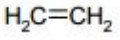
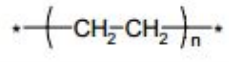
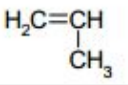
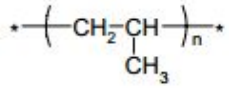
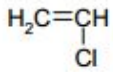
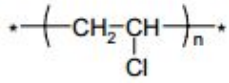
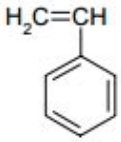
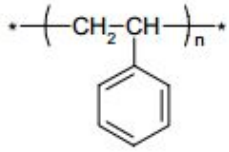
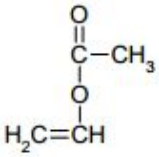
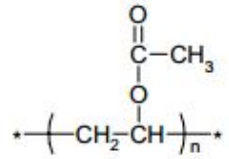
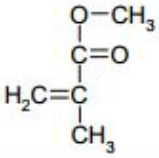
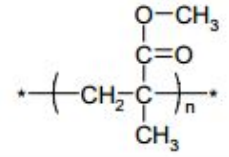
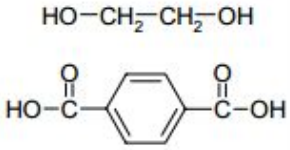
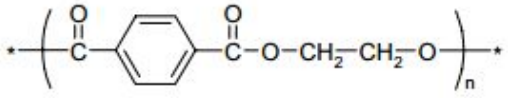
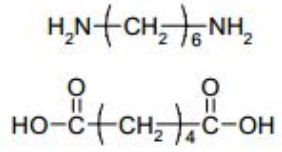
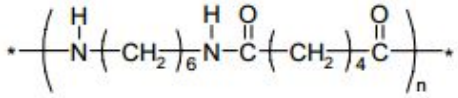
Materialtoran

Polymerer:

Polymernamn	Monomer	Polymerstruktur (repeterande enhet)	För-kortn.
Polyeten			PE
Polypropen			PP
Polyvinylklorid			PVC
Polystyren			PS
Polyvinylacetat			PVAc
Polymetylmetakrylat			PMMA
Polyetentereftalat			PET
Polyamid-6,6 (Nylon-6,6)			PA-6,6

Nomenklatur

Monomer: En del
Oligomer: Några delar (2-10)
Polymer: Många delar.
Repeterande enhet: Minsta repeterande del av kedjan.
Polymerisationsgrad (Degree of Polymerisation - DP): Antal repeterande enheter i kedjan.
Molekylvikt av polymer: M = DP * M_0 (M_0 är molekylvikt av repeterande enhet)

Klassificering av polymerer

Egenskaper

Termoplast: Mjukt och formbart i värme. Kan värmas och formas om. Ofta linjära eller förgrenade. Ofta blandbara. Amorf eller semikristallin.
Härdplast: Dess individuella kedjor har blivit kovalent bundna till varandra under härdning. Hårt och kan inte formas om.

Mekanismer

Stegvis polymer: Succesiv kombination av 2 kedjor till en större.
Kondensationspolymer: Som stegvis, fast vid varje kombination avges en liten molekyl.
Kedjepolymer: Bygg på en stor kedja en bit i taget.

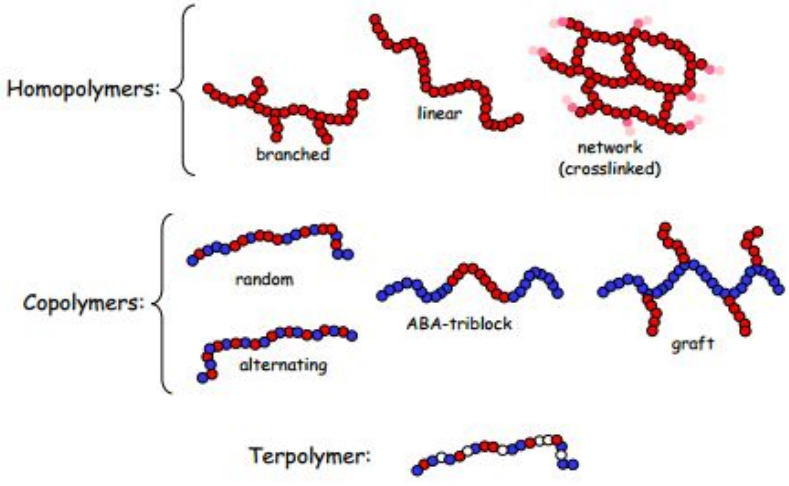
Funktionella grupper

Vinyl:

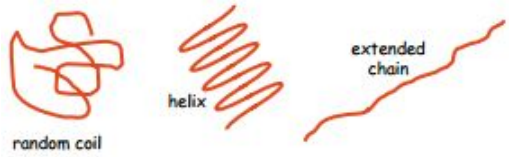
Metakrylat:

Akrylat:

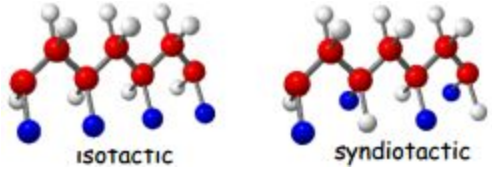
Innehåll och struktur



Konformation



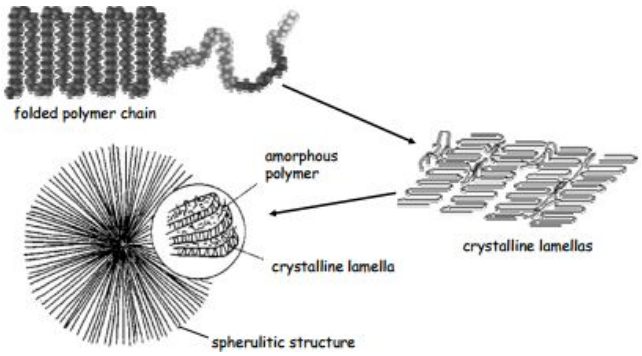
Takticitet



Takticitet innebär stereoreguljär struktur, kan kristallisera. Om en struktur inte är taktisk är den ataktisk.

Kristallisation

Amorfa polymerer: Klump med kedjor som binder till varandra sekundärt med dispersionskrafter eller vätebindningar. Har en glasövergångstemperatur (T_g). Under T_g rör sig inte polymeren. Hög T_g innebär en stabil och hård amorf polymer.
Semikristallina polymerer: Taktiska polymerer kan kristallisera till en tätpackad, lågenergiform. Kedjan viks ihop till lameller med vissa fel, som sedan går ihop och bildar en sfärulit med varannat lager tätpackning (lameller) och varannat lager amorft (fel). Har en Smälttemperatur T_m. Under T_m är polymeren i sin kristallina form.



Syntes

Molekylvikt

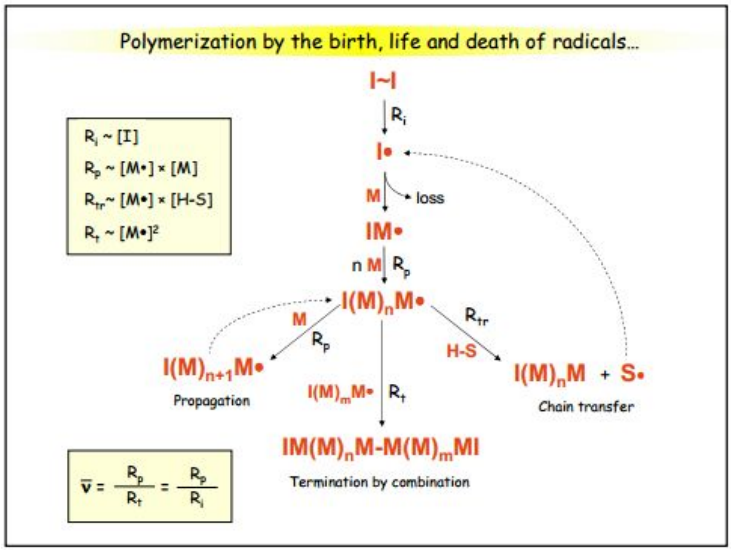
Hög vikt ger bra styrka men låg viskositet. (Borde väl vara hög viskositet?)

Polymerer är polydispersa, dvs vikten fördelas slumpmässigt. Därför har man definierat 2 sorters medelvikter.
Nummermedel M_n = Total vikt/Antal molekyler
Viktad medel M_w är ett viktat medelvärde där större molekyler har mer betydelse.
PolyDispersitetsIndex (PDI) = M_w/M_n
Stegvis växande polymer:
Polymerisationsgrad DP_n = Antal repeterande enheter.
Nummermedel polymerisationsgrad (Antal monomerenheter) $X_n = N_0/N = 1/(1-p)$
Viktad medel polymerisationsgrad $X_w = (1+p)/(1-p)$
Utbyte $p = (N_0 - N)/N_0$
Antal atomer N, vid start N_0
$M_n = X_n * M_0$
$M_{w;} = X_w * M_0$
M_0 är molekylvikten för repeterande enheten.

Monomerfunktionalitet
En monomer har en viss funktionalitet som beskriver hur många reaktiva grupper monomeren har i en given reaktion. För en linjär molekyl krävs minst difunktionalitet, flera ger förgreningar.
En självkondenserande monomer är en monomer som kan reagera med sig själv.

Stegvis växande polymerer
Slumpmässiga reaktioner med 2 di- eller merfunktionella molekyler. För att få bra utbyte krävs rena och reaktiva monomerer samt stökiometriskt korrekt andel funktionella grupper.
Kondenserande: Avger en liten molekyl vid varje reaktion.
Icke-kondenserande: Avger inte en molekyl, alternativt avges en molekyl, men reaktionen är irreversibel.

Kedjeväxande polymerer
Börjar växa från reaktiva center. Dessa kan vara anjoniska, katjoniska eller radikaler. Har 3 steg:
Initiering: Bilda reaktivt center.
Propagering: Polymerkedjan växer från reaktivt center.
Terminering: Deaktivering av reaktiva centret.
Radikalpolymerisation: Hög MW tidigt. RDS är initiering 1.
Initiering 1: Bildandet av initiatorradikal, rate constant k_d.
Initiering 2: Bildandet at monomerradikal, k_a.
Propagering: Bygg på med monomerer, väldigt snabbt, k_p.
Terminering: 2 radikaler möts och kombinerar. Kan ske på 2 sätt.
Kombinering: 2 kedjor möts och kombinerar till en större, k_{tc}. DP = m + n + 2. <- Bättre
Disproportionering: 2 kedjor möts och bildar 2 icke-reaktiva kedjor, k_{td}. DP = m + 1 & n + 1.
Kedjeöverföring: På grund av radikalers höga reaktivitet kan de ibland reagera med ett främmande väte från t.ex. lösningsmedlet och starta en ny kedja samtidigt som den förra stoppas. Detta sänker DP. k_{tr}.



Kinetik:
Initiatoreffektivitet f = Initierande radikaler/Totala radikaler (Alla bidrar inte)
Rate of initiation: $R_i = 2 * f * k_d * [I\text{-}I]$
Rate of termination $R_t = 2 * k_t * [I\text{-}M_x \bullet]^2$
Kan anta $R_i = R_t$
Rate of polymerisation $R_p = k_p * \sqrt{(f * k_d)/k_t} * \sqrt{[I-I]} * [M]$ Alltså proportionell mot [M] och [I].
Kedjelängd v = R_p/R_t är är medelantalet monomertillägg på kedjan innan den är terminerad.

Vid kombinering: $X_n = 2v$
Vid disproportionering: $X_n = v$
Jonisk polymerisation: Starkt påverkat av lösningsmedel, temperatur och renhet.Repeterande enhet behöver kunna stabilisera en jon. Är oftast vinyl med elektrondonerande/dragande sidogrupper.
Anjonisk: Initiator är stark nukleofil, nästan alla monomerer används.
Katjonisk: Initiator är Lewissyra och vatten, kan inte termineras utan längd bestäms av kedjeöverföring.

Industriell syntes

Bulkpolymerisation
Homogent system med monomerer och initiatorer/katalysatorer. Lämpligt för radikalpolymerisation och stegvis växande polymerisation. Reaktionerna är exoterma, vilket skapar en autoacceleration som kan vara svår att stoppa.
Fördelar:

- Ger hög renhet
- Ger högt utbyte
- Enkelt att utvinna produkten.
- Går att gjuta med polymeren
- Kontinuerlig process är möjlig

Nackdelar:

- Svår att kyla ned.
- Svårt att ta bort kvarvarande monomerer.
- Stor molekylviktsdistribution

Lösningspolymerisation
Homogent system med monomerer, initiatiorer och lösningsmedel. Lämpligt för radikal- och jonpolymerisationer.
Fördelar:

- Enkel att kyla
- Vatten kan användas som lösningsmedel för radikalpolymerisation.

Nackdelar:

- Lågt utbyte/reaktorvolym.
- Man måste ta hand om lösningsmedlet efter polymerisationen.

Lämpliga egenskaper på lösningsmedlet:

- Monomerer och initiatorerna ska vara lösliga.
- Acceptable chain-transfer characteristics
- Lämpliga smält- och kokpunkter
- Säker, dvs ej giftig eller självantändande etc
- Snäll för miljön
- Billig

Suspensionspolymerisation
Heterogent system med ej vattenlösliga monomerer och initiatorer med vatten som lösningsmedel. Dessutom tillsäts en kolloid som skyddar polymererna och sänker ytspänningen. Produkten som bildas kommer vara små polymerkulor. Lämplig för radikalpolymerisation. Systemet bör blandas snabbt.
Fördelar:

- Enkel att kyla.
- Vatten används som lösningsmedel.
- Enkelt att ta utvinna produkten med till exempel filtration eller centrifugation.

Nackdelar:

- Lågt utbyte/reaktorvolym.
- Kolloiderna ger låg renhet.
- Icke-kontinuerligt
- Man måste ta hand om lösningsmedlet efter polymerisationen.

Emulsionpolymerisation

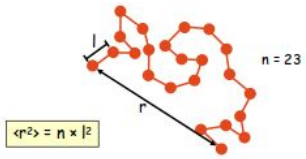
Heterogent system med ej vattenlösliga monomerer men med vattenlöslig initiator, vatten som lösningsmedel samt tensider. Tensiderna bildar miceller där monomerer reagerar inuti. Lämpligt för radikalpolymerisation. Slutprodukten kallas latex.

Fördelar:

- Enkel att kyla
- Vatten används som lösningsmedel.
- Hög polymerisationsgrad samt hög molekylvikt.

Nackdelar:

- Lågt utbyte/reaktorvolym.
- Låg renhet.
- Icke-kontinuerligt
- Svårt att utvinna polymeren.



Example: a polymer chain with 10 000 segments of 2.5 Å length :
$\langle r^2 \rangle = n \times l^2 = 10^4 \times 2.5^2 = 62\,500\ Å^2 \quad \Rightarrow \quad r = 250\ Å$

Mätningar

Kedjekonformation och dimensioner

En polymerkedja i lösning bildar ofta slumpmässiga slingor. Dimensionen för denna slinga bestäms bland annat av dess molekylvikt, flexibilitet, polymer-lösningsmedel interaktioner samt temperaturen. En modell för att beskriva slingans storlek görs med formeln $\langle r^2 \rangle = n*l^2$.

Polymerers löslighet

Om en polymerpellet läggs i ett lösningsmedel kommer pelleten att svälla och sedan lösas. Krosslänkade polymerer kan svälla, men inte lösas. En polymer kan endast lösas i vissa lösningsmedel. Lösningsparametern δ används för att förutsäga en polymers löslighet.

$$\delta_i = \left(E_i^{coh}\right)^{1/2} = \left(\Delta E_i^{v}/V_i\right)^{1/2}$$

...where E_i^{coh} = cohesive energy density
ΔE_i^{v} = molar energy of vaporisation
V_i = molar volume

Solubility if:
$\delta_{polymer} \approx \delta_{solvent}$

Molekylviktsmätning med osmometer

Membranosmometri: M_n. Man mäter hur mycket av polymeren som kan ta sig genom ett membran. Mätningarna är enkla, men tar tid. De beror även på membranet som används i osmometern.

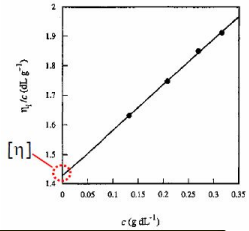
For ideal solutions:

$$\Pi = RTc/M$$

$$[\eta] = K \times \overline{M}_v^{a}$$

Viskositet

Den intrinsiska viskositeten räknas ut med hjälp utav formeln till höger. K och a är konstanter och M_v är medelviskositetsmolekylvikten. Viskositeten kan bland annat mätas med hjälp av en kappilärviskometer. Resultatet av en sådan mätning ger η_i/c som funktion av c.



$$\eta_i/c = \eta_{red} = [\eta] + k_H[\eta]^2 c$$

Huggins equation

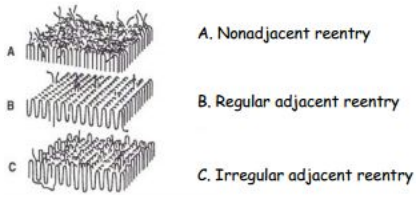
Gelfiltrering

Gelfiltrering, även känt som **GPC** *(Gel Permeation Chromatography)* eller **SEC** *(Size Exclusion Chromatography)*, är en kromatografisk metod att separera molekyler. Vid gelfiltrering använder man vanligtvis en gel av en polysackarid som är formad till små kulor. Kulorna innehåller en mängd fina kanaler och suger därför lätt upp vätska och sväller. Den svällda gelen placeras i en kromatografikolonn. Polymerer med olika storlek vandrar olika fort genom kolonnen. Anledningen till det är att kanalerna i gelkulorna har olika vidd. Ju mindre molekylerna är desto lättare kan de tränga in i de smala, slingrande kanalerna. Små molekyler får på så sätt en längre väg än stora molekyler. De största molekylerna tar genvägen förbi gelkornen och kommer på så vis först ut ur kolonnen. Man kan säga att gelfiltreringen ger omvänd silverkan.

Polymerfysik

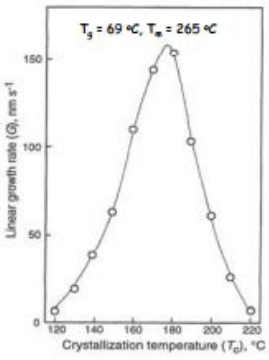
Amorfa polymerer

Det amorfa stadiet består av slumpmässigt ihoptrasslade polymerkedjor. Små molekyler kan diffundera igenom. Har ingen smältpunkt, har däremot en glasövergångstemperatur.
Temperatur: Rörelse är starkt beroende av temperatur. Amorfa polymerer kan vara (ordnat efter stigande temperatur) i glas-, gummi- eller smältstadiet.
Kedjetrassling: Ger styrka till materialet genom att hindra flöde genom materialet. Kräver tillräckligt långa molekyler, beror på kedjans flexibilitet.
Glasövergången: Beror på kedjeflexibilitet och interaktioner mellan kedjorna.
Fri volym: $V_f = V - V_0$. Där är V volymen och V_0 fyllda volymen.
Sekundär relaxation: Mindre rörelser som händer vid glasstadiet. Begränsade rotationer i huvudkedjan och rörelse i sidogrupper. Leder till hårdhet och gaspermeabilitet. Större rörelser sker vid gummistadiet.
Slingringsmodellen: I smältstadiet rör sig polymerer genom att slingra sig genom tuber av sina grannar.



Semi-kristallina polymerer

Polymerkedjan viker sig efter kylning till en lågenergistruktur. Dessa packas ihop till en lamell. Flera lameller bildar en sfärulit. Ju snabbare man kyler desto mer amorf fas kommer bildas. Har både smältpunkt och glasövergångstemperatur.
Lameller: Lameller kan vika sig på olika sätt, se bild. Nonajacent har en stor amoft fas och låg smältpunkt, regular adjacent har högst smältpunkt.
Kristallinitet: Kristaller växer olika snabbt beroende på temperatur. Det är endast möjligt att kristallisera mellan T_g och T_m. Nära T_g är det termodynamiskt gynnsamt att kristallisera, nära T_m ger rörlighet en bättre växthastighet. Bästa kristalliseringen sker någonstans i mitten.



Mätningar
Icke-destruktiv mätning av kristallinitet: $\Phi = (\rho - \rho_a)/(\rho_c - \rho_a)$
Dilatometri: Man har en polymer i en lösning och mäter hur den sväller. Ger den specifika volymen som funktion av temperaturen.
Differential Scanning Calorimetry (DSC): Smält en kristallin fas och mät energin som krävs.

Structure-property relationships

Flexibilitet: Beroende på kedjans flexibiltetet kommer smältpunkten ändras. Detta för att det är mindre skillnad i entropi mellan en smält rigid polymer och en kristalliserad rigid polymer. Då är det gynnsamt att vara i smälta längre, och rigida polymerer har högre smältpunkt.

Rotation och substituenter: Kedjans rotation och substituenter kommer påverka glasövergångstemperaturen på motsvarande sätt. Ökad rotation och större substituenter ger lägre T_g.

Molekylvikt: Glasövergångstemperaturen är beroende av antalsmedelvärdet av molekylvikten. Sambandet beskrivs i den så kallade Fox-Floryekvationen.

Fox-Flory equation:

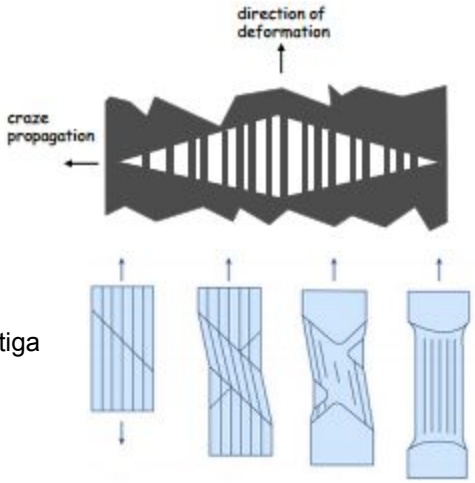
$$T_g = T_g^{\infty} - K/M_n$$ in Kelvin

Konstanten K är polymerspecifik. Låg molekylvikt innebär kortare kedjor och därmed fler fria ändar och större fri volym.

Blandningar: Glasövergångstemperaturen för en heterogen blandning beror på mängden av varje komponent och deras respektive T_g enligt formlerna nedan.

Rule of mixtures: $T_g = W_1 T_{g,1} + W_2 T_{g,2}$ Fox equation: $1/T_g = W_1 / T_{g,1} + W_2 / T_{g,2}$

Polymerers mekaniska egenskaper

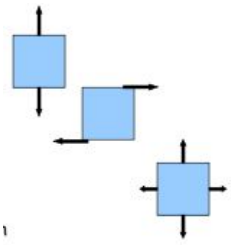


Deformering: Vid långsam deformation av polymerer så deformeras de elastiskt, visköst eller viskoelastiskt. Det är även beroende av under hur lång tid och med vilken frekvens de belastas.

Vid stor deformation kommer det att uppstå crazing, shear banding och/eller brytas av med ett sprött brott.

Crazing: När crazing uppstår så bildas det mikrofibriller mellan de båda ytorna som separeras (se bild). Om man inte uppnår kritisk belastning (critical strain) kan fibrillerna dra ihop materialet igen. Riktiga sprickor bildas efter man nått kritisk belastning och fibrillerna börjar degradera.

Skjuvzoner/Shear banding: Skjuvzoner uppstår i vissa glasamorfa polymerer istället för/tillsammans med crazing. Detta är den oftast förekommande deformationen av plastiska polymerer vid dragtester. Börjar alltid i 45°.



Testmetoder av mekaniska egenskaper

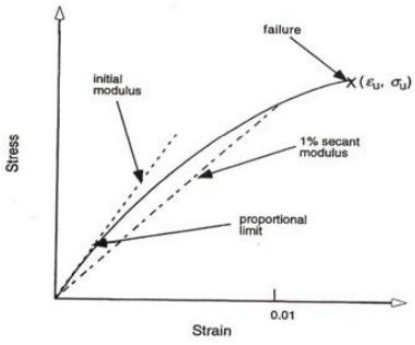
Man kan testa att deformera på olika håll. Spänning (överst), skjuvning (mitten) eller hydrostatiskt (underst).

Statiska tester

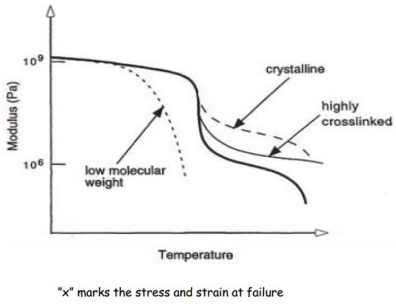
Vid *statiska tester* är deformationshastigheten konstant. Man drar i varsin ände av ett "hundben" och mäter spänningen. Då detta görs på amorfa och "glasiga" polymerer kommer dessa att öka i volym enligt formeln nedan. (Alltså om man trycker på den i en riktning blir den större i en annan.) $\Delta V = V - V_0 = (1-2\nu)\,\varepsilon\, V_0$

V_0 är originalvolymen och ε är den riktiga töjningen. v är Poissons förhållande och är definierad som förhållandet i töjning mellan den transversa och longitudinella töjningen.

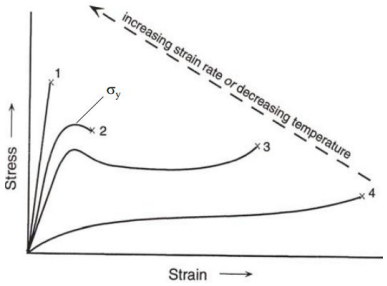
De flesta polymerer har v=0.4



Man använder sig även av Hookes lag för att bestämma elacticitetsmodulen E.



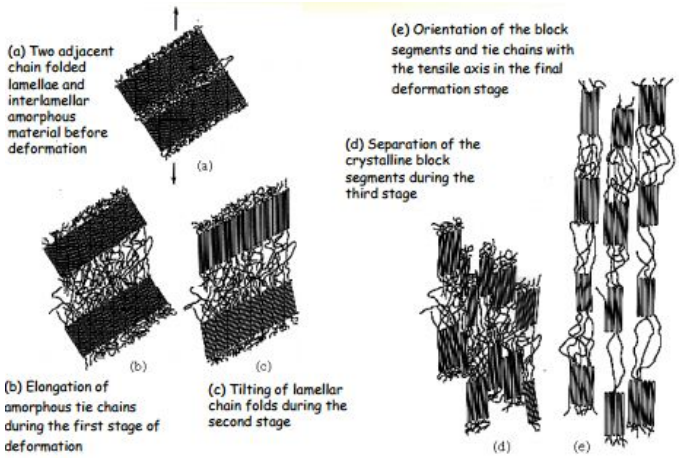
Till vänster syns modulerna som funktion av temperaturen.
Glasmodulen ligger typiskt runt ca 1GPa och gummiplatåmodulen ligger på ca 1MPa.
De olika streckade linjerna visar hur olika typer av ämnen uppför sig.
Längst till vänster i grafen finns glasområdet. Där sitter polymerfibrerna hårt sammanbundna och de rör sig inte så lätt.
Då temperaturen höjs rätar de ut sig lite och kommer in i gummistadiet.
Då sjunker spänningen väldigt tills de flesta entanglements har löst upp sig och då övergår materialet i en smälta.



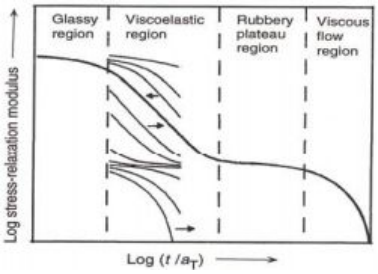
Detta diagram visar förhållandet mellan spänning och töjning samt temperatur och töjningshastighet. Det syns tydligt att ett prov töjs väldigt lite innan det går av om det utsätts för låga temperaturer eller en hög töjningshastighet men att spänningen inte ändras så mycket om provet är varmt och belastas med en låg töjningshastighet. I 3 & 4 går polymererna sönder för de börjar kristallisera på grund av linjärisering av deras kedjor.

Deformering av semikristallina polymerer

Transienttester

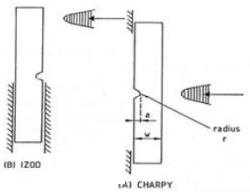


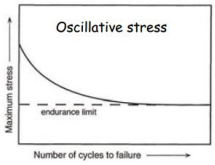
Vid *transienttester* belastar man polymeren och behåller antingen spänningen eller töjningen konstant.



<u>Krypning:</u> Konstant spänning och så mäter man den tidsberoende töjningen. Se graf till höger. Viktigt för polymerer som ska tåla en stor last en lång tid.

<u>Stress relaxation:</u> Konstant töjning medan man mäter hur spänningen ändras över tiden.
<u>Slagprov:</u> Vid *slagprov* testas hur hårt materialet är på ytan genom snabba belastningar. Provet belastas sedan flera gånger och sen mäter man spänningen som funktion av antalet gånger.
Izod: En snabb belastning på kanten av materialet (se den vänstra bilden)
Charpy: En snabb belastning i mitten av materialet(se den högra bilden)





Cykliska tester

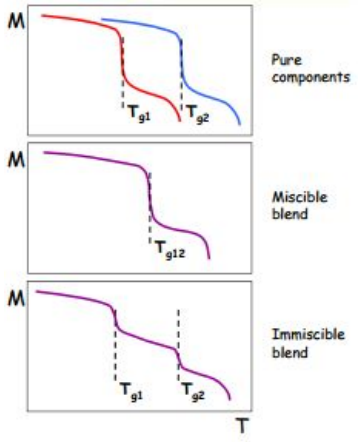
Vid *cykliskt* test testas hur uthålligt provet är. Man utsätter provet för återkommande prövningar av något slag för att se hur motståndsbeständigt det är.

Gummi

Till höger ser man hur olika typer av material utvidgar sig när de värms upp. Se särskilt hur metaller och gummimaterial skiljer sig!
Anledningen till att gummi är så elastiskt är för att dess kedjor sitter ihop i nätstrukturer som fjädrar tillbaka då man drar ut dem. När man värmer gummi vill det återgå till en entropiskt gynnsam formation, dvs när den är så komprimerad som möjligt.

Blandningar

Homogena: Molekylärt blandbara. Nya ämnet har medelvärdet av de ingående ämnernas mobilitet och glasövergångstemperatur.
Heterogena: Fasseparerade. De ingående ämnena behåller sina egenskaper.
Vilken blandning som sker beror på Gibbs fria smältenergi, och är främst temperaturberoende. Stora polymerer bildar typiskt inte homogena blandningar på grund av entropi.
Homogen blandning är ovanligt och sker inom ett temperaturintervall UCST < T < LCST.
Om en av polymererna i en homogen blandning kristalliserar bryts blandningen och en fasseparation tvingas fram (heterogen blandning). När kristallisering sker påverkas av blandningen.
Blandningar får nya mekaniska egenskaper. T.ex. kan en heterogen blandning hindra sprickors propagering genom att det ena materialet fungerar som orenheter.



Blandningsmetoder
InterPenetratedNetwork (IPN): Ett sätt att tvinga oblandbara material att blandas. Man gör först ett nät av den ena polymeren, sen låter man den andra polymeren bilda ett nät runt den andra.
Semi-IPN; Man gör ett nätverk men sen gör man bara en linjär polymer av den andra sorten. Kommer nystas upp med tiden.
Fiber: Man linjerar polymerer och samlar dem till ett fiber med polymerer i ett håll. Tålig mot krafter parallella med fiberriktningen, svag annars.
Matris: Som fibrer fast man ordnar polymererna åt två håll och bildar ett nätverk. Tålig åt alla håll.
Nanokomposit: Man tillför nanokompositer till polymerer. Det ger tåligare material och kan ske på 3 olika sätt beroende på (?).

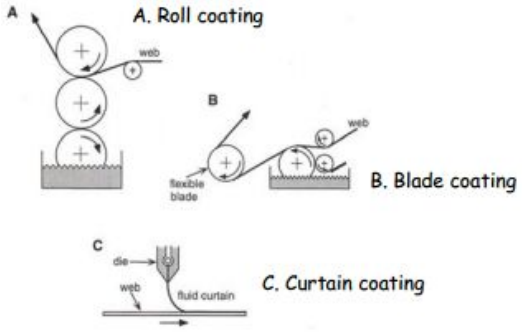
- Fasseparerade: Kompositerna och polymeren är fasseparerade, blir mikrokompositer istället.
- Interkalerade: Delvis blandade.
- Exfolierade: Helt blandade.

Formningar

(k) = Komposit. (b) = Blandning. (t) = Termoplast. (h) = Härdplast.
Kontinuerliga formningar
(k)Filament winding: Man snurrar fibrer i ett nätverk runt en stolpe väldigt många varv och bildar ett rör efter man tar ut stolpen.
(k)Pultrusion: Lägg fibrer under en matta av material, led genom en form och värm.
(bt)Extrusion: Extrudern är en stor skruv uppdelad i 4 zoner. I matarzonen matar man in material och värmer. I Skjuvzon ökar trycket. I skjuvzonen blandas plasterna. I munstycket silas blandningen och trycks ut genom ett format munstycke.
(t)Kalendering/Valsning: Plast med hög viskositet pressas ihop av snurrande cylindrar. Bra för plastmattor.

Gjutningar (icke-kontinuerlig formning)
(bt)Formsprutning:Man har en skruv med en form i änden. Man trycker in skruven för att fylla formen, sedan roterar man skruven för att mata fram nästa sats med plast till munstycket. Man kyler formen tills plasten kristalliserar, annars sker missbildningar.
(bh)Reaktiv formsprutning: Man fyller en form från 2 behållare och värmer formen. Man kan ha metalldelar i formen för att integrera de i plasten.
(h)Formpressning: Man har 2 värmda formhalvor med förhärdad, dedig plast mellan. Man pressar plasten till en viss form samtidigt som den härdas.
(h)Sprutpressning: Som formpressning fast med mer flytande plast. Bra för detaljerade formar.
(t)Termo/vakuumformning: Man lägger en värmd, tunn plastskiva ovanför en form och använder vakuum för att suga ner skivan i formen underifrån. Eftersom man inte använder en smälta för att forma om plasten har den ett minne av sin skivform och kommer återfå den vid uppvärmning. Används för tunna bägare.
(t)Blåsformning: Använder en extruder för att mata in plasten i små flaskformar. Dessa knipsas av och blåses upp i en form. Används för PET-flaskor.

Beläggningar
Görs under kalendering/valsning.
Valsverk: Lägg en av cylindrarna i flytande beläggning och låt valsningen ske med denna cylinder.
Blade coating: Valsa ihop plastmattan med en beläggningsmatta.
Gardinbeläggning: Låt ett munstycke spruta beläggning på förbipasserande plastmatta.

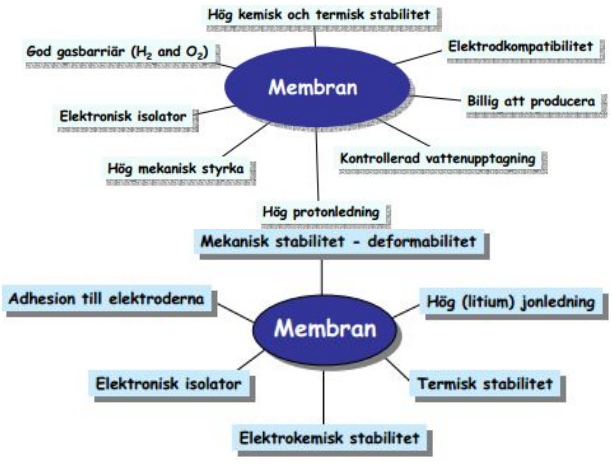


Rheologi
Rheologi är läran om ett materials viskositet. Newtons lag om viskositet: $\eta = \tau/\gamma$, gäller bara vid η_0.
Lägre skjuvhastighet γ ger högre viskositet. Detta för att vid låga hastigheter hinner polymerer forma om sig för att behålla sin entropi (relaxera). Vid höga hastigheter hinner inte polymeren relaxera utan orienteras istället i skjuvriktningen. När en polymer har maximal entropi är $\eta = \eta_0$, när den är helt ordnad i skjuvriktningen är $\eta = \eta_\infty$. Större polymerer har högre η_0.

Rheometri
Rheometri är mätandet av viskositet. Det finns olika sätt att mäta beroende på skjuvhastigheten.
Hög: Kapillärrheometer: Mäter hur snabbt polymeren tar sig fram i en kapillär.
Couletterheometer: Man snurrar en cylinder i polymeren och mäter hur mycket kraft som behövs för att snurra den.
Låg: Kon-platta rheometer: Som coulette fast med en kon istället för en cylinder.

Ledande polymerer

Joniska polymerer
En protonledande polymer bildas genom att ha en hydrofob kedja med en stark syra i den repeterande enheten. Syrorna kommer sitta nära varandra. När man lägger till vatten kommer det bildas vattenkanaler där jonerna sitter. Dessa kanaler blir dessutom väldigt sura.



Modifikation: Man kan modifiera dessa polymerer med funktionella grupper. Man kan även copolymerisera in dessa grupper från början för ännu bättre integration.
Fasseparation: Man kan fasseparera polymerernas funktionella grupper. Man kommer bilda nanostrukturer där olika delar har olika egenskaper. Strukturen bildas av självorganisering och kan styras av polymerens uppbyggnad.

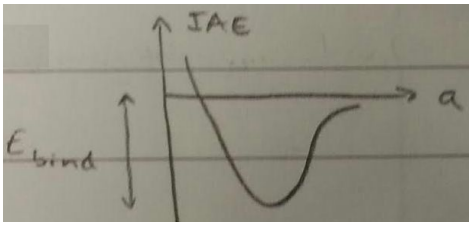
Användningar
Bränslecell: Polymeren behöver ha de övre egenskaperna till höger.
Litium-polymerbatteri: Polymeren behöver ha de undre egenskaperna till höger.

Elektriskt ledande polymerer

Elektriskt ledande polymerer är flexibla, har lätt vikt och kan vara transparenta.
För att en polymer ska kunna vara elektriskt ledande måste den vara konjugerad. Det är även en fördel att vara kristallin.
Konjugerade system färgar polymeren.
Metaller leder dåligt vid hög värme, för då vibrerar atomerna mer.
Polymerer leder bra vid hög värme, för då är det lättare att excitera elektroner över bandgap.
Halogenisering: Genom att dopa med halogener kan man öka konduktiviteten hos ledande polymerer.

Användningar
LED, solceller, batterier.

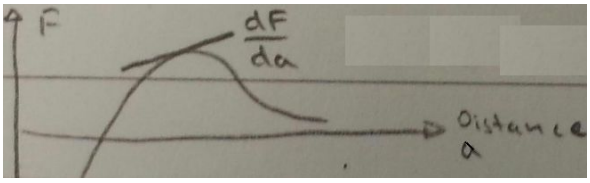
Oorganiska Material:



Kristallstrukturer

Bindningsenergier

I ordning från starkast till svagast:
Jonisk
Kovalent
Metallisk
Väte
Dispersionskrafter



Bindningsenergi är den energi som krävs för att skapa eller bryta en bindning. Den kan läsas ut ur ett force/distance diagram som derivatan $\partial F/\partial a$.

Ordning

No order: T.ex. ädelgaser.
Short-range order: T.ex. bindningsvinkel mellan atomer i en molekyl.
Long-range order: T.ex. kristaller.

Amorfa material

Fast material utan fjärrordning. Saknar bestämd smältpunkt, har istället glasövergångstemperatur T_g.

Kristallstrukturer

En kristallstruktur består av ett gitter och ett motiv. Gittret ger strukturen, t.ex. simple cubic och motiv är de atomerna man stoppar in i gittret.

Enhetsceller	Antal atomer	Coordination number	Packing factor
Simple cubic	1	6	52%
Face-centered cubic	4	12	**74%, CCP: ABCABC**
Body-centered cubic	2	8	68%
Hexagonal	2	12	**74%, HCP: ABABAB**

Lattice parameters: Enhetssidornas längder och vinkeln melland dem.
Coordination number: Antal närmsta grannar för varje atom.
Packing factor: V(atomer)/V(enhetscell). 74% innebär tätpackning.
Densitet: m(atomer)/V(enhetscell).

Miller index

<110>: Ekvivalenta vektorer till [110] (12 st).
[110]: Specifikt bara [110] vektorn, inte samma sak som [-1 -1 0], ekvivalent med [220].
(1,2,0): Plan som skär x-axeln i 1, y-axeln i ½, skär inte z-axeln. Ekvivalent med (-1 -2 0), ej (2,4,0).
Plan får inte gå genom origo, då skiftar man planet till ett parallellt plan. Får inte vara bråk med i beteckningen. Indexet är 1/skärningspunkten i motsvarande axel.
{111}: Ekvivalent till (111) plan, t.ex (-1-1-1).

Hål/Interstitial position
I hål kan man t.ex. passa in atomer.
SC: Litet, centralt hål i [½,½,½].
FCC: Oktahedralt hål i [½,½,½], tetrahedrala hål i <¼, ¾, ¼>.
BCC: Oktahedrala hål i <½,1,½>, tetrahedrala hål i <1,½,¼>.

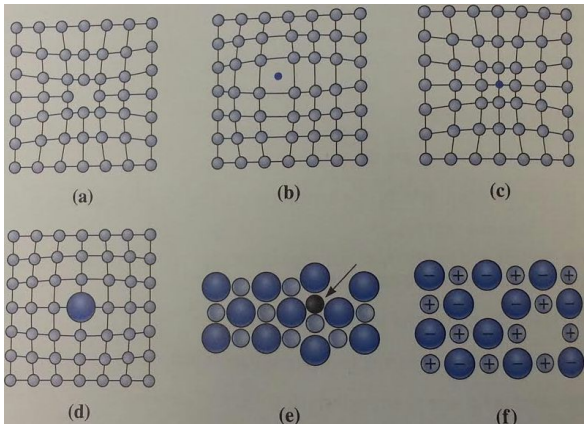
Joniska strukturer
CsCl: SC av Cs^+ med Cl^- i mitten.
NaCl: FCC av Na^+ med FCC av Cl^- i hålen.
ZnS: FCC av Zn, S i 4 tetrahedrala hål.
CaF_2: FCC av Ca med F i 8 tetrahedrala hål.

Diffraktion
Braggs diffraktionslag: $n\lambda = 2dsin(\theta)$
Diffraktion kan användas för att bestämma elektrondensitet och millerindex för kristaller, som i sin tur kan användas för att bestämma enhetscellen.

Kristalldefekter

Alla riktiga kristaller har defekter. Naturliga defekter kallas orenheter, avsiktliga defekter kallas dopning. Defekter ger högre entropi och ger därmed oftast starkare material.

Punktdefekter (0D)
Punktdefekter orsakar kristalldefekter vilket leder till att dislokationer har svårt att röra sig förbi defekten. Detta leder till ett hårdare material.
Vacancy: Lattice point saknas.
Interstitial atom: Extra atom på interstitial position, alltid mindre än de andra.
Substitutional atom: En annan atom ersätter en befintlig, kan vara större eller mindre.
Frenkel defect: En atom från lattice går in i en interstitial position.
Schottky defect: En atom saknas i en jonisk struktur, då försvinner även motsvarande motsatt laddade atom för att jämna ut laddningen.



Linjedefekter/dislokationer (1D)
Storleken på dislokationen beskrivs av Burger vektorn b. Om man går en cirkel runt en defekt går b från där man slutade till där man började.
Skruvdislokation: Snitta en perfekt kristall en bit in och dra isär de 2 delarna. b går parallellt med defekten.
Edge dislocation: Tryck in ett extra plan i en perfekt kristall. b går ortogonalt mot defekten.
Mixed dislocation: Både skruv och edge samtidigt.

Defektrörelse
Stress (spänning) orsakar defektrörelser vilket gör att kristallen deformerar.
Tensile stress: σ är spänning mot en area (Normalt tryck).
Shear stress: τ är spänning i en riktning.
Slip är en defektrörelse. Den beskrivs av ett slip system som består av:

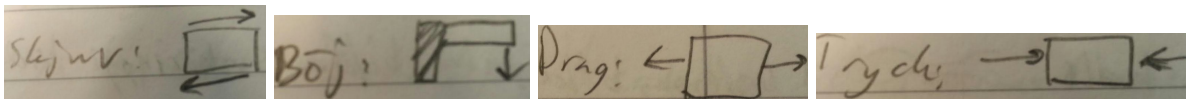
Slip plane: Planet som slip rör sig längs.
Slip direction: Riktningen av rörelsen, parallell med b.
Om en slip rör sig precis längden mellan atomer i gittret kommer kristalldefekterna ta ut varandra och kristallen blir hel igen, bara en atom skiftad. Shear stress måste överstiga den kritiska shear stessen τ_c för att slip ska kunna ske. Det är lättare att skifta längs tätpackade plan. Slip sänker hårdheten med ökar segheten i materialet.

Ytdefekter (2D)
Korngränser: Olika delar (korn) av kristallen har olika orientering av atomer, där dessa möts kallas korngränser. Det finns viss friktion mellan kornen vilket ger upphov till starka material. Mindre korn ger större yta, vilket i sin tur ger hårdare material.
Stacking faults: ABCABABC

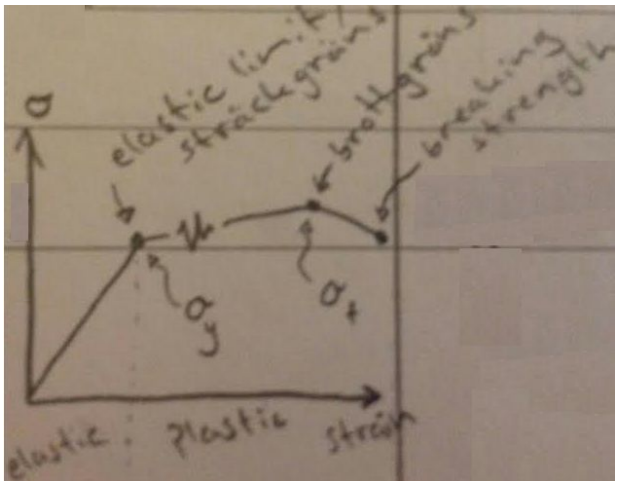
Härdning
Härdning gör metaller hårdare och starkare, men sprödare och mindre segt. Kan göras på 4 olika sätt:
Legeringshärdning/solid solution strengthening: Introducera punktdefekter i form av andra atomer.
Deformationshärdning/strain hardening: Introducera dislokationer så de krockar med varandra och fastnar.
Stelningshärdning/grain size hardening: Gör kornen mindre och öka mängden korngränser.

Diffusion
Diffusion är ett långsamt flöde av atomer som sker vid höga temperaturer. Diffusionen styrs av koncentrationsgradienten dc/dx och kommer fortsätta så länge det finns en gradient. Diffusion styrs av:
Ficks första lag: $J = -D(dc/dx)$, $D = D_0 e^{-Q/RT}$ där Q är aktiveringsenergin och J flöde. D plottas ofta ln(D) mot 1/T, där -Q/R är lutningen. Q ökar med smältpunkten, dvs ett material med starka bindningar diffunderar långsamt.
Ficks andra lag: $\partial c/\partial t = D * \partial^2 c/\partial x^2$
Diffusion kan användas till t.ex. sintring. Då låter man temperaturen vara under smältplunkten och låter diffusion växa ihop metallpulver. Då får man ett poröst material.

Mekaniska egenskaper



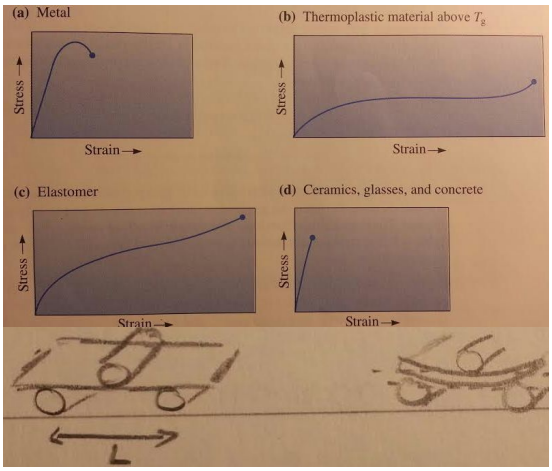
Elasticitet
Youngs elasticitetsmodul: E är lutningen i en σ/ε -graf.
Spänning: $\sigma = F/A_0$ där A_0 är ursprungliga arean.
Töjning: $\varepsilon = \Delta l/l_0$ där l_0 är ursprungliga längden.
Hookes lag: $\sigma = E\varepsilon$
Reversibel elastisk deformation: Materialet kommer gå tillbaka till A_0 och l_0 spänningen släpps.
Permanent plastisk deformation: Spänningsgränsen har överstigits, deformationen är permanent.
Dragprov: Man drar isär en cylinder långsamt under konstant temperatur över T_g. Man gör en σ/ε graf, ur den kan man läsa av 3 olika områden: Elastisk, plastisk och brott.



Sträckgräns: σ_y är punkten mellan elastiska och plastiska området. Vissa material har 2.

Brottgräns: σ_t är maximala spänningen som kan uppnås innan materialet går av.

Vid kontinuerlig övergång mellan elastiska och plastiska området finns resttöjningsgräns $\sigma_{0,2\%}$. Man drar en linje parallell med elastiska starten från 0,2% ε. Där den korsar linjen är $\sigma_{0,2\%}$.



J-kurva: Exponentiell σ/ε kurva, vanligt i biologiska material t.ex elastin. Ser ut så pga nystade elastinmolekyler vecklas ut.

Poissons ratio: När man drar något åt ett håll blir det smalare åt det andra.

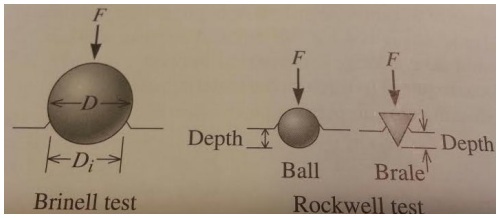
Elastisk energi: $E_r = \sigma\varepsilon/2 = Area\ under\ \sigma/\varepsilon - kurva$

Temperatur: Ökande temperatur ger mjukare material och större plastisk deformering.

Seghet/ductility: Seghet är ett materials möjlighet att bli permanent deformerat utan att gå sönder. Motsats till brittle. Kan mätas på 2 sätt: $(A_0-A_f)/A_0$ och $(l_f-l_0)/l_0$.

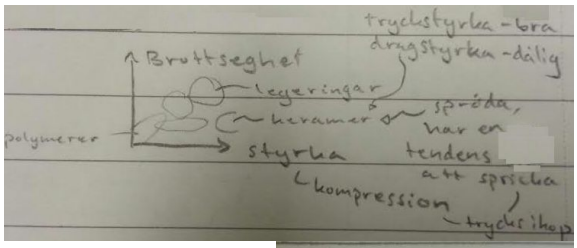
Böjning: För att testa böjning av spröda material använder man 3-punktstest.

Hårdhet: För att mäta hårdhet utan att förstöra materialet finns det 3 olika standarder som alla handlar om att trycka in något litet och mäta deformationen.



Slagprov: Svinga en hammare genom materialet och mät höjdskillnaden efter svinget för att bestämma energin som krävdes för att ha sönder materialet. Det finns 2 olika standarder, Charpy och Izod. Ur detta kan man förstå att vissa material har en Ductile to Brittle Transition Temperature DBTT.

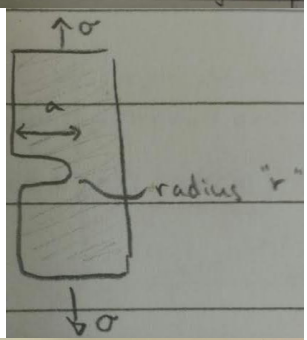
Sprickor



Stress intensity factor: $K = f\sigma\sqrt{\pi a}$ Beskriver ökningen av spänningen en spricka utför på sin omgivning när materialet utsätts för en spänning σ.

Kritisk brottseghet: K_c är den K som krävs för en spricka att vara självgående. K_c är tjockleksberoende.

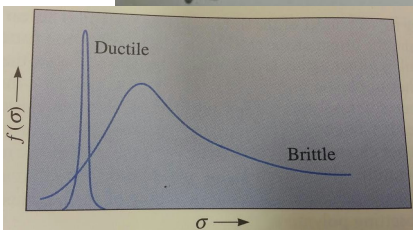
Sprödbrott/Brittle fracture: $\sigma_{actual} = 2\sigma\sqrt{a/r}$ är spänningen i sprickan. Om σ_{actual} är större än σ växer sprickan. Fraktur i 90º, ingen deformering, fast load. Metaller bildar chevron pattern i sprickan, ränder av propagerande sprickor. I keramer ger en brytning längs spaltytor släta brottytor, längs korngräns ger korniga ytor.



Segbrott/Ductile fracture: När man långsamt drar isär ett segt material samlas redan existerande porer längs en skjuvkant. Denna skjuvkant är 45º till dragspänningen. Till sist bildas en nacke. Brytning sker i form av tratt- och konbrott med en porös yta.

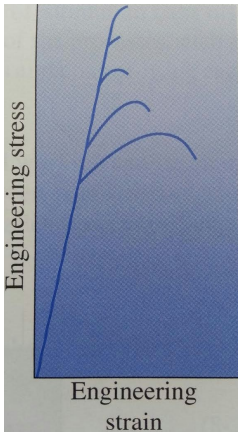
Weibull distribution: Används för att beskriva fördelningen av σ_{actual} i spröda material. Kan variera mycket beroende på defekter.

Utarmning: Uppstår särskilt i snurrande saker, där cyklisk kompression och tension pågår alternerande. Efter ett visst antal cykler nås för vissa material en utmattningsgräns där den inte längre kan utmattas.



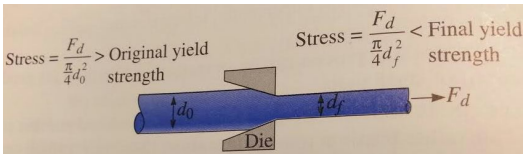
För andra material sker till slut ett utarmningsbrott. Detta har 2 delar, en med propagerande koncentriska sprickor där utmattningen skedde. Sprickorna kallas beach marks, avståndet mellan dem kallas striations. Den andra delen har kornsgränsbrott där brottet skedde.
Krypning: Vid hög temperatur och konstant låg belastning kan krypning ske. Då sker en plastisk deformation trots att spänningen är under sträckgränsen. Detta på grund av att dislokationer kan röra sig lättare i högre temperaturer, vilket ger dem en möjlighet att samlas till porer.

Metallhärdning



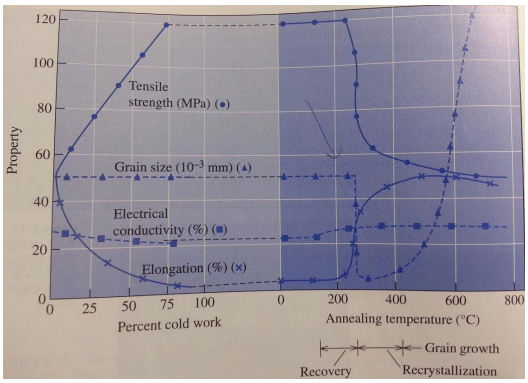
Deformationshärdning

Kallbearbetning/Strain hardening
Genom att utsätta ett material för en spänning som är större än sträckgränsen bildas dislokationer. Dessa dislokationer ökar yield strength och tensile strength, men sänker böjbarhet. Genom repetition kan man succesivt öka styrkan hos materialet tills det blir sprött. Man kan utnyttja detta för att forma metaller samtidigt som man härdar dem.
Det finns olika typer:
Valsning: Platta ut materialet mellan 2 cylindrar till en tunn matta. Kornen i metallen deformeras och behåller sin volym. Kornen riktas i valsningsriktningen, vilket leder till anisotropa beteenden, dvs att metallen beter sig olika i olika riktningar (t.ex. magnetism).
Tråddragning: Utnyttjar kallbearbetningens stärkande effekt för att förminska en metalltråd. Man drar en tjock tråd genom en form som formar en mindre tråd på andra sidan. Tråden dras med konstant kraft, vilket gör att spänningen på den mindre tråden blir större. Som tur är har deformeringen genom formen gjort den mindre tråden stark nog att klara av det högre trycket.

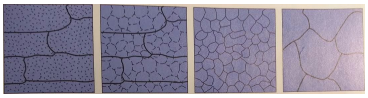


Frank-Read Source: Beskriver hur dislokationerna interagerar med varandra vid kallbearbetning. De är fast mellan 2 defekter men fortsätter växa. Då måste de växa runt sig själva och bildar till slut koncentriska cirklar av sprickor.
Residual stress: När man kallbearbetar metaller bygger man samtidigt in kvarvarande spänning i form av dislokationer. Dessa dislokationer kan både försvaga eller förstärka materialet beroende på riktningen.
Sammanfattning: Kallbearbetning stärker och formar ett material samtidigt. Materialet får fantastisk formsäkerhet samt ytfinish. Det är ett billigt sätt att massproducera små delar. Metallen blir mindre böjbar och får sämre tålighet mot frätning. Den blir anisotropisk (innebär att ett material har olika fysikaliska egenskaper i olika riktningar) och residual stresses kan bildas.

Glödgning/Annealing
Kallbearbetning är ibland svårt att undvika när man formar metaller. Om man vill forma metaller utan effekterna av kallbearbetning kan man glödga det efteråt.
Värmebehandling kan delas in i 3 områden beroende på temperaturen:
Återhämtning: Den elektriska ledningsförmågan återställs.
Rekristallation: Ökad seghet, minskad styrka, mindre korn. Rekristallisationstemperaturen beror på material och hur länge man glödgat.
Korntillväxt: Kornen smälter ihop och börjar växa. Som påföljd minskar styrkan. Detta vill man oftast undvika.



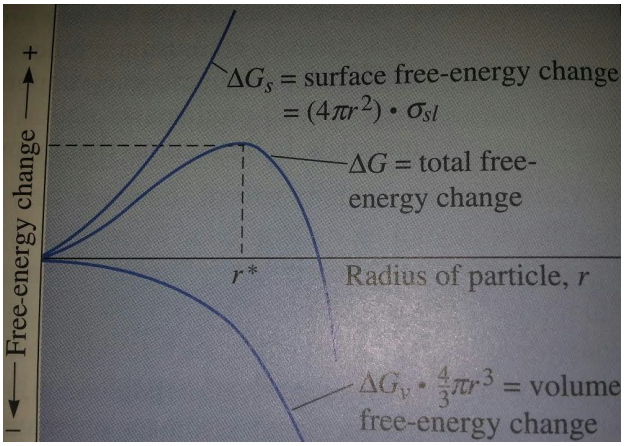
Mikrostrukturer: Bilden till höger visar mikrostrukturerna efter kallbearbetning samt i de olika faserna av värmebehandlning.
Om man använder kallbearbetade material i hög värme (t.ex. svetsning) kan man råka glödga det i ett visst område, vilket sänker styrkan där.



Värmebearbetning
När man deformerar ett material över rekristallisationstemperaturen kallas det värmebearbetning. Då rekristalliserar materialet kontinuerligt. På detta sätt ökas inte styrkan, man kan deformera plastiskt väldigt lätt, man eliminerar imperfektioner, materialet blir anisotropiskt, men formsäkerheten samt ytfinishen blir dåliga.

Stelning

Kornstorlekshärdning



Groddbildning/Nucleation: Vid de tidiga stadierna av stelning bildas först små groddar. När groddar bildas skapas ytenergi mellan fast och flytande fas. För att överkomma denna energi krävs underkylning, som är skillnaden i temperatur mellan fryspunkten och den nuvarande temperaturen. Groddarna bildas som klot för att minimera ytenergin. Först vid den kritiska radien r* blir den totala energin mindre med en växande radie, det är då grodden kan börja växa.
Groddar kan bildas på olika sätt:
Homogen groddbildning: Groddbildning är homogen om den sker utan behållare. Kräver mycket underkylning.
Heterogen groddbildning: Groddbildning är heterogen om den sker på en behållare. Detta kräver mycket mindre underkylning, eftersom r* uppnås tidigare.
Ympning: Tillsätter partiklar till smältan för att ge en yta att starta heterogen groddbildning, snabbar upp saker.
Planar growth: Om en smälta är ympad krävs inte så mycket underkylning. Då kan temperaturen av smältan i fast/flytande gränsen vara över fryspunkten. Detta gör det omöjligt för mindre utskott att bildas, och stelningen sker med en helt jämn växtyta.
Dendritic growth: Vid en homogen groddbildning är den omgivande smältan ofta väldigt underkyld. Detta gör det lätt för dendriter att bildas. Det kan även växa sekundära dendriter från dendriter. Deras avstånd mellan varandra (SDAS) minskas med kylhastigheten.
Chvorinov's rule: Beskriver tiden det tar för en smälta att stelna. $t_s=B(V/A)^n$

Legeringar

Solid solutions
Substitutional alloy solid solution: $A_{1-x}B_x$ Kräver: Liknande storlek av A och B, samma kristallstruktur, liknande valenselektroner samt liknande elektronegativitet.
Interstitial alloy solid solution: AE_x Kräver: Mindre atomer E i hål och liknande elektronegativitet.
Substitutional ionic solid solution: $A_{1-x}B_xY$ Kräver: Liknande storlek av A och B, laddningsneutralitet, olika elektronegativitet mellan A,B vs. Y.
Löslighet: Vissa ämnen (samma som uppfyller kraven för $A_{1-x}B_x$) har obegränsad löslighet, andra har begränsad löslighet. Högre temperatur ger högre löslighet.
Egenskaper: Styrkan hos solid solutions är högre än rena ämnen. Detta beror på storleksskillnad mellan atomer, som gör det svårt att flytta dislokationer. Solid solution har även lägre resistivitet(?) och mindre

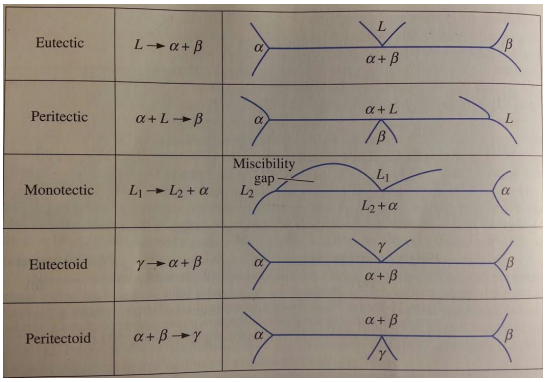
seghet än rena ämnen. //Fredrik här, en legering har väl högre resistivitet pga oregelbundet gitter? mer scattering

Fasdiagram

Stochiometric intermetallic compounds: Har en fix komposition, representeras i ett fasdiagram som en vertikal linje.

Nonstochiometric intermetallic compounds: Har en bredd av kompositioner, kallas ibland intermediate solid solution.

3-Fas diagram: Fasdiagram för 3-fas reaktioner avläses genom att leta efter vågräta sträck. Sedan identifierar man ändpunkterna samt trippelpunkten. Reaktionen går från fasen över trippelpunkten till fasen under trippelpunkten. Det finns 5 viktiga sorter 3-fas reaktioner som kan ses i figuren till höger där L är vätska och $\alpha\beta\gamma$ faser.



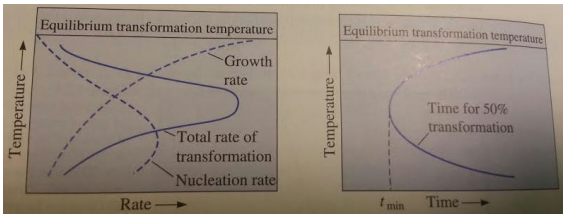
Non-equilibrium solidification: När kylning sker för snabbt hinner inte diffusion behålla jämlikheten. Detta gör att segregering sker. Kan återställas med glödgning.

Urskiljningshärdning

Genom att blanda in små, hårda faser bland en mjuk fas kan den hårda fasen stoppa dislokationer. Den mjuka fasen kallas matrix, den hårda kallas utfällning/precipitate/dispersed phase. För starka material vill man ha små, runda och många utfällningar.

Non-coherent precipitates: Utfällning och matrix hör inte ihop, matrix behåller sitt perfekta gitter.

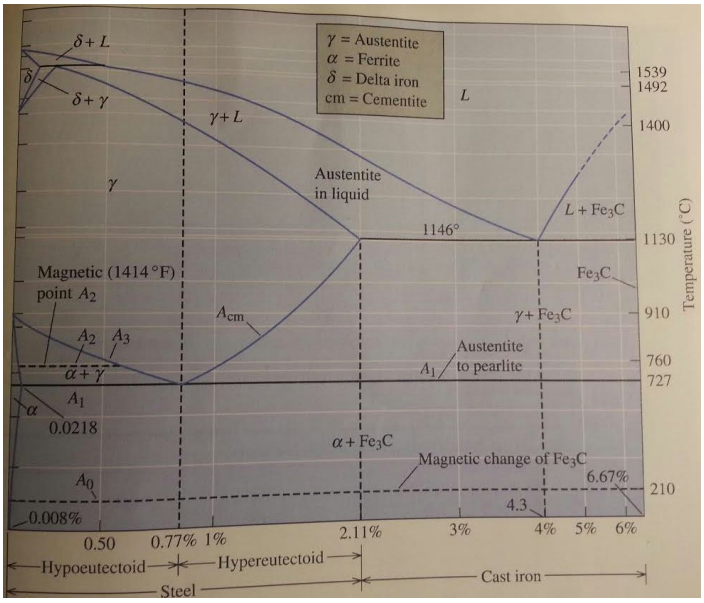
Coherent precipitates: Det finns en koppling mellan utfällning och matrix kristallstrukturer, bra på att stoppa dislokationer.



Eutectic reaction

Eutektiska legeringar har lägst smältpunkt i fasdiagrammet och bara en smälttemperatur. Eutektiska legeringar har lamellära mikrostrukturella komponenter med många korngränser.

Mikrostrukturell komponent: Beskriver sättet som 2 fasta faser ordnar sig i mikrostrukturer. Om den växer snabbt blir kornen mindre.



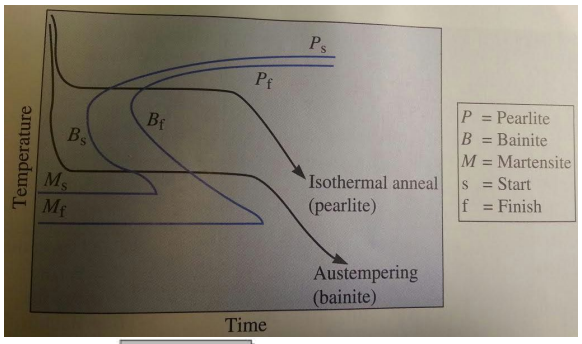
Time-Temperature-Transformation (TTT)-diagram Beskriver transformation mellan faser. Man kan läsa av en ideal temperatur för max transformationshastighet samt att det finns en minimitid för att tranformationen ska börja.

Åldrings-/utfällningshärdning

En bra men känslig process. Sker i 3 steg.
Homogenisering: Höjer temperaturen till α-området under smältpunkten, ligger där en lång tid. Då finns bara α kvar.
Släckning: Sänk temperaturen snabbt, skapar en underkyld fas.
Åldring: Värmer sakta medan β faller ut i α-kristallerna.

Järnlegeringar

Ferrite: (α) BCC, <0,02% C.
Delta-ferrit: (δ) BCC, <0,04% C.
Austenite: (γ) FCC, <2,11% C. Kan bilda pearlite, bainlite och martensite av det.
Cementite: Keramisk, hård och skör.
Pearlite: Lameller av Fe_3C och α.
Bainlite: Fe_3C nålar i α. Starkt.
Martensite: BCT (Body Center Tetragonal), skapas av att släcka γ. Hårt och sprött, måste eftervärmas. Många korngränser och mycket kol. BCT är inte tätpackat, dvs har inga glidplan.
Olegerat kolstål: 0-2% C (Mer kan inte lösas i γ).
Legerat stål: 0,5-3% Si Cr Ni osv.
Rostfritt stål: >12% Cr. När det exponeras av syre bildas ett skyddande lager Cr_2O_3. Cr är ferritstabiliserande (BCC), Ni är austenitstabiliserande (FCC). Därför gör man rostfritt ferrit med Cr och rostfritt austenit med Ni. Rostfritt austenit är inte magnetiskt.
Gjutjärn: 2-4% C, 0,5-3% Si. Det finns 5 mikrostrukturer, där graphite flakes är början på sprickor och graphite spheroids är mest hållbar.



Andra legeringar

Aluminium: FCC, låg densitet och låg smältpunkt. Hög corrosive resistance, ingen utarmninigsgräns, dålig slitstyrka, lätt att återvinna. Kan bli starkare med åldringshärdning.
Koppar: FCC, bra mot utarmning, krypning och slitning. Ädel metall, hög corrosive resistance. Leder värme och el bra. Bildar mässing (Cu, Zn) och brons (Cu, Allt annat än Zn).
Titan: Finns 2 typer, α = HCP och β = BCC. Har skyddande TiO_2 lager under 535°. Bra corrosion resistance. Svårt att bearbeta, för smältpunkt ligger nära 535°.

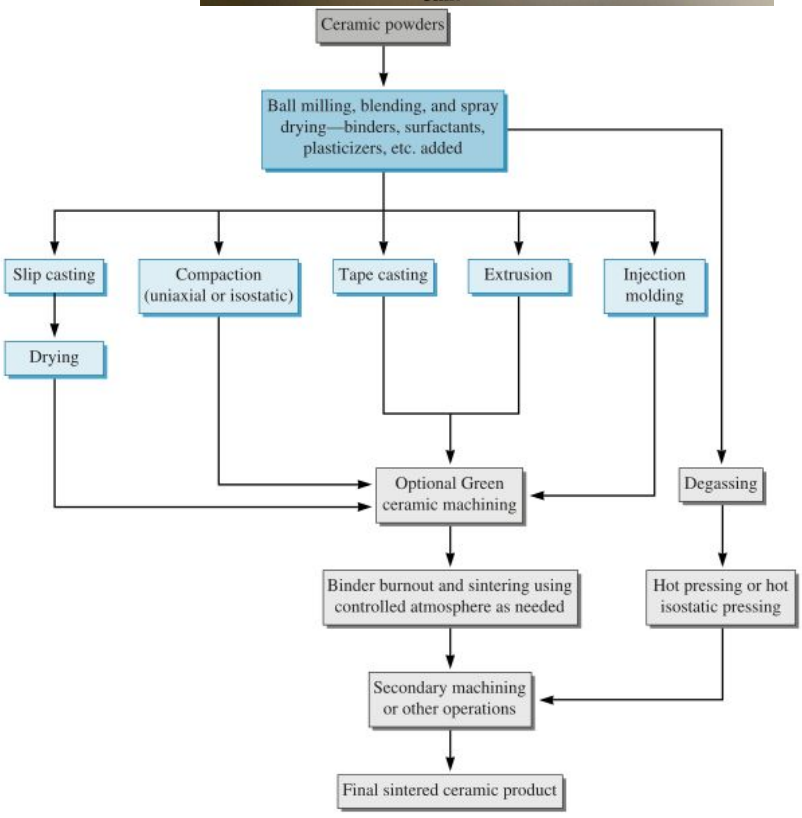
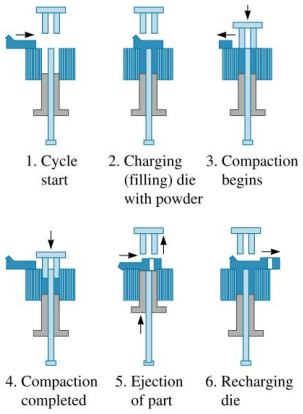


Figure 15-2 Different techniques for processing of advanced ceramics.

Keramer



Egenskaper

Hög smältpunkt.
Låga expansionskoefficienter (höga elasticitetsmoduler) -> starka bindningar.
Låg draghållfasthet.
Hög tryckhållfasthet.

Syntes

Man börjar med keramiskt pulver som man formar till en mer bearbetsbar form (grönkroppar). Sedan sintras dessa tills ytdiffusion från pulvren bildar en krage mellan dem.

Slamgjutning/Slip casting: Häll slamma (lera och vatten) i en porös form. Man suger ut vatten genom den porösa formen så att leran fastnar på formens väggar och stelnar i formen.

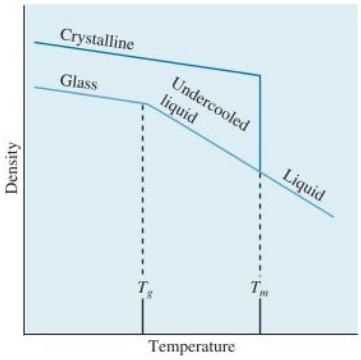
Komprimering: Tryck ihop puder enligt figur till höger.

Porer

Porer ger skörhet vid dragning. Det finns olika sätt att mäta en kerams vikt samt porösitet.

w_d = Vikt före vatten.
w_s = Vikt i vatten.
w_w = Vikt efter vatten.

Apparent porosity(Yttre porer): $100*(w_w-w_d)/(w_w-w_s)$
Bulk density: $B=w_d/(w_w-w_s)$
True porosity: $100*(\rho-B)/\rho$



Glas

Glas är ett hårt material som inte är kristallint.
Man kan lägga till modifikationer i glasstrukturen för att ändra egenskaperna. Exempelvis sänker Na T_m och ökar viskositeten, Ca sänker vattenlöligheten.
Det finns 3 temperaturområden för glasbearbetning:
Melting range: Flytande.
Working range: Deformerbar.
Annealing range: Härdningsbar.
I det flytande området kan man göra planglas genom att valsa det flytande glaset.
I det deformerbara området kan man forma glas på 3 olika sätt. Man kan pressa, blåsa och dra glas.
När man härdar glas bygger man in tryckspänningar vilket gör dem mer tåliga för tryck.
Glaskeramer: Gammalt glas som börjat kristallisera.

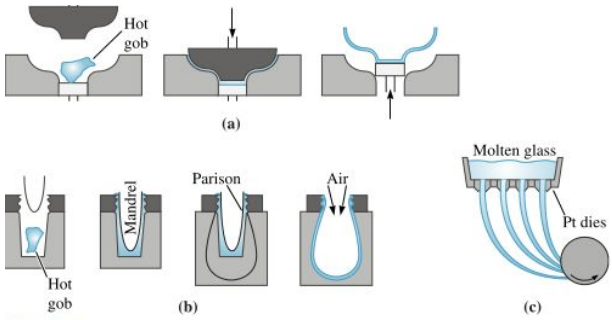


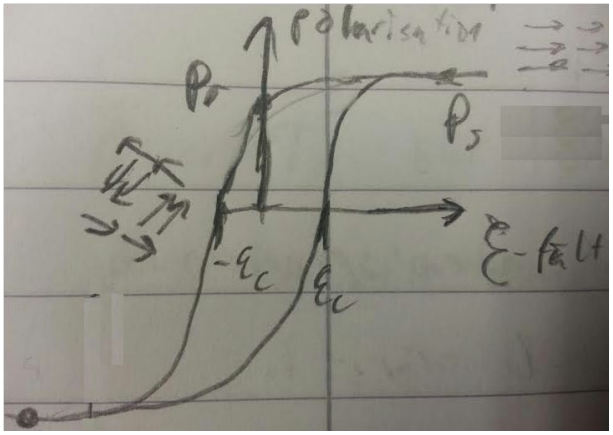
Figure 15-11 Techniques for forming glass products: (a) pressing, (b) press and blow process, and (c) drawing of fibers.

Elektriska material

Resistivitet: Metallers resistivitet har en temperaturberoende del och en materialberoende del.
Supraledare: Under T_c blir resistiviteten 0.
Piezoelektricitet: Tryck genererar polarisation och därmed ett elektriskt fält.
Pyroelektricitet: Värme genererar polarisation.
Ferroelektricitet: Piezo och pyro tillsammans. Har viss polarisation även utan el.

Temperatur: Över en viss temperatur blir oordningen för stor för att kunna polarisera.

Hysteresslinga



När man mäter polarisationen av ett piezoelektriskt material som funktion av det elektriska fältet kommer man få en hysteresslinga. Varje varv runt slingan kostar energi.
Mättnadspolarisation: P_s Alla dipoler pekar åt samma håll.
Remanenta polarisationen: P_r Den polarisation som finns kvar i materialet efter elfältet tagits bort.
Coersive field: ε_c Det E-fält som krävs för att ta bort polarisationen.

Magnetiska material

Magnetfält: H=ni/l
Magnetisk flödestäthet: $B = \mu H$
Magnetisering: I ett B/H-diagram är magnetiseringen av ett material den skillnad i H som behövs för att vakuum ska behöva uppnå samma B som materialet.
Elektroners magnetism: Elektroners magnetism bestäms av spinn och banmoment.
Atomers magnetism: Oparade elektroner ger upphov till magnetism.

Temperatur

Vid högre temperaturer blir hysteresslingan mindre. Vid T_c är den punktformig.
Över T_c blir ferromagneter paramagneter, dvs att magnetismen försvinner.
För att återställa magneter kan man värma de över T_c, slå på dem eller utsätta dem för H_c i motsatt riktning.

Typer av magneter

Magneter skapade av det yttre fältet

Diamagnet: μ_r lite mindre än 1. Försvagar B lite. Har banmoment men ingen spinn. Alla material är diamagnetiska. Dras från ett pålagt fält.
Paramagnet: μ_r lite större än 1. Förstärker B lite. Effekten är proportionell mot antalet oparade elektroner. Dras mot ett pålagt fält.

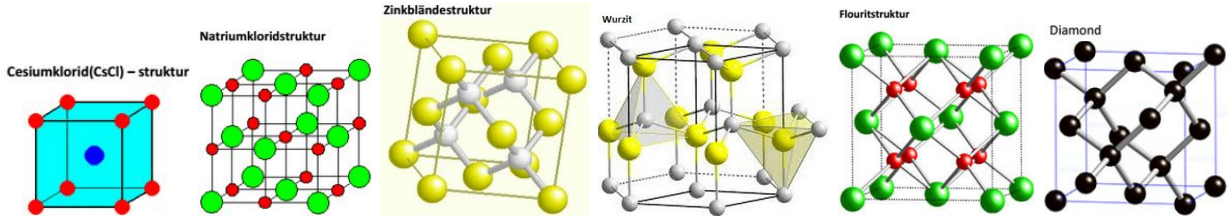
Strukturella magneter

Ferromagnet: μ_r mycket stort. Måste vara i kristallstruktur. Vanlig magnet, permanent magnetism och förstärker B enormt. Orsakas av likriktade domäner i kristallstrukturen.
Ferrimagnet: Likt ferro men svagare. Har olikriktade domäner som ger en nettomagnetism.
Antiferromagnet: μ_r lite större än 1, men annat temperaturberoende. Ej magnetisk. Har olikriktade domäner som tar ur varandra helt.

Tekniska magneter

Mjuka magneter: Stort B, litet H. Har en avlång hysteresslinga, lätt att ändra magnetiseringen.
Hårda magneter: Stort B, stort H. Har för stort H för att påverka B, är en permanent magnet. Har små korn med en domän.
Hårddisk: Litet B, litet H. Fyrkantig hysteres. Har tydlig skillnad mellan extrempunker i hysteres, bra för att koda binär info.

Nanotillämpningar:



Kolloidsyntes
Aerosolsyntes: Led laddade guldpartiklar genom 2 laddade plattor (Differential Mobility Analyser). Olika stora partiklar böjs av olika mycket av fältet mellan plattorna. Med hjälp av ett litet hål i en av plattorna väljs bara precis rätt partiklar ut.
Kemisk syntes: Man lägger till långa kolkedjor med tiol-ände till en lösning med guld. Tiolen fäster till guld och bildar en kluster. Längden på kolkedjan bestämmer storleken på kolloiden.

SK-syntes
Växer en kristall över en annan typ av kristall med en annan gitterkonstant. Då tvingar ytspänningar fram en kvantprick.

Syntes av nanoporer
Det finns olika tillvägagångssätt för att bilda porer.
Lakning: Bilda materialet först, bilda sedan porer genom att tillsätta medel som bryter ner materialet.
Anodisering: Bilda materialet först, bilda sedan parallella porer genom att dra el genom en lösning med materialet i. Strömstyrkan styr diameter av porer.
Mesoporösa: Låt tensider bilda tubulära eller sfäriska miceller (bestäms av tryck). Om man sedan värmer kan man bilda material runt porerna och sedan ta bort micellerna. Tensidernas längd bestämmer radie.

Kristalldefekter(schottky, frenkel, spegelplan, korngränser)
Tvillingplan: BCAB|C|BACB
Stapelfel: ABC||BCABC
Lågvinkelkorngräns: Korngräns med låg vinkel.

Jämviktsytor för kristaller
Naturen vill alltid hålla jämviktsytor så små som möjligt, de kostar energi, därav sfäriska strukturer.

Nanopinnar
VLS: Vapor Liquid Solid. Ha en solid platta med substratet du vill växa. Lägg på en liquid gulddroppe. Låt vapour av substratet fästa till goldet och växa nanotråden.
VSS: Det är möjligt att växa nanopinnar med solid guld. Det kommer påverka diffusionshastigheten.
Man kan även växa nanopinnar med guldlegeringar. Då förändras diffusionshastigheten.
Nanotrådar växer alltid åt ett visst håll. För 3-5 växer de 3 -> 5.

Mekaniska egenskaper
Nanopinnar är väldigt böjbara, men kan spricka.

Piezoelektricitet
Kräver icke-cirkosymmetriska material (Olika åt olika håll). Endast vissa riktningar är piezoelektriska.

Magnetiska egenskaper
Man kan hitta magnetiska domäner på olika sätt.
Magnetic Force Microscope: Dra en magnetisk spets över materialet och mät böjningen av spetsen.
Bitter Patterns: Lägg magnetiskt spån över materialet och se hur spånet lägger sig.

Katalytiska egenskaper

Polymerer/nanosfärgslitografi

Tensider, block-copolymer