eivät riipu pH:sta. Mukana ovat silloin **vain elektronit**.

-*Vinujen* viivojen reaktioissa on mukana H₊ tai OH⁻ ionit: Reaktiot, joihin osallistuvat **elektronit, H⁺-ionit ja OH⁻-ionit**. Nämä viivat ovat diagonaalisia ja niiden kulmakeeroin voi olla joko positiivinen tai negatiivinen.

Mitä tekee katkoviivat?

Faradayn lait

1. Sähkökemialliset "reaktiot tapahtuvat elektrodin pinnalla", missä "vapautuvan aineen massa on suoraan verrannollinen elektrolyytissä kulkevan kokonaisvarauksen määrään" ja

2. "Sähkövirran ansiosta elektrodeilla reagoi määrä materiaa on suoraan verrannollinen aineen kemialliseen

ekvivalenttiin, joka on moolimassa (M) jaettuna reaktiossa kulutettujen elektronien varausluvulla”, eli

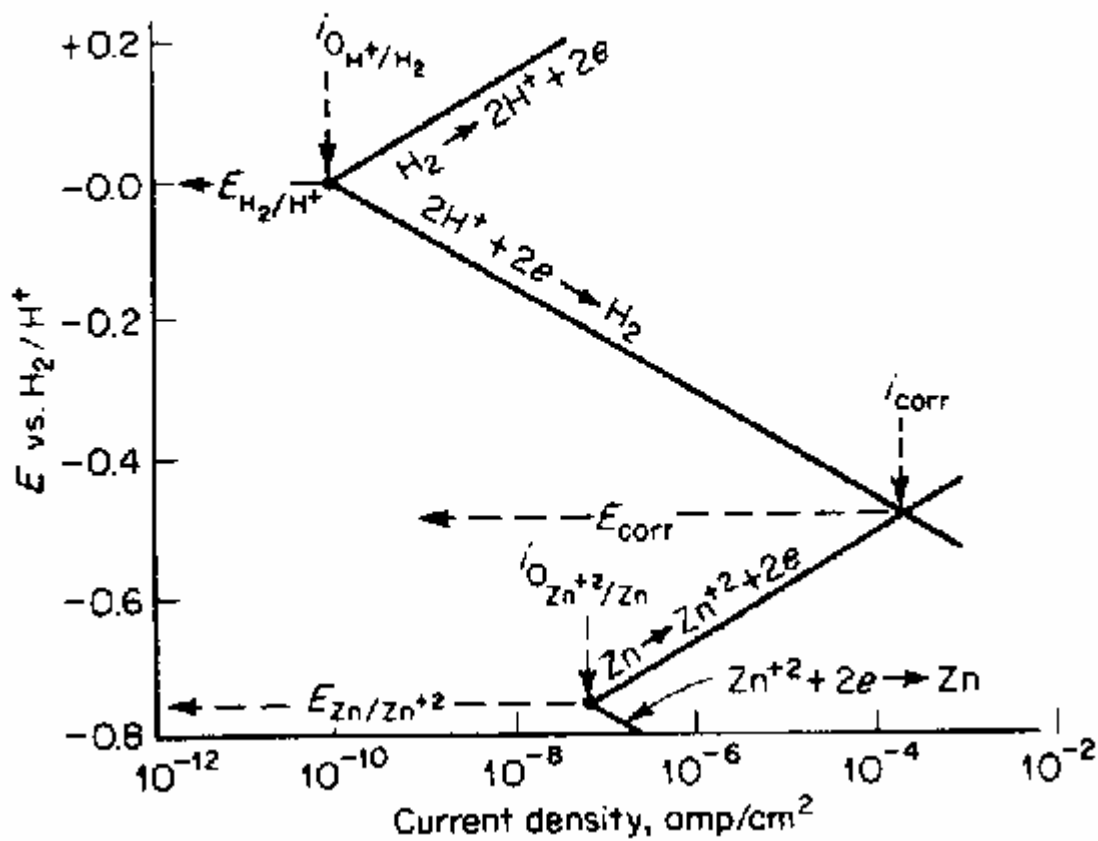
$$It = Q = z \cdot n \cdot F = \frac{m \cdot z \cdot F}{M}$$

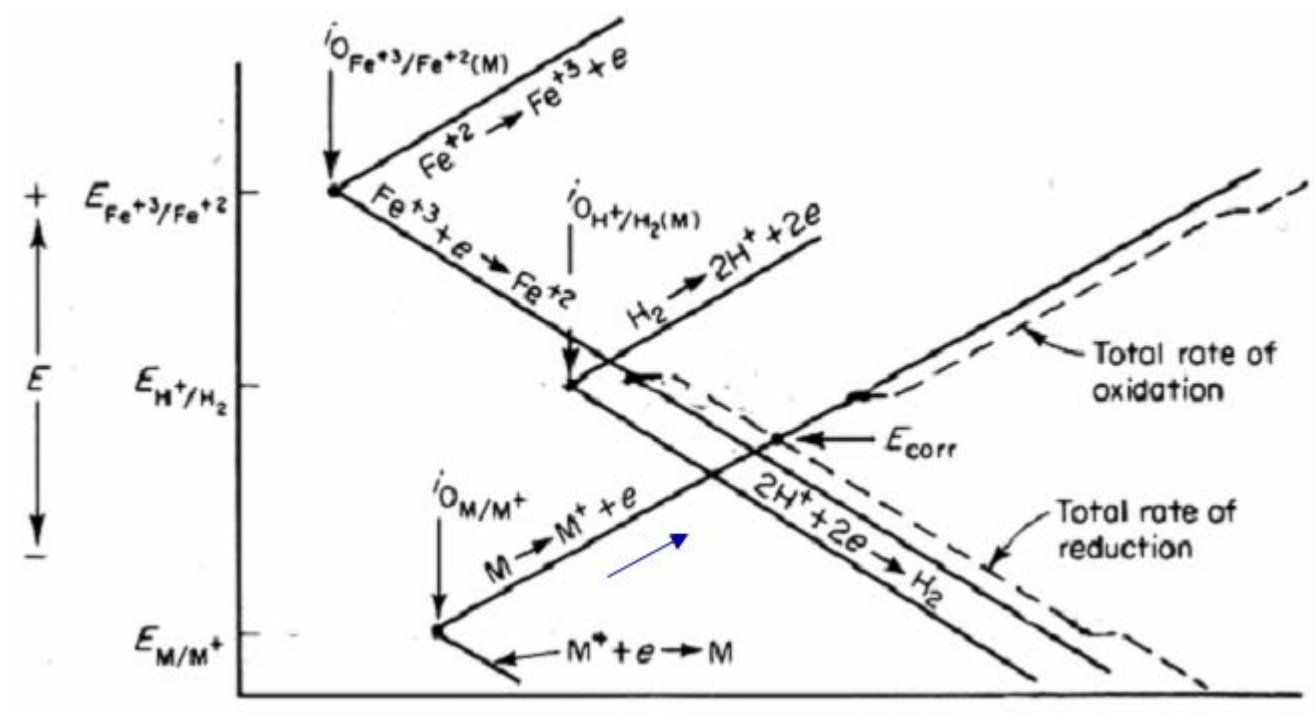
Sekapontiaaliteoria

Korroosiossa hapettumisen kokonaisnopeus = pelkistymisen kokonaisnopeus. Nopeudella tarkoitetaan elektronien liikkeen nopeutta.

Luento 17 s. 16

$$i_{\text{ox}}(\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+}) = i_{\text{red}}(2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2)$$





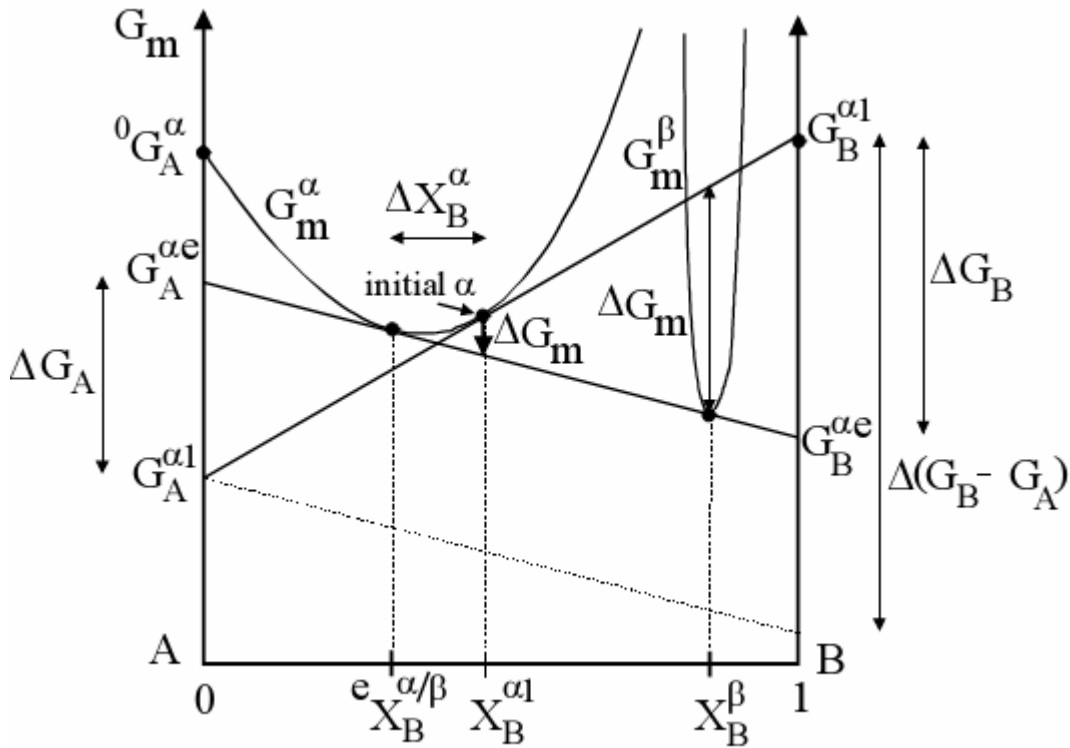
Iso kysymysmerkki?

Gibbsin energia

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Gibbsin faasidiagrammi

1 Gibbsin faasidiagrammissa lämpötila on vakio.



Määritetään beetta-faasin ajava voima nimelliskoostumuksessa $X_{B \text{ alpha } 1}$:

1. Piirretään kahden faasin energiakäyrille yhteinen tangentti (e).
2. Piirretään tangentti (1) pisteeseen $X_{B \text{ alpha } 1}$
3. Luetaan beetta-faasin ajava voima tangenttien (1) ja (e) etäisyytenä pisteessä $X_{B \text{ beetta}}$

Määritetään aine-komponenttien kemialliset potentiaalit nimelliskoostumuksessa $X_{B \text{ alpha } 1}$:

1. Luetaan aineiden A ja B kemialliset potentiaalit tangentin (1) vasemmasta ja oikeasta päästä vastaavasti.
2. Kaksoistangentin pisteen vasemmassa päässä A:n kemiallinen potentiaali alpha-faasissa on sama kuin A:n kemiallinen potentiaali beetta-faasissa. Vastaavasti B:n kem.potentiaali alpha-faasissa on sama kuin B:n kem.potentiaali beetta-faasissa.

Piirrä tangentteja ja kulje aina alimman mukaan, koska siinä on gibbsin energia minimissä. Jos halutaan määrittää jonkun koostumuksen ajava voima, piirrä jostain maagisesta suorasta pystysuora viiva alimpaan tangenttiin.

Gibbsin faasisääntö

$f = k + 2 - P_i$, jossa

f on vapausasteet

k on komponenttien lukumäärä

P_i on faasien lukumäärä

ja 2 on 1, kun P on vakio

Diffuusiotyypit ja -mekanismit

Diffuusio on atomien satunnaisesta lämpöliikkeestä johtuvaa massan nettoliikettä.

Volyymidiffuusiiossa atomit kulkeutuvat vakanssien tai välisijojen välityksellä.

Välisijadiffuusio: Riittävän pieni diffundoituva atomi. Välisijadiffuusion aktivaatioenergia on pienempi kuin korvasussijadiffuusion, koska välisijassa on valmiiksi jo paikka atomeille. Vakanssia ei siis tarvitse

järjestää.

Korvausatomien diffusio: Tapahtuu koska kiteessä on aina vakansseja, atomeilla aina termistä energiaa, edestakaisen vaihdon todennäköisyys on pieni. Diffusio voi edetä *raerajoja, dislokaatioita tai pintoja pitkin.*