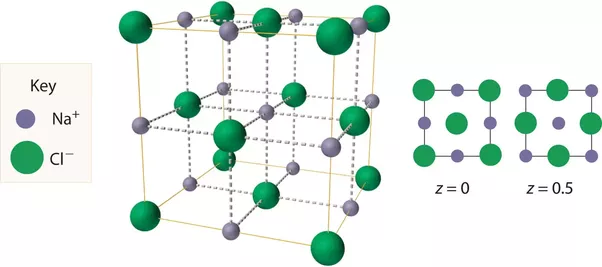
# Dental materialer – almen del 1

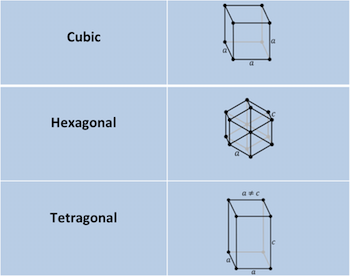
* Homogen blanding: små prøver fra forskellige steder er ens
* Inhomogen blanding: små prøver fra forskellige steder er forskellige
* Dentale materialer:
  + Polymerer
  + Metaller og legeringer
  + Keramiske materialer

### Binding

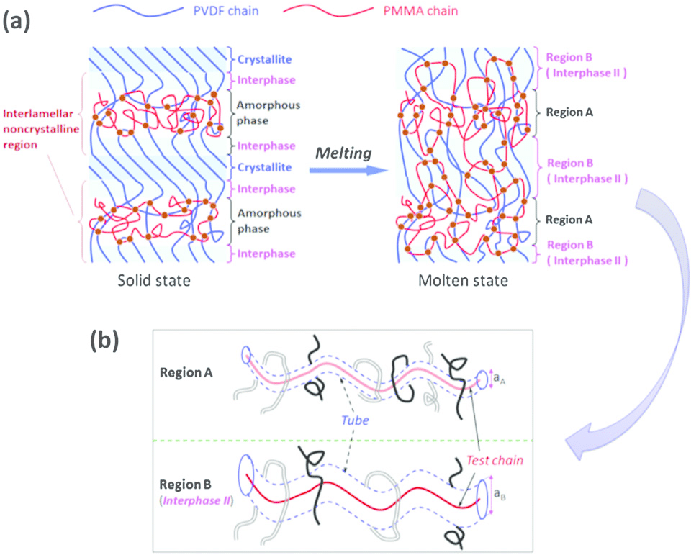
* 3 typer binding - atomare:
  + ***Atombinding*** – kovalent
    - Fælles om elektroner
      * Opnå gunstigt antal (H har 1 ion og O har 6: 2 h’er og 1 O = 8)
      * Se figur side 5
  + ***Ionbinding***
    - Modsatladede elektroner. Kan optage eller afgive alle fra enten indre eller ydre skal. Såedes har det ene atom kun ioner i indre skal og den anden kun i ydre skal 🡪 begge har gunstigt antal ioner
    - De tiltrækker hinanden
  + ***Metalbinding***
    - Alle ioner afgives til fællesskabet og spredes ud
* ***Bindingslængde:***
  + Der er ikke kun tiltrækkende kræfter
  + Der er tiltrækkende og frastødende kræfter i fastestoffer
  + Jo længere afstand mellem atomer, des større er frastødning
  + Ved en bestemt afstand mellem 2 ioner er summen mellem tiltrækkende og frastødende kræfter = 0
    - Ligevægtsafstanden: 2R
    - Her er den potentielle energi mellem de to atomer mindst mulig
* Intermolekylære: Intermolekylære kræfter
  + Mellem molekyler
  + Samlebetegnelse for flere typer kræfter der er knyttet til uensartet fordeling af elektroner i et molekyle
  + Der opstår positive og negative ladninger som tiltrækker molekylerne
    - ***Hydrogenbinding***
      * Betydelig styrk
      * Hydrogen sammenføjes med atombinding med et stærkt elektronegativt F, O eller N
      * Herved kan hele eller dele af molekyler sammenknyttes med en hydrogenbinding. Se fig 6 s 8
* ***Bindingsstyrker***
  + **Atom- ion og metalbinding er væsentligt stærkere end Intermolekylære kræfter (fx Hydr.binding)**
  + I organiske materialer er det **intermolekylære kræfter** der sammenholder molekyler
  + I uorganiske materialer er det **atom- ion og metalbindinger**

### Atomernes organisering i strukturer

* 3 forskellige strukturtyper (molekylære, krystaller, amorfe)
  + ***Molekylære strukturer***
    - Atomer sammenholdt i molekyler
    - Molekyle: begrænset antal atomer bundet sammen af stærke kræfter
    - Binding til andre lignende grupper er relativ beskeden
    - Stærke intra-molekylære kræfter skyldes atombindinger og ionbindinger
    - Molekyler er ladningsmæssigt neutrale
    - Sammenholdes af svagere inter-molekylære kræfter
    - **Valens: antal bindinger der går ud fra atom**
      * Bestemt af antal elektroner i yderste elektronsky
      * Sammenkobling til andre atomer skal give 8 elektroner i yderste skal (delte og udelte)
      * Eksempel: carbon har 4 elektroner i yderste skal – kan derfor binde 4 steder for at det skal give 8 (fx 4 x H 🡪 giver en teatrade - pyramideform)
      * Dette er både gunstigt for C der har 8 elektroner i yderste skal og for H der nu hr 2 elektroner i yderste skal
  + 🡪 Polymerer
    - Carbon kan også kobles til hinanden og danne kæder – fx dental voks
    - Disse kaldes polymerer
    - Polymerer er opbygget af mindre enheder – monomerer
    - I mange tilfælde men ikke alle indeholder monomeren en C=C binding
      * Denne kan åbnes ved en polymeriseringsproces og kobles til andre monomermolekyler 🡪 polymer
    - Polymerer er hovedbestanddel i plast og elastomere
  + ***Krystalstrukturer***
    - Molekyler, atomer og ioner lejret på regelmæssig måde
    - Gentages i rumligt mønster
    - Regelmæssig struktur som i polymerer men hér i alle 3 dimensioner
    - Bindinger kan være ion- atom og metalbindinger samt intermolekylære kræfter
    - Regelmæssighed skyldes tiltrækkende og frastødende kræfter der bringes i balance når der dannes en bestemt placering
    - Et eksempel er kogsalt: NaCl
      * Hver Na-ion er omgivet af 6 Cl-ioner
      * Hver Cl-ion er omgivet af 6 Na-ioner
    - Atom- og ion-Struktur afhænger af størrelsesforhold mellem elementer
    - Molekyleform og størrelse har også betydning for strukturen
    - **Elementarkrystal: den mindste krystal der afspejler regelmæssigheden**
    - der er 6 hovedsystemer:
      * kubisk: alle sider er lige lange
      * tetragonal: højde og bredde men ikke længde er lige lange
      * rombisk: alle sider er lige lange
      * monoklin: ingen sider er lige lange
      * triklin: ingen sider er lige lange
      * hexagonal: højde, bredde, længe er lige lange men ikke krystalhøjden (l)



* + - krystalsystemer:
      * Kubiske krystalsystemer (mest alm i dentale forhold)
      * A: kubisk simpelt – består af 8 hjørneatomer
        + Ingen metaller krystalliserer sådan
      * B: kubisk remcentreret: 8 hjørneatomer og 1 atom i midten
        + Jern, chrom, molybdæn, wolfram
      * C: kubisk fladecentreret: 8 hjørneatomer, samt 1 atom midt på hver flade
        + Guld, sølv, kobber, platin, palladium, iridium
      * Tetragonal: tin
      * Hexagonal: dentalt amalgam (y2fase)
    - *Molekylkrystaller*
      * Krystal kan ud over ion og atom også bestå af molekyler
      * Krystal der består af molekyler
      * Fx paraffin der indgår i dental voks
      * Det er intermolekylære kræfter der holder dem sammen
    - *Polymerkrystaller*
      * Organiske molekyler af en vis størrelse
      * Gentager sig selv mange gange
      * Kan have krystallinske områder
      * Er ofte polymerer



* + ***Amorfe strukturer***
    - Atomer, ioner lejret på uregelmæssig måde (der er en nærorden, men ikke fjernorden)
    - Ikke rumligt mønster
    - Hhv. **glas** og **makromolekyler**
    - Glas
      * En række organiske og uorganiske materialer danner glas når de afkøles fra smeltet til fast tilstand
      * Næsten alle stoffer kontraherer i overgang fra flydende til fast tilstand
      * Stoffer der størkner glasagtigt: volumen mindskes på en regelmæssig måde (øverste kurve i fig 16 s 15)
      * Først overgår stoffet til underafkølet tilstand og så til glasagtig tilstand
      * Glastranssitionstemperatur: Tg
    - I amorfe strukturer er der kun nærorden. I krystallinske er der også fjernorden – se fig 17
    - Amorfe makromolekyler
      * Selv makromolekyler kan krystallisere
      * Men ofte er bevægeligheden så dårlig at de ikke kan finde sammen i rigtige regelmæssige leje 🡪 amorf størkning (i modsætning til molekyle krystaller)
      * Gælder fx harpiks, gummi: nærorden men ikke fjernorden

### Tilstandsformer

* 3 tilstandsformer
  + Fast
  + Flydende
  + Luftformig
* Fast form er af interesse – men også flydende
* Den bevægelsesenergi der er knyttet til temperaturen er så stor at atomerne elementerne kan bevæge sig mellem hinanden i flydende og luftformig tilstand
* I fast tilstand: bindingskræfter er så store og temperatur så lav at elementer fastholdes i entydig tilstand
* I fast tilstand: 2 former: krystal og amorf
  + Regelmæssig – krystal fylder mindre end uregelmæssig – amorft
* ***Afkølingskurver***
  + Afkølingskurve: faststof bringes til flydende tilstand og afkøles
  + Ikke alle stoffer bliver flydende før de dekomponerer
  + Krystallinske stoffer
    - Et eller flere knæk på kurven
    - Vandret del af kurve: stoffets smeltepunkt
    - Temperaturen synker ikke, fordi der opstår varme ved brud
    - I krystallinsk blanding med forskellig smeltepunkt (amorft og krystallinsk?) er den skrå, ikke vandret
    - Tliq: størkning påbegyndes
    - Tsol: størkning afsluttes
  + Amorft stof:
    - Ingen knæk – jævn overgang mellem fast og flydende

## POLYMERER

* Plastfyldning, rodfyldning, aftryksmateriale
* Plastomerer og elastomerer
  + Ikke skarpt afgrænset
* Hvis monomermolekylerne er ens er det en homopolymer, hvis der er forskellige: kopolymer
* Fremstilling – polymerisering
  + ***Addition***
    - **C=C binding åbnes ved bestemt påvirkning. Uden fraspaltning**
    - Finder kun sted ved bestemt påvirkning
    - Kan være radikal- eller ionreaktioner
    - Radikal: dannelse af radikal sætter kædereaktion i gang:  
      R + M 🡪 RM RM + M 🡪 RMM RMM+ M 🡪 RMMM…
    - Ion: initiator er anionet R- eller kationen R+  
      R- + M 🡪 RM- RM- + M 🡪 RMM- …

R+ + M 🡪 RM+ RM+ + M 🡪 RMM+…

* + ***Kondensation*** 
    - **Fraspaltning af lille molekyle hver gang der dannes binding**
    - Typisk fraspaltes vand
    - Typisk 2 forskellige molekyler der indgår i polymerisationsprocessen
    - Fx polyamid (nylon), silicone, plast, …
    - nA + nB 🡪 -A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B + Nc

### Polymere strukturer

* Termohærdende: bliver hårde ved opvarmning
* Termoplastiske: bliver bløde ved opvarmning
* ***Kædepolymerer***
  + **Når monomeren der danner polymeren kun består af 1 C=C dobbeltbinding er den monofunktionel**
  + Polymerisation af denne danner en kædepolymer
    - Sammenhængen af materialet afhænger af sammenfiltring af kæderne
    - Fastholdes af inter-molekylære kræfter (svage)
* *Krydsbinding*
  + **Kædepolymeriserede molekyler er svage med lavt e-modul og stor krybningstendens**
  + Ved at indføre krydsbindinger opnås bedre mekaniske egenskaber
  + Krydsbindende molekyler: mindre molekyler, der kan binde langs kæden
  + Ved stor mængde krydspolymerisering nærmer strukturen sig netstruktur
* *Polymerkrystaller* 
  + Nævnt tidligere med illustration
  + Har relativt stor styrke og e-modul pga god mulighed for etablering af intermolekylære bindinger
* ***Takticitet***
  + Ved tilfældig fordeling af krydsbindinger: ataktisk struktur
  + Ved mere regelmæssig: taksisk 🡪 isotaksisk, syndotaksisk
  + Taksiske polymerer dannes med katalysator
    - Væsentligt større end ataksiske
    - Bruges ikke dentalt
* ***Netpolymerer*** 
  + **Når monomeren der danner en polymer har 2 C=C bindinger er den bifunktionel**
  + Ved polymerisation dannes ikke en kædepolymer men et netværk
  + Udstrækker sig i 3 dimensioner
  + Der skal være 3 eller flere angrebspunkter for den angribende monomer
  + Ikke muligt at skelne mellem enkelte polymermoleykler – betragtes som 1 stort molekyle
  + Har bedre mekaniske egenskaber og mindre opløselighed

### Deformering

* + Ved påvirkning med ydre kraft 🡪 deformering
  + Elastisk eller plastisk – dvs reversibel eller blivende
  + **Elastisk**
    - **Reversibel ændring i bindingslængder og vinkler**
  + **Plastisk**
    - **Irreversibel glidning af dele af molekyler i forhold til hinanden**
  + Kædepolymerer: meget plastisk, lidt elastisk
    - Plastomerer, termoplastiske materialer
  + Jo flere krydsbindinger jo mindre plasticitet og elasticitet 🡪 mere stivhed
  + Netpolymerer
    - **Termohærdende materiale**

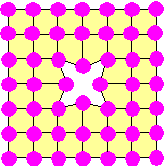
## METALLER OG LEGERINGER

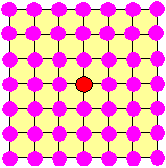
* Stoffer hvis atomer har 1,2,3 eller 4 elektroner i yderste skal
* Har en række metalliske egenskaber
  + Metalbinding holder atomer sammen
  + Metalglans
  + Varme og temperaturledningsevne
  + Plasticitet
* Legering: sammensat stof med ovenstående egenskaber
* Alle metaller er karakteriseret af krystalstruktur – skyldes metalbinding
* Der ses en række fejl – uregelmæssigheder da de ofte er ønskede
  + Stor betydning for deres egenskaber
* Metal bruges til bøjler, kroner, broer, partielle proteser, implantater

### Fremstilling

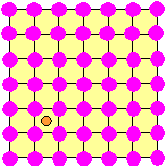
* Støbning – typisk eller plastisk formning
* Støbning
  + Metal smeltes i støbeform, størkning når metal er ved solidustemp.
  + Størkning: krystaldannelse – begynder flere steder i *smelten* og vokser sammen
    - Krystalvækst udgår fra krystalkim
    - Mikrokrystaller med få ioner
    - Mange krystalkim 🡪 mange, små krystaller
    - Få krystalkim 🡪 få, store krystaller
  + I størknet materiale:
    - Krystaller = korn
      * Regelmæssig, lukket struktur
      * Kornstørrelse er vigtig for mekaniske egenskaber
    - Områder mellem korn = korngrænser
      * Åben, uregelmæssig struktur
      * Stor indflydelse på mekaniske egenskaber

### Metalliske strukturer og strukturfejl

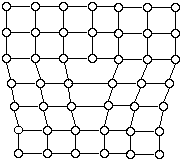
* Der forekommer altid afvigelser fra regelmæssig struktur
* 3 hovedgrupper
  + Fejlorden
  + Dislokation
  + Korngrænser
* ***Fejlorden*** – fig 23 s 27
  + **1) Ubesatte gitterpunkter**
    - Sker i alle krystaller lidt over absolut nulpunkt temp.
    - Danner huller
    - Letter diffusionsbevægelser af atomer i den faste tilstand

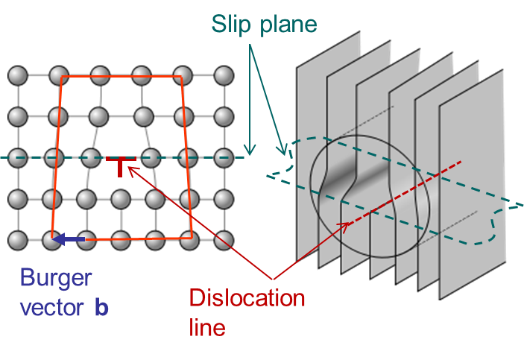


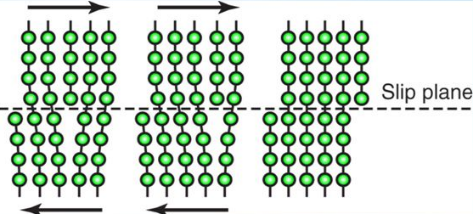
* + **2) Substitution i et gitterpunkt med et fremmed atom**
    - Substitueringslegering
    - **”En fast opløsning”**
    - Kan ske hvis 2 metaller har samme krystalstrutkur, eller hvis de to atomer er ca. samme str.
    - Hvis atomdiameter afviger under 15% kan de danne substitutionslegeringer
      * Fx Au og Ag
      * Krystallisere begge kubisk fladecentreret
    - Ordnet struktur
      * Hvis temp. Ikke er for tæt på solidus grænse
      * Ved bestemte blandingsforhold
      * Fx Ag3Sn der er del af sølvamalgam
    - Uordnet struktur
      * Kan være homogen eller inhomogen
      * Homogen: små prøver forskellige steder – samme blandingsforhold
      * Inhomogen: ikke samme (fig 24)



* + **3) Addition af fremmed atom mellem gitterpunkter – interstitiel substitution**
    - Hvis fremmed atom er mindre end krystalatomer kan de sætte sig mellem atomerne
    - Fx stål: FeC – carbon er småt
      * **”Interstitiel fast opløsning ”**
  + **Legeringer er altid hårdere end rene metaller**
    - **Pga særligt samspil mellem ioner samt dislokation af metallet**



* + ***Dislokation***
    - 2 typer
    - Kantdislokation
      * Hvis et atomlag i krystalgitter afbrydes – se fig:
    - Skruedislokation
      * Omtales ikke
    - Dislokation repræsenterer mere åben struktur
    - Slipplan: plan vinkelret på afbrud atomlag
    - Ved ydre kraft vil krystal over slipplanet dislokeres  
      i forhold til krystal under slipplanet- se fig:
  + ***Korngrænser***
    - Krystaller begynder at vokse mange steder i en smelte ved overgang til fast form
    - Krystaller i de enkelte korn har tilfældig orientering
      * Korngrænser er derfor mere åbne
    - **Materiale med mange korn = polykrystallinsk**

****

### Deformering

* Krystal er elastisk ved lille belastning
* Men plastisk deformering ved stor belastning
  + Deformation sker langs slipplaner (se op) fordi modstanden er mindst her – se fig:

***Anisotropi:***

* Styrke lysbrydning, opløselighed afhænger af den retning de måles i
* En uensartethed kaldes anisotrop
* I polykrystallisnke materialer er kornretningerne forskellige
  + De forskellige anisotrope egenskaber ophæver hinanden
    - Kaldes quasisotrop
* Amorfe materialer er isotrope – egenskaber afhænger i ikke af retning

***Faste opløsninger***

* Substitutionslegeringer, interstitielle fast opløsninger
  + Vekselvirkning mellem atomer og dislokationer
* **Når en dislokation på sin vandring møder et fremmed atom falder dens energi og fortsat forskydning gøres vanskeligere**
  + **Dermed forøges flere mekaniske egenskaber af ”fejl” i gitteret**

***Koldhærdning:***

* Bruges bl.a. på bøjletråde
* I et rent polykrystallinsk metal kan dislokationer frit bevæge sig indtil det når en korngrænse
* Her kan de ikke uden videre komme forbi og ophobes i kø
  + Resultatet er at to dislokationer støder sammen og laver en **dobbeldislokation**
* Når slipplaner krydser hinanden kan dislokationer der starter i et slipplan fortsætte i et andet
* Hærdning kan foregå ved lav temperatur: koldhærdning
  + Øget elasticitetsgræsne
  + Øget hårdhed
  + Nedsat duktilitet

***Kornstørrelse:***

* Da dislokationer i et kraftpåvirket polykrystallinsk metal ikke kan krydse korngrænser betyder mange korngrænser øget styrke, øget elasticitetsgrænse og nedsat duktilitet
* Antal korngrænser stiger når kornstr. falder

### Rekrystallisation

* Øget temperatur der gør at ophobede disloaktioner kan forsvinde
* Sker ved rekrystallisationstemperatur
* Hårdheden aftager
* Andre mekaniske egenskaber nærmer sig før koldhærdningen
* Kan fx kompromitere mekaniske egenskaber af koldhærdet bøjletråd

### Kornvækst

* Overfladeenergi af små korn er større end af store korn
* Små korn har mere tilbøjelighed til at blive opslugt af større korn
  + 🡪 færre korngrænser
  + Metallets styrke og elasticitetsgræsne falder, duktilitet vokser

### Varmhærdning

* Substitutionslegering
* A kan opløses i B hvis atom str og form er ca. den samme
* Hvis man forsøger at opløse mere A i B end svarende til opløseligheden, udskilles en ny fase i legeringen 🡪 bliver tofaset (heterogen)
* Opløselighed af A og B vokser med temperatur
  + Ved høj temperatur kan substitutionslegering være stabil, men danne en ny fase når der afkøles langsomt (dannelse af ny fase kun lige påbegyndt) 🡪 øget hårdhed
  + En hurtig afkøling medfører IKKE udskillelse af ny fase
  + Men den vil være blød
* Opvarmning må ikke stå på for længe da det fører til fuldstændig udfældelse af ny fase
  + Samt risiko for kornvækst og dermed tab af hårdhed

## Keramiske materialer

* Keramisk materiale = forbindelse mellem metal og ikke-metal
  + Der kræves høj temp til fremstilling
* Keramiske materialer i naturen: NACl, Al2O3 (korund)

### Fremstilling

* Sammensmeltning af naturligt forekommende keramiske materialer
  + Fx **metaloxider**, men ofte sammensatte forbindelser: **kvarts, feldspat, boraks, kaolin**

### Keramiske strukturer

* Enten i krystallinsk eller amorf tilstand
* Holdes sammen af ionbindinger og evt atombindinger (glidende overgang)
* ***Krystallinske strukturer***
  + Der indgår både positive og negative ioner (modsat metal)
  + Kan inddeles i elementarkrystaller, men ionfordeling er mere kompliceret
    - Lejring afhænger bl.a. af forhold mellem ionradier
* ***Krystallinske silikater***
  + Mange keramiske materialer er silikater – altså baseret på silikation SiO4^4-
    - Si- oinen er placeret centralt i en teatrade med O’er
  + O’erne kan neutraliseres på forskellige måder hvormed forskellige krystallinske strukuterer fremkommer
    - Med Mg: kædeformet struktur: Mg2SiO4
      * Minder om en kædepolymer men holdes sammen af ionbindinger ikke intermolekylære kræfter
    - Med Si: bladformede strukturer
  + Binding i kæder eller blade er atom- eller ionbindinger
  + Bindinger mellem blade eller kæder er ionbindiner
  + Blanding af atom og ionbindinger er stærkere
    - Kan derfor spaltes i tråde
* I lermineraler sammenholdes blade af intermolekylære kræfter – er derfor svagere
  + Kan nemt spaltes
  + Vand lejres mellem flager og øger splatelighed yderligere
  + Kaolin kan tilsættes til ekramik for at øge plasticitet (ler)
  + **Kvarts og feldspat er hovedbestanddele i porcelæn**

***Amorfe og glasagtige strukturer (samme)***

* Keramiske matieraler størkner typisk glasagtigt
  + Krystallinsk: nær- og fjernorden
  + Glasagtigt: kun nærorden
* Man kan tilsætte **glasdannere (Na, K, Ca, Pb)** der erstatter visse ioner og dermed danner glasstrukturer
* Glas er mere åben og har dermed mindre viskocitet

### Deformering

* Slipplaner og dislokationer er ikke mulig i keramik
  + Kun i lagdelte mineraler
* Derfor er keramiske materialer ikke plastiske 🡪 brydes i **skørt brud**
* **Har stor trykstyrke**
* **Har kun teoretisk høj trækstyrke**
* I metal vil plastisk deformering mindske risiko for brud
  + Energi aftager mens dislokation bevæger sig
* **I keramik vil det øge risiko for brud (især kærvsnit)**
  + **trækbelastningen vil vokse i takt med at sprækken vokser 🡪 vil udbrede sig ”af sig selv”**

# II materialernes mekaniske egenskaber

### Enheder

* Kraft: newton (N)
* Længde: meter
* Areal: m2
* Kraft pr areal = N/m2 = pascal 🡪 af praktiske grunde: MPa

## TRÆKPRØVNING

* Materiale formes som cylindrisk tråd
* Hver ende fastgøres i kæber på trækprøvemaskine
* Trådens forlængelse= deformation aflæses på målestok
  + Kraft og deformering følges ad: arbjedslinje
  + Arbejdslinje afhænger både af materiale og trådens udformning
    - For at eliminere udformning måles i stedet **kraft pr tværsnitareal af tråden**
  + Belastning forøges til tråden knækker

### Proportionalitetsgrænse, elasticitetsgrænse, trækstyrke

* + Spænding = kraft/tværsnitsareal
  + Hvor proportionaliteten går fra at være ligefrem til ikke at være det – dvs kurven går fra at være ret til at være krummet: **proportionalitetsgrænse P**
  + Overgang mellem reversibel og irreversibel belastning: **elasticitetsgrænse R**
  + Arbejdslinjens maksimum M definerer matieralets **trækstyrke**
  + Efter maksimum trækstyrke aftager spændingne
    - Skyldes **indsnørring**
  + **Fraktur F** sker når indsørring bliver så lille at snoren knækker
  + **Den sande spænding forøges i virkelig heletiden**

### Plastisk deformation, duktilitet, koldforarbejdning

* Duktilitet´: den maksimale plastiske deformation uden at materiale indsnørres
  + Eller: den plastiske deformation ved maksimal belastning

Plastisk deformering medfører øget elasticitetsgrænse= højere hårdhed og lavere duktilitet

### Elasticitetsmodul

Elasticitetsmdul: ret linje OP

* + E = a/b (MPa) – angives i gigapascal da b (deformation) typisk er meget lille – tallet bliver meget stort
  + Evne til at modstå elastisk deformation:
    - Højt e-modul = stift materiale = stejl kurve (OP) = elastiske deformering er lille
    - Lavt e-modul = slapt materiale = mindre stejl kurve (OP) = elastiske deformering er stor
* **Stort elasticitetsmodul: stift**
* **Lille elasticitetsmodul: slaps**
  + Sølvamalgam: 20 GPa
  + Guldlegering: 95
  + Platin: 150
  + Stål: 200
  + Osv: se side 46

### Arbejdslinjer:

* For metaller er elastisk deformerbarhed sjældent over 0,5%, men plastisk deformerbarhed kan være over 50%
* Plast kan have elastisk deformerbarhed på 5-10% men plastisk på over 50%
* Elastomerer kan have elastisk på over 100% og stor plastisk deformerbarhed
* Keramik har ingen plastisk deformerbarhed og en elastisk på undre 0,1%
* **Stort elasticitetsmodul: stift (diamant)**
* **Lille elasticitetsmodul: slapt (plast)**
* **Lille duktilitet, stor trækstyrke: sprøde (porcelæn)**
* **Lille duktilitet og lille trækstyrke: skøre (fosfatcement)**
* **Stor duktilitet og stor trækstyrke: seje (stål)**

### Fastlæggelse af e-grænse

* **E-grænse:** den spænding der bibringer materialet en lille men veldefineret plastisk deformation
  + Deformationsstørrelse vælges på forhånd
* Hvis arbejdslinjen nærmer sig vandret kaldes den flydegrænse

### Resiliensmodul og sejhed

* Resiliensmodul = K
* Et materiale belastes til e-grænse, der antages at falde sammen med P
* Spændingen varier fra 0 til R med middelværdi på ½R
* Den vej kraften virker i har længde OD = d
* K = ½R \*d
* = det udførte arbejde (eller den absorberede elastiske energi) = K (areal under kurven)
* = sejhed = den energi som materialet absorberer ved belastning til arbejdslinjens maksimum (areal under kurven)
* Porcelæn har lavt resiliensmodul (K = 0,5 MJ/m3)
* Guld har større resiliensmodul (2 MJ/m3)

### Spalteprøvning:

* Til matieraler der ikke kan formes som tråde
* Trækstyrke kan så vises ved spalteprøvning
* Cylinderformet prøvelegeme lægges ned og placeres mellem kæber i trækprøvemaskine
* Belastning til brud
* Ikke velegnet til matieraler med stor elastisk og plastisk deformerbarhed
* **Ved stor belastningshastihed mindskes duktilitet**
  + Kan bruges til elastiske materialer

### Trykprøvning

* Lige som ved spalteprøvning men cylinder står op
* Arbejdslinjen krummer opad fordi matierlaet bliver tykkere når det bliver trykket sammen
* Trykstyrke: arbejdslinjens maksimum M
* Trykstyrke er altid større end trækstyrke
* Cylinderdiameter typisk 5-6 mm – højde det dobbelte
* Høj belastningshastighed: høj styrke, lav duktilitet

### Bøjeprøvning:

* Bjælke fastholdes 1 en ende og trykkes i den anden: topunktsbøjeprøve
* 3 belastningssteder: 3-punkts
* 4 belastningssteder – 4punkts
* 2 forhold undersøges
  + Elastisk deformering af bjælken (nedbøjning)
    - Beskeden belastning: rent elastisk deformation
    - **Størrelse af nedbøjning vokser med kraft og afstand mellem understøttelsespunkter**
    - **Aftager med voksende e-modul og tværsnit gennem bjælken**
    - Ved forøgelse af længde fra en bro med 3- til 4 led vokser belastningen med broens længde i 3. potens

### Bøjestyrke

* + - Duktile materialer: dårlig prøvemetode.
    - Lille duktilitet: bøjestyrke ligger tæt på trækstyrke
    - Ved bøjning bliver overside lidt korte og underside lidt længere (trykstyrke i oversiden og træk i undersiden)
    - Når belastning øges vokser spændningen på undersiden og bjælke fraktureer når belastning på undersiden = materialets trækstyrke
    - **Da der både er tryk og træk ligger bøjestyrke mellem tryk- og trækstyrke**
    - Ved 2-punktsbelastninger er spænding størst i opspændingspunktet (tænk kanyle)
      * Derfor bruges tilspidsede bøjlegrene fordi dimensionen ikek behøver være så stor i spidsen

## SPÆNDINGSLINJER

* En linje der går gennem punkter med samme spændningstilstand kaldes en spædnignslinje
* Den midterste linje på tegningen er der hvor der ikke er en spænding
* Den yderste linje er linje S der er der størst spænding
* Jo flere linjer der er, des højere er spændningen
* Når der opstår en lokal indsnøring er der flere spændingslinjer ved indsnøringen
  + Dette område overskrider derfor elastiscitetsgrænsen ved forøget bøjebelastning og der sker brud

### Kærvsnit

* Kærvsnit: relativt afgrænset indsnøring
  + Svækker materialet fordi spændingstilstanden i spidsen er forøget
  + Svækkelse afhænger af kærvsnitsform og dybde
  + Blød afrundet bund svækker mindre en v-formet bund
* Alle uregelæssigheder virker som kærvsnit
* Derfor vil omhyggelig polering af ovefladen øge styrke
* Ikke alle materialer er lige kærvfølsomme
  + I duktile materialer sker der plastisk deformering i bunde af kærvsnittet – fx ved guld
  + Sprøde/skøre materialer er meget kærvfølsomme (keramik – deffekt = stor styrkereduktion)

## BAUCHERINGSEFFEKT

* Hvis man deformerer materialet i en retning modsat af den første derformering vil e-grænsen være indre end den oprindelige
  + Bruges ved bøjning af bøjler og fjedre
* Gør at risikoen for en blivende deformering under brugs-belastning mindskes

## UDMATNING

* Statisk belastning: 1 belastning til brud
* Langvarig belastning med svingnende belastning: udmatningsbrud eller træthedsbrud
* Svingende belastning kan være træk, tryk og bøjebelastning
* Relation mellem antal svingninger der fører til brud og spænding kaldes wöhlerkurve side 63
  + Nærmer sig asymptotisk til en linje (udmatningsgrænsen) parallelel med x-aksen
* Udmatningsgærnsen kendes kun for stål
* Skyldes udbredelse af submikroskopiske revner (kærvsnit)

Udmatningstyrken: bestemt abcisseværdi (106)

## KRYBNING

* Kortvarig belastning: elastisk
* Længerevarende belastning under e-grænse: opfører sig som højviskøs væske
* Krybekurve
  + Belastning der fastholdes overtid: deformations vokser med tiden
  + Når belastning fjernes sker der øjeblikeklig elastisk reduktion af deformation
  + Herefter følger elastisk eftervirkning af materialet til prøvelegemt er faldet til ro:
  + Krybning består af primær (elastisk = EE1) og sekundær (plastisk = E1E2) krybning
  + Krybning vokser med belastningsstørrelse, belastningstid og temperatur
    - Afhænger af materialet
    - Finder sted ved temp. Over 0,4 gange smelte- og solidustemp i grader kelvin

### Relaksation

* Belastning 🡪 deformering og spændes
* Hvis deformering fastholdes vil spænding aftage for krybende materialer
  + **Relaksering**

## HÅRDHED

* Et materiales evne til at modstå et andet hårdere materiales indtrængning i overflade
* Forskellige hårdhedsmålinger passer inden for 1 gruppe, men afviger mellem grupper
* Mohs hårdhed
  + Skala med 10 bjergarter hvor den hårde kan ridse den blødere der kan ridse i den blødere osv
  + Skala fra 1- 10 (1: talk, 10: diamant)
  + Bruges til slibende materialer i tandpasta
* Brinellhårdhed
  + Hærdet stålkugle presses ned i materiale med kraft F
  + Enhed er pascal – dog typisk GPa
  + Kun til materialer der ikke er for hårde – dvs. mindre end 3 PGA (brinellhårdhed)
* Vickershårdhed
  + Pyramideformet tryklegeme af diamant
  + Trykkes ned i materiale
  + Arealet af impressionens diagonal opmåles i mikroskop
  + Guld
* Knoophårdhed
  + Som vickers men med rhombisk basis på pyramiden så impression ikke sprænges på sprøde materialer
  + Porcelæn
* Wallacehårdhed
  + Materialets overfladebelastes med vickers diamant men måles som dybde af impression under opretholdelse af tryk
  + Hw. Der belastes i reglen 1 min, og tiden skal oplyses

## KOMPRESSIBILITET

* For ikke porøse materialer er den typisk 1% pr GPa
* Den formindskelse af volumen der finder sted når der er tryk fra alle sider

## MEKANISKE EGENSKABER (emalje, dentin)

* Emalje
  + Anisotropt materiale – retningsbestemte styrkeegenskaber
  + Pga emaljeprismer
  + Emaljelameller er svagere
  + **Emaljes spaltelighed skal tages højde for ved præparation**
    - **Efter restaurering må der ikke være stor belastning i en retning vinkelret på prismernes længderetning**
  + Længs præparationskant efter præpaering bør emalje være undersættet lateralt af materiale med højt elasticitetsmodul
* Dentin
  + Quasiisotropt materiale
  + Ved obliteration forøges dentins hårdhed og kompressibilitet reudceres
  + Større resiliens end emalje men ved rodbehanling reduceres denne egenskab 🡪 frakturrisiko vokser
* Tyggekraft
  + Hhv den normale og den **maksimale** tyggekraft
    - **Incisiv 100N**
    - **Hjørnetand 200 N**
    - **Præmolar 300 N**
    - **Molar 500N**