

Nekovové technické materiály I. ZNM2 2019

1.1 Sklo - optická skla

Podle tradičního chápání je základní charakteristikou skla *průhlednost*, což je omyl. Skla nemusí být materiály průhledné, ale především jsou amorfní, homogenní a tuhé.

Z FYZIKÁLNÍHO HLEDISKA **SKLO** JE MATERIÁL ,

- AMORFNÍ
- HOMOGENNÍ
- TUHÝ

Látka ve **SKELNÉM STAVU** - je-li kapalina ochlazována pod bod tuhnutí, bez toho, že by došlo ke krystalizaci, tuhne postupně a přechází do skelného stavu - vzniká sklo - amorfní (beztvarý) stav látky.

- neexistuje přesná teplota tuhnutí, ale látka zvolna tuhne a její viskozita roste!
- neexistuje trojrozměrná mřížka ani jednosměrné uspořádání, které lze najít některých polymerů.

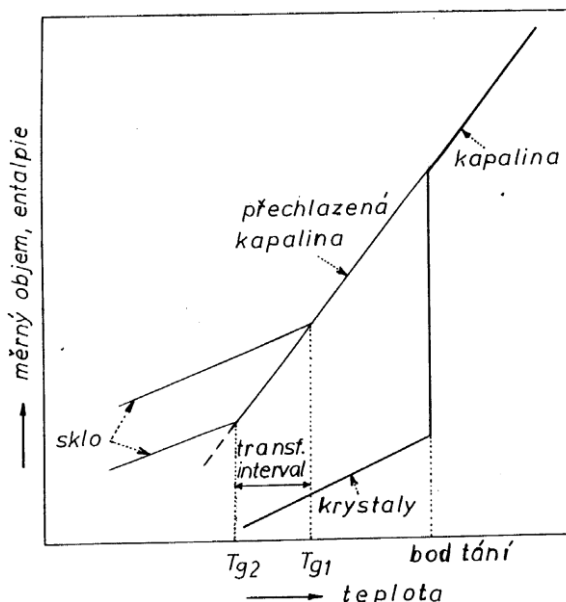
Obecně lze v různých procesech tuhnutí stejné taveniny najít dvě význačné teplotní oblasti

a. diskrétní hodnota teploty pro TEPLITU KRYSTALIZACE (teplota tání/tavení) v diagramu je skokový zlom v průběhu křivky popisující změny objemu. Nicméně ve stejném bodě se u krystalických látek prudce mění entalpie H a řada jiných veličin, příkladem takového materiálu je křemen.

b. interval teplot pro TEPLITU SKELNÉHO PŘECHODU T_g - střední hodnota intervalu / T_{g1} až T_{g2} / - teplota přechodu, zesklennění, která silně závisí na rychlosti ochlazování, tlaku, etc. . Skelný přechod NENÍ MATERIÁLOVÁ KONSTANTA. Přechlazená kapalina v podstatě z kinetických důvodů (nárůst viskozity znemožní upořádání mřížky)

ztuhne. Nedojde ke skokové změně objemu, naproti tomu může hodnota modulu pružnosti E narůst o několik řádů. Čím je ochlazování rychlejší, tím větší může být podchlazení a nižší bude teplota skelného přechodu T_g . Zde se objevuje otázka, jak zabránit krystalizaci při pomalém ochlazování.

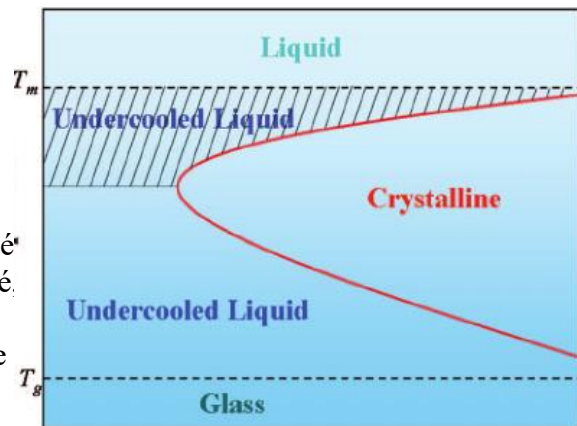
V kapalině odpovídá každé určité teplotě a tlaku nějaký ROVNOVÁŽNÝ stav, molekulární struktura o konkrétní střední vzdálenosti, rozložení a střední rychlosti molekul (statistické hodnoty v dynamickém systému). V intervalu skelného přechodu je materiál v nerovnovážném stavu. Při ochlazování se výrazně mění kinetika molekul zmenšují se vzdálenosti pohyb se zpomaluje.



Teplotní závislost měrného objemu a entalpie látek v kapalném, krystalickém a skelném stavu

Další ochlazování materiálu omezuje pohyblivost atomů, které se mohou posunovat jen o velmi malé vzdálenosti a v určitém stádiu se již neseskupí do pravidelných krystalů. Sklo nevzniká krystalizací, ale nárůstem viskozity.

Sklo lze v principu připravit z každé kapaliny (taveniny), když ji dokážeme dostatečně rychle podchladiť. Pro schopnost tvořit kovová skla je v literatuře používán termín „Glass Forming Ability“ – GFA, předpokladem je rychlost ochlazování v rozsahu $10^4 - 10^{12}$ K/s.



TTT diagram (čas-teplota-transformace); na svislé ose je teplota a na vodorovné ose je čas. Je zřejmé, že skelného přechodu při ochlazování taveniny bude dosaženo, když ochlazovací křivka neprotne červeně ohraničenou plochu značící existenci krystalů.

Moderní technologie umožňují vstoupit do prostoru, který je skryt za významem věty: „Sklo vznikne rychlým ochlazením taveniny a to minimálně takovou rychlostí, při které se již nestačí vytvořit uspořádaná, pravidelně se opakující struktura materiálu – krystalová mřížka.“

Zvládnutím technologií rychlého případně extrémně rychlého ochlazování materiálů na teplotu skelného přechodu získáváme schopnost vyrobit sklo z materiálů, u kterých jsme tuto možnost ještě nedávno neočekávali. Extrémně rychle ochlazené materiály se chovají jako sklo, „zamrznutá“ struktura uchová chaotický amorfni stav KAPALINY, je zajímavé si všimnout této teploty pro některé známé materiály

Transformační teploty některých látek

Organických i anorganických

Látka transformální teplota [°C]

Křemenné sklo	1 330
Křemičitá skla	400 – 550
Oxid hlinitý Al_2O_3	160
Plexisklo (PMMA)	105
Polystyren	105
Polykarbonáty	150 – 200
Izotaktický polypropylen	-10
Přírodní kaučuk	-70
Glycerol (glycerin)	-90
Polyetylen	-120
Voda	-140

křemenné není křemičité

abrazivo k leštění skla

typický přírodní polymer

skelný stav vody – je třeba chladit rychlostí 10^{12} K/s

Pokud je cílem připravit skelný materiál z roztaveného kovu, je nutné taveninu chladit podstatně větší rychlostí než plasty nebo křemen, příčina je v tom, že velké molekuly (ve skle a v plastech) jsou pomalé oproti tomu malé atomy (kovy) jsou rychlé. Stříbro je třeba chladit rychlostí 10^{10} K/s.

Jedno z prvních kovových skel bylo připraveno z taveniny Au 94% + Si 6% (teplota tavení 370°C)

Zatuhnutí sklovitého stavu taveniny závisí na:

- 1) chemickém složení
- 2) rychlosti ochlazování a tlaku
- 3) tloušťce vrstvy - proč? - souvislost s tepelnou vodivostí materiálu

Pro různé látky se mohou tyto hodnoty výrazně lišit.

ZESKLOVATĚNÍ

- a. ve statických polích - např. změna tlaku a teploty – to je klasická představa
- b. v periodicky proměnných vnějších polích za dynamických podmínek působení magnetického, elektrického, mechanického, zvukového etc. polí
dojde k utlumení pohyblivosti jiným mechanismem

STRUKTURNÍ ZESKELNĚNÍ vznik skla při změnách tlaku a teploty – statická pole příklady postupů

1. Chlazením taveniny, které **není** doprovázeno

KRYSTALIZACÍ

rychlost chlazení musí být větší než krystalizační rychlost a je potlačena krystalizační schopnost ***IZOBARICKÉ OCHLAZOVÁNÍ***

2. Jiná cesta je získání materiálu ve sklovitém stavu stlačením určité kapaliny /např. taveniny selenu /.

Zatlumení pohybu v materiálu ***IZOTERMÍ KOMPRESSE***

3. Další možnost je aplikace technologie **sol-gel**, variant přípravy je řada, jejich jednotícím znakem je homogenizace složek v roztoku za nízkých teplot (obvykle pod 1000°C). Technologie sol-gel umožňuje výrobu skla z materiálů, pro které je běžná technologie tavením nepoužitelná (anorganické oxidické materiály, organicko-anorganické kompozity).

Disperzní soustava je tvořené minimálně dvěma různými látkami, kdy jedna z látek vždy tvoří základní spojitě **disperzní prostředí** a druhá látka v tomto prostředí rozptýlená se nazývá **disperzní fáze**. V případě takového uspořádání látky na molekulární úrovni se jedná o **pravý roztok**. Jsou-li takto v disperzním prostředí rozptýlené částice s velikostí 10^{-6} až 10^{-9} m jedná se o soustavu **koloidně disperzní**.

SOL – koloidně disperzní soustava pevných částic v tekutém disperzním médiu s velmi vysokou homogenitou (aerosol, hydrosol,)

lyofilní (stabilní Brownův pohyb není překonán gravitací) X **lyofobní** (sedimentují)

GEL – disperzní soustava v tuhém stavu, kde dispergované částice (atomy) tvoří homogenní spojitou strukturu v rovněž spojitěm prostředí např. želatina – voda tj. koloidní dispergovaný roztok v tuhém stavu.

Nejčastěji uváděným příkladem této technologie je výroba křemenného skla z roztoku (jen ve vodných roztocích existující) kyseliny tetrahydrogenkřemičité H_4SiO_4 . Nejprve je vytvořen koloidně disperzní SOL. Dalším zahřátím nebo změnou PH /okyselením/ vznikne GEL a ten se vysuší (xerogel) a následně roztaví (za podstatně nižší teploty než křemen). Jinou metodou odstranění rozpouštědla ze struktury gelu je superkritické sušení (aerogel).

U skel dochází po skelném přechodu ke změnám fyzikálních vlastností
objem
tepelná kapacita a vodivost
elektrické vlastnosti
mechanické vlastnosti
index lomu etc.

V užším slova smyslu, když se řekne sklo, myslíme něco z křemenného nebo křemičitého písku - produkt tavení, který byl ochlazen bez krystalizace.

A -- přírodní sklo obsidián sopečné sklo podle příměsí je černé, šedé, červené někdy se barvy mísí, již ve starší době kamenné byly střepy používány jako nástroj škrabky a hroty později ozdoby (lasturovitý lom)

vltavín / moldavit /

Před 15 miliony let dopadl v Bavorsku velký meteorit pod šikmým úhlem a velkou rychlostí, při nárazu se změnila kinetická energie v tepelnou a meteorit explodoval a roztavená hornina pokropila jižní Čechy a část Moravy. (příklady skel vytvořených bleskem, jaderným výbuchem)

smolek

vypadá jako dehet, má mdlý lesk a je hnědý, červený, zelený nebo žlutohnědý. Pod mikroskopem vypadá jako perlit

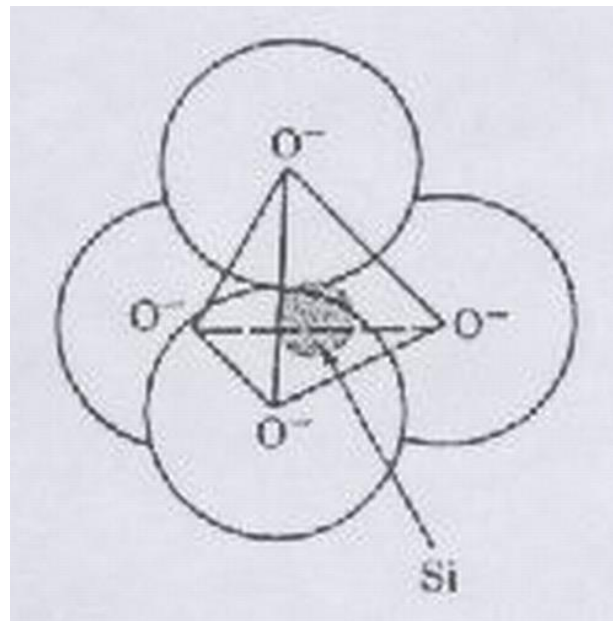
B -- umělé sklo

O historii sklářské výroby je zmínka v předcházejícím textu.

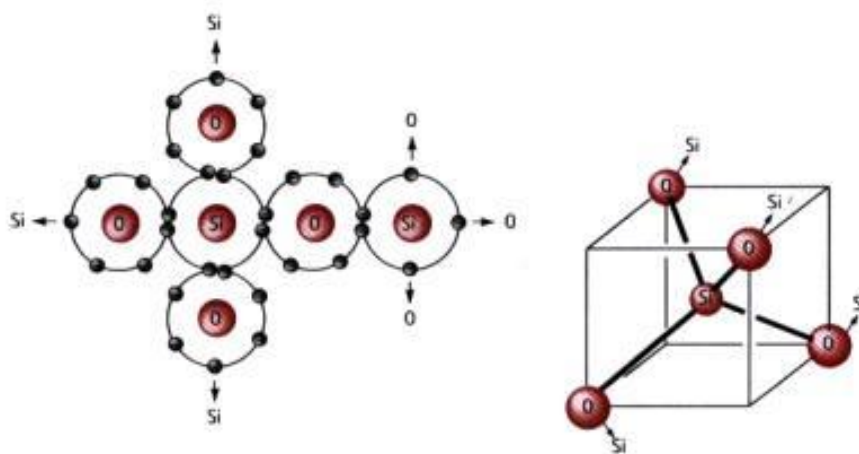
JAK SE DĚLÁ SKLO ??

Nejdřív z čeho ??

Základní jednotkou struktury křemičitanů je tetraedr – čtyřstěn SiO_4 v rozích je kyslík a v těžišti jeden křemík.



Obrázek 2 : Základní stavební jednotka Silikátů - čtyřstěn SiO_4



Tetraedr oxidu křemičitého je jedna z nejtálejších struktur na zemi, odolává chemicky téměř všemu vyjma HF (kyselina fluorovodíková – pozor napadá nervová zakončení)
Mechanická odolnost je také velice vysoká.

Oxid křemičitý má tři základní modifikace

křemen

tridymit mezi teplotami 870 až 1470°C

cristobalit

v přírodě má křemen řadu forem - podle legur ametyst

záhněda

citrín

růženín etc.

PÍSEK

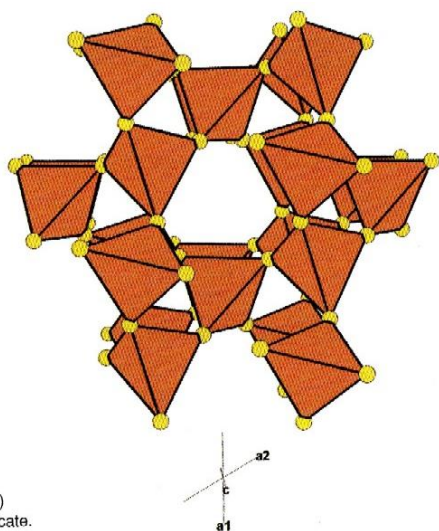


Figure 1.
α-Quartz (SiO₂)
Framework Silicate.

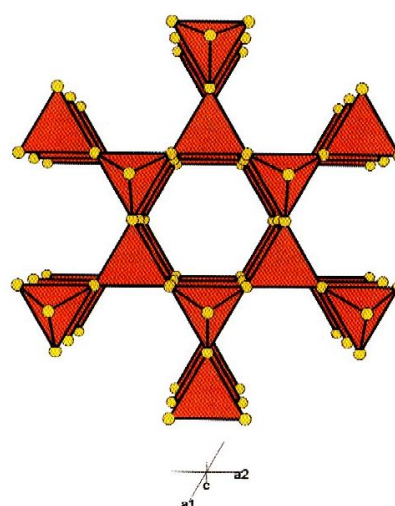


Figure 4.
Tridymite (SiO₂)
Framework Silicate

Obrázek 3 : Ukázka prostorového tetraedrů uspořádání oxidu křemičitého

Prof. Ing. Josef Matoušek DrSc.: Anorganické nekovové materiály 1992

Roztavením křemičitého písku dostáváme taveninu se skelnými vlastnostmi, která si svoje vlastnosti udrží i při ochlazení.

NEPLEŤTE sklo KŘEMENNÉ a KŘEMIČITÉ

KŘEMENNÉ sklo je vynikající, i když drahý materiál
vzniká tavením křemenného písku při 1720°C nebo lépe při 2000°C
výroba je technologicky složitá a energeticky drahá

KŘEMIČITÉ je obyčejné, které denně potkáváte na každém kroku
běžné křemičité sklo se vyrábí ve dvou základních druzích

SODNÉ

DRASELNÉ

využívá - snad NEJVĚTŠÍ OBJEV starověkých sklářů **použití tavidel**
podstatně zjednodušují technologii výroby - snižují teplotu tavení

sodné sklo - obsahuje 25% Na₂O tavení při 850 °C / o 1000°C /

!POZOR! to není teplota při které se taví křemenný písek, teplotu
tavení snižuje rozpouštědlo, které se přidává do sklářského kmene **SODA - Na₂CO₃**

draselné sklo - tady je rozpouštědlem

POTAŠ - K₂CO₃

Přidání rozpouštědel - **tavidel** vede nejen k žádoucímu *snížení teploty tavení*, ale i ke *ztrátě tvrdosti a chemické odolnosti* skla a to je nežádoucí → přidáme zas něco jiného a to je vápenec CaCO₃. Sklo bude tvrdší a bude chemicky odolné. Teprve v takovém složení je sklo *technicky použitelné*, dá se obrábět, je stabilní a odolné.

sodnovápenaté sklo - používá se na obaly a tabule

křemenný písek + uhličitan sodný + vápenec

Na₂CO₃ + CaCO₃

Po zahřátí se začne vypařovat voda, následně při zahřívání TAVIDLO bez toho že by se samo rozkládalo, rozloží, vápenec, obojí působí na písek a pomalu jej rozpouštějí.

sumární vzorec pro sodnovápenaté sklo

Na₂O . CaO . 6SiO₂

Sodnovápenaté sklo je vhodné na obaly a ploché výrobky, nejčastější typ průmyslově vyráběné skloviny

draselnovápenaté sklo - křemenný písek + uhličitan draselný + vápenec

K₂CO₃ + CaCO₃

sumární vzorec pro draselnovápenaté sklo

K₂O . CaO . 6SiO₂

boritokřemičité sklo - složení ze 70-80 % B₂O₃, 4-8 % Na₂O nebo K₂O a

2-7% Al₂O₃ (oxid hlinitý)

technické sklo s dobrou chemickou a mechanickou

odolností **SIMAX**

olovnatý křišťál - oxid olovnatý (PbO) může v sodnovápenatém skle nahradit CaO

OPTICKÉ SKLO

není dlouho v seznamu vyráběných materiálů, přesto je to jeden z předělů v dějinách vědy.

Optik má na sklo dva základní požadavky

homogenita

izotropie

při obecně pochopitelné snaze o maximální čírost (minimální absorpci a rozptyl a tím minimální ztráty světla).

Konstrukce optických soustav je založena na cílevědomém využívání optických skel s různým indexem lomu.

Spektrum odlišných optických skel je dnes velice široké a neustále se objevují nová, umožňující vylepšovat zobrazovací vlastnosti optických soustav.

Odlišnost optických skel je dána různým chemickým složením a je obvykle posuzována na základě tří parametrů

1. index lomu
2. disperze
3. spektrální propustnost.

Samozřejmě jsou velice důležité i ostatní fyzikální vlastnosti optických skel tvrdost, pevnost, pružnost, tepelná vodivost, tepelná roztažnost etc.

add1. INDEX LOMU

Šíří-li se světlo nějaké *vlnové délce* λ jedním prostředím rychlostí c_1 dojde na rozhraní dvou prostředí ke změně rychlosti na hodnotu c_2 , poměr těchto rychlostí je INDEX LOMU a platí

$$c_1 / c_2 = n_{1,2}$$

(když c = rychlost světla ve vakuu - **absolutní index lomu**). V případě, že světlo dopadne na rozhraní pod úhlem menším než je úhel totálního odrazu, dochází k lomu světla na rozhraní. Světlo pokračuje po průchodu pod jiným než dopadovým úhlem. Pravidlo podle, kterého vypočítáme změnu úhlu šíření je:

ZÁKON LOMU

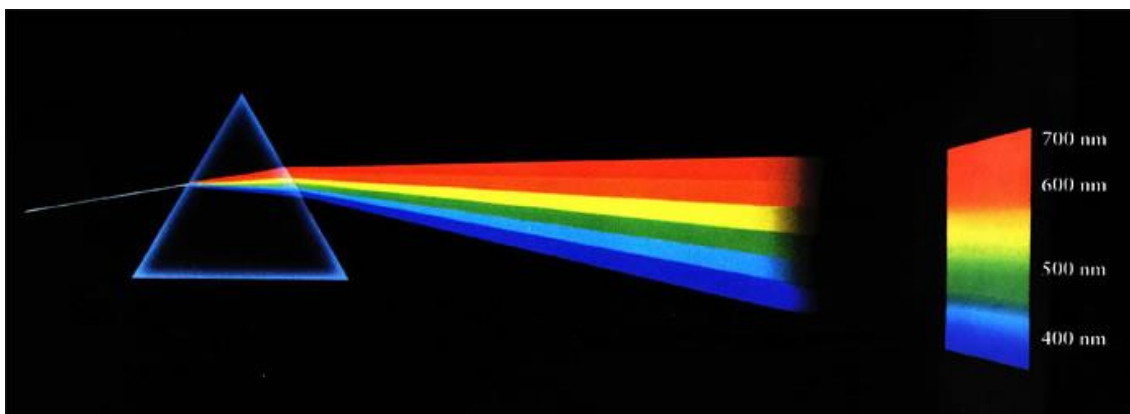
$$n_{1,2} = \sin \alpha / \sin \beta = c/v_\lambda$$

INDEX LOMU

je materiálová konstanta a závisí především na vlnové délce světla.

Prostředí OPTICKY *hustší a řidší*.

U běžných skel se index s rostoucí vlnovou délkou zmenšuje.



Obrázek 4

add 2. DISPERZE

Závislost indexu lomu materiálu na vlnové délce světla procházejícího materiálem.

DISPERZE se vyjadřuje pomocí rozdílu indexů lomu n_1 a n_2

pro různé vlnové délky λ_1 a λ_2 zpravidla odpovídající Fraunhoferovým čarám.

CELKOVÁ DISPERZE

$$n_h - n_c$$

kde index h odpovídá čáře rtuti 404,7 nm fialová
a index C odpovídá čáře vodíku 656,3 nm červená

RELATIVNÍ DISPERZE

$$n_f - n_c / n_D - 1,$$

kde $n_f - n_c$ je střední disperze

n_D index lomu pro dusíkovou výbojku 589,3 nm

ABBEOVO číslo ν_D je převrácená hodnota *relativní disperze* jeho hodnota vyjadřuje schopnost materiálu rozkládat světlo, čím vyšší hodnota, tím menší rozklad světla

KLASIFIKACE OPTICKÝCH SKEL

Optická skla jsou seřazena v grafickém porovnání podle indexu lomu / svislá osa /
a podle Abbeova čísla / vodorovná osa ale /

Schott rozdělil skla v diagramu podle Abbeova čísla - Abbeův diagram

od 55 dolů jsou skla **FLINTOVÁ**

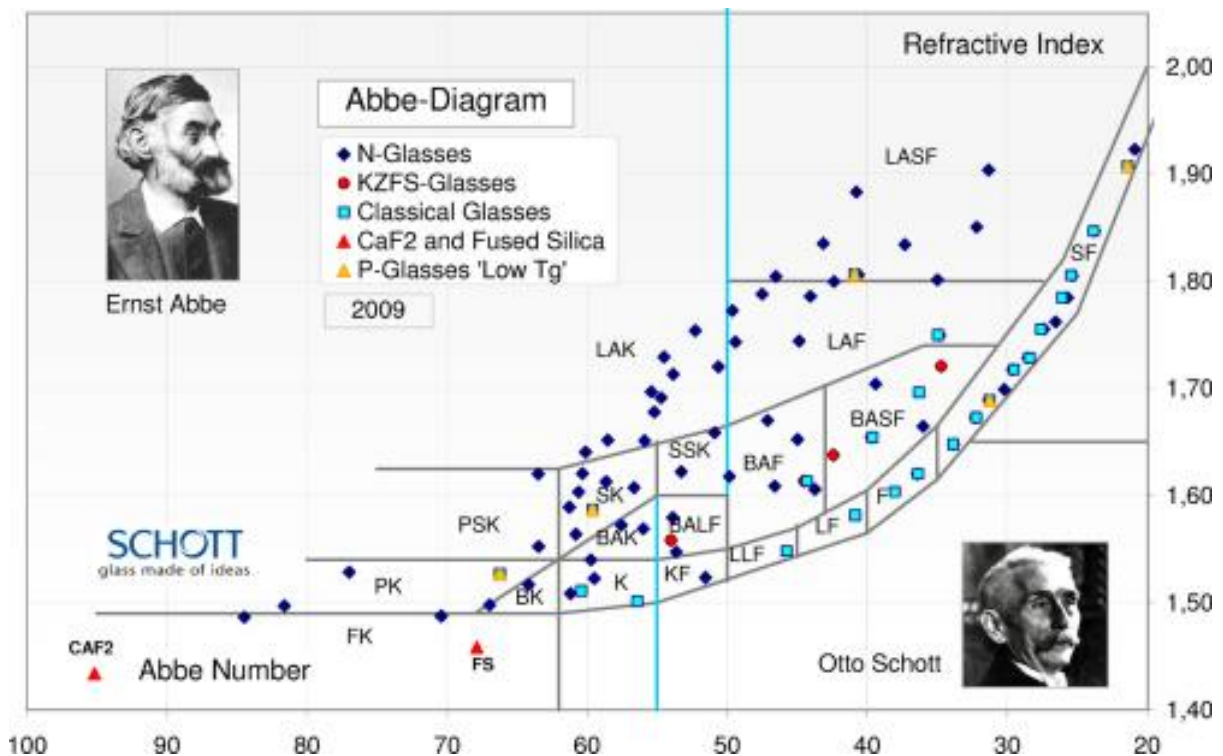
od 55 nahoru jsou skla **KORUNOVÁ**

podle indexu lomu se dělí na **LEHKÁ** a **TĚŽKÁ**

titanoxid $n = 1,7$ Abbeovo č. 41

lanthan $n = 1,8$ Abbeovo č. 34

nioboxid $n = 1,9$ Abbeovo č. 30



Obrázek 5: Abbeův diagram

Filtrová skla jsou vyráběna pro specifickou propustnost světla v různých oblastech optického spektra.

Schopnost vyrábět optické sklo - indikátor technické vyspělosti státu.

VODNÍ SKLO

Roztavený sklářský písek je prudce ochlazen, sklovina tak rozpraská na velmi jemné úlomky. V autoklávu je za přítomnosti hydroxidu (NaOH, KOH) za vysokého tlaku a teploty rozpuštěna. Takto získané vodní sklo je používáno do penetračních roztoků, omítkových směsí, lepidlo

2. Keramické materiály

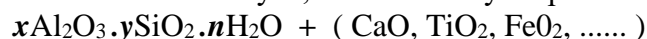
2.2.1 Keramika

Od skla je to ke keramice jen kousek, resp. ono to bylo asi obráceně. Má se za to, že člověk používá keramiku asi 12 až 20 tisíc let. V mladší době kamenné – neolitu na Blízkém východě lidé vedle srpu a tkalcovského stavu používali keramické nádoby. Vynález to byl asi náhodný.

Z jílu se něco uplácalo a nechalo uschnout na sluníčku s následným využitím pro stavební účely (vepřovice), případně jako nádoba na uchování sypkých materiálů. Takto získané výrobky se za nějakou dobu znovu rozpadaly, až přišel nápad urychlit sušení ohněm anebo náhodou spadl kus sušeného jílu do ohně a při dalším kontaktu s vodou nedošlo k opětné ztrátě tvaru. Nový objev byl na světě, název keramika souvisí se slovem *keramos*, což je hrnčířská hlína řecky. Podle typu zdobení lze odlišit stáří a původ keramického díla.

Podobného původu jsou obyčejné cihly a nebo porcelán. Odlišnosti jsou ve výchozím materiálu a v technologii výroby.

Tradiční definice keramiky říká, že je to výrobek z pálené hlíny (jílu) s příměsí křemene a živce. Jíl je materiál obecně definovaný především mechanickými vlastnostmi. Po stránce chemické má materiál označován jako jíl velice proměnné složení, jedná se o různorodou směs hydratovaných křemičitanů hlinitých, která může být doplněna některými z řady oxidů.



Tato definice počítá s takzvaným *mokrým způsobem výroby*. Kdy je výchozí surovina homogenizována v kašovitém stavu, vysušena a vypálena. Surovina může obsahovat *plastickou* a *neplastickou* složku případně *organické materiály* plastifikátory a *lehčiva* (vypálením zmizí – pórovitost).

Keramika - pevný, polykrystalický, ve vodě prakticky nerozpustný materiál vzniklý vypálením anebo působením vysokého tlaku z dispergovaných směsí anorganických, nekovových surovin. Keramika typicky obsahuje více než 1/3 objemu ve formě krystalů a množství skelné fáze může být velmi proměnlivé. Keramika může mít chemicky jednoduché složení nebo může jít o velice komplikovanou sloučeninu komplexních fází.

Epochální převrat přináší nová výrobní technologie LISOVÁNÍ PRÁŠKU za vysoké teploty

SINTROVÁNÍ - SPÉKÁNÍ - SLINOVÁNÍ

Jemné prášky – získání a úprava vstupních materiálů je samostatná problematika - jednotlivých substancí se DOKONALE smísí a pak za VYSOKÉHO TLAKU A TEPLoty spojí. Zní to jednoduše, ale technologicky je to složité a na dodržení podmínek náročný

proces. Jednotlivé technologické kroky jsou prováděny v často v několika fázích a jsou neuvěřitelně náročné na preciznost, až fanaticky je dbáno na čistotu jednotlivých složek.

Materiály, které by často bylo nemyslitelné spojit ve slitině nebo klasickým mokrým keramickým postupem, drží po sintrování pohromadě vzájemným spojením submikronových zrn na hranicích styku protavených, kde dojde k vzájemné difuzi atomů.

Když budeme hledat zjednodušené přiblížení pro pochopení procesu je to, jako vytvoření sněhové koule tlakem v zahřátých dlaních.

Prášek může být také spojován se základním materiálem i jinak například pomocí plazmového hořáku nebo laserem.

SLINOVÁNÍ tři fáze technologického postupu

1. příprava primárních materiálů

2. tvarování

3. vlastní slinování

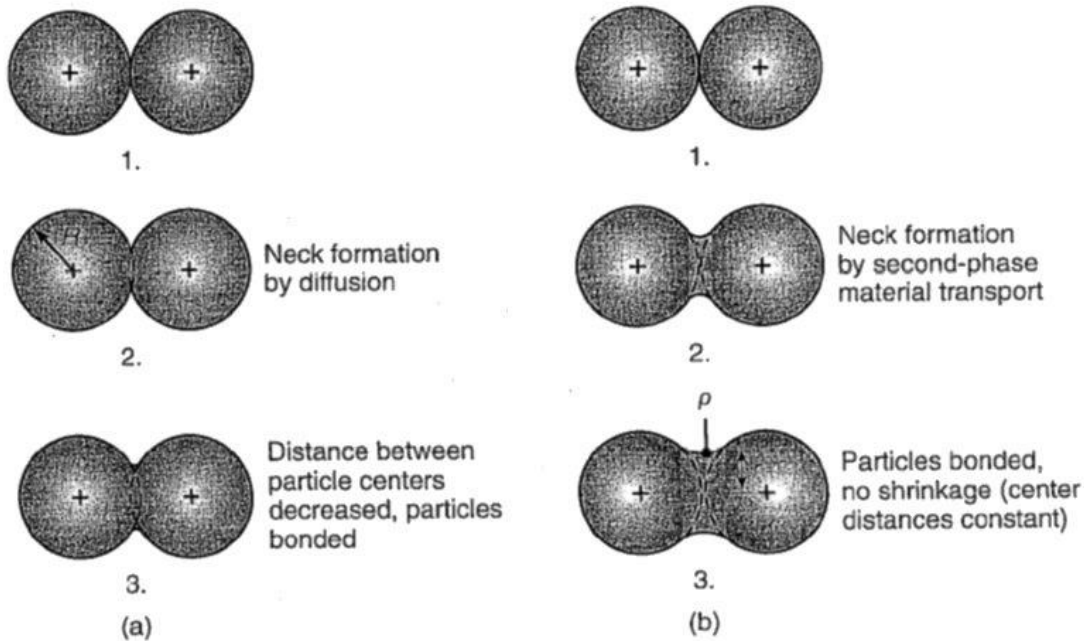
Slinování je komplikovaný proces, při kterém se za vysoké teploty pod bodem tání keramických komponent, ale za teploty dostačující dochází ke spojení primárních materiálů do pevné hmoty. Slinovací teplota je obvykle v rozmezí 70 až 90 % teploty tavení komponent. Čas potřebný pro vznik keramiky slinováním se velmi liší v závislosti na vstupních složkách, délka prodlevy na stanovené teplotě se pohybuje v řádu minut až hodin. Slinovat lze kovové materiály i materiály pro keramiku klasické, proces je podobný.

Energii získává proces z veliké povrchové energie jednotlivých částic. V systému dochází ke snižování Gibbsovy energie, surovina dispergovaná do jemných přibližně kulových částic má vzhledem k objemu obrovský povrch, systém se snaží dostat do rovnovážného stavu snížením povrchové energie. Proces startuje z dodaného tepla a pak pokračuje na úkor povrchové energie slinovaných částic. Nejprve drží prášek tvar díky silám adheze, následně dochází k difúzi na površích a potom v celém objemu. Difúzní děj končí homogenizací materiálu. Výrobek se oproti polotovaru smrští a zmizí póry mezi částicemi. Přeměna struktury keramického materiálu je zakončena růstem původních částic, jejich velikost je typická pro jednotlivé materiály a je podstatným faktorem pro mechanické vlastnosti keramického výrobku.

SSS – solid-state sintering – slinování pevných fází - a

SSS je typicky difúzní děj, kdy na rozhraní sousedních zrn za určitých předpokladů s rostoucím napětím vznikají krčky a v prostoru mezi zrny zůstávají póry určitého tvaru. Materiál se smršťuje (zmenšování měrného povrchu) dochází k difúzi v nejrůznějších formách (povrchová, hraniční, objemová). Vlivem komplexního působení řady vlivů - tlaku, hustoty, plasticity, elektrické a tepelné vodivosti etc. na úkor malých částic rostou větší a zvyšuje se kompaktnost materiálu.

Můžeme rozlišit tři základní fáze - růst krčků, zhutňování a růst zrn.



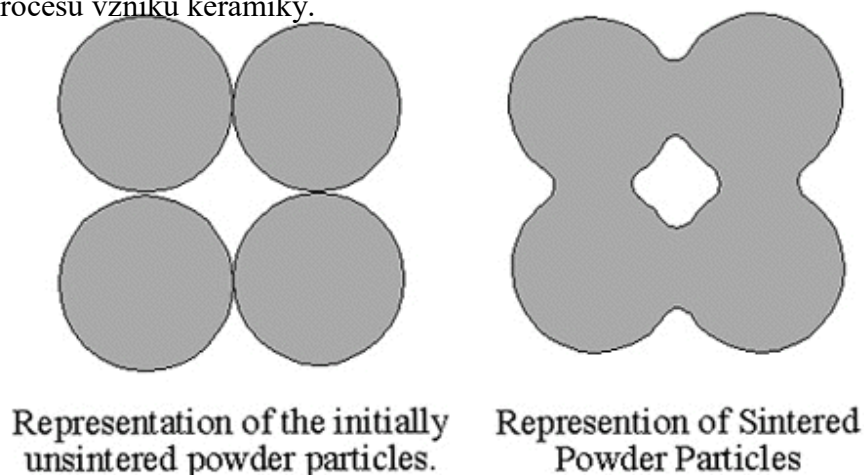
Obrázek 4 : Schématické znázornění dvou základních mechanismů sintrování SSS – a, LPS – b

Kalpakjian S., Schmid S.R.: Manufacturing Processes for Engineering Materiále , Pearson Education, Prentice Hall, 2008

LPS – liquid-phase sintering – slinování s kapalnou fází - b

Tento mechanismus vzniku keramických materiálů je typický pro situaci, kdy je výrazný rozdíl v teplotě tavení složek. Ve fázi počátečního ohřevu dochází k aktivaci materiálu s nižší teplotou tavení a změně uspořádání částic.

Pokračující ohřev vede k rozpouštění kontaktů, může docházet k odpařování jedné složky (**vapour-phase transport**), která znovu přechází do pevné fáze (kondenzuje na jiném místě), zrna se tvarově přizpůsobují a kontaktní místa zvětšují plochu. Slinováním vzniká skelet a hrubnou zrna. Tavenina je typicky 15% objemu. Pokud je objem taveniny větší než 25 % v extrémních případech až 80 % dochází k vitrifikaci, která je potom 4. fází technologického procesu vzniku keramiky.

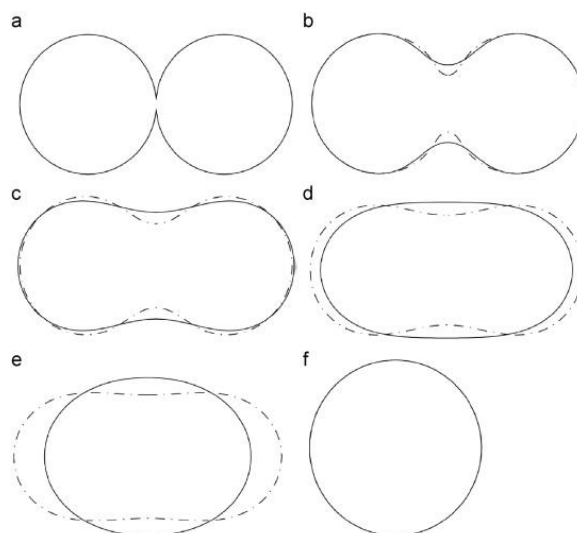


Representation of the initially unsintered powder particles.

Representation of Sintered Powder Particles

Obrázek 5 : Schématické znázornění materiálu na počátku a po ukončení procesu sintrování

<http://www.sv.vt.ed>



Obrázek 6 : Schematické znázornění zvětšování částic v dlouhotrvajícím sintrovacím procesu. Po vytvoření krčku vidíme prodloužení podélného rozměru částice v procesu sintrování. Při dalším průběhu dojde ke vzniku kulaté částice s větším průměrem, dochází k významné homogenizaci materiálu (středů původních částic se výrazně přiblížily)

Hadrian Djohari, Jorge I. Martínez-Herrera, Jeffrey J. Derby: Transport mechanisms and densification during sintering: I. Viscous flow versus vacancy diffusion, *Chemical Engineering Science*, Volume 64, Issue 17, 1 September 2009, Pages 3799–3809

Vitrifikace je typická například pro porcelán nebo sklokeramiku, je charakteristická vznikem póry vyplňující skelné matrice. Skelná fáze vzniká za nižší teploty, než je teplota tavení materiálu a jejím prostřednictvím dochází k difuzi za nižší teploty než v tuhém keramickém materiálu.

SLINOVÁNÍ ZA VNĚJŠÍHO TLAKU

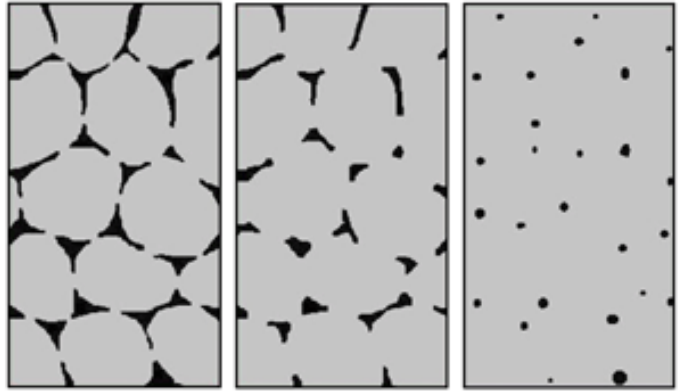
Vnější tlak je faktorem zrychlujícím vznik keramického materiálu, který omezí růst zrn.

2.2.2 Sklokeramika

Sklokeramické materiály lze v principu vyrábět dvojím způsobem. Buď *řízenou krystalizací* skla, kdy ke krystalizaci dochází v celém objemu nebo slinováním práškových komponent klasickým *sintrovacím postupem* (výše zmíněná vitrifikace keramiky).

Materiál připravený řízenou krystalizací skla v přesně naprogramovaném teplotním režimu s případným přidáním nukleačních jader (nukleátory ve formě čistých kovů Pt, Au, etc. anebo jejich oxidů) má velmi jemnozrnnou a homogenní strukturu při velikosti krystalů v řádu 1000 až 100 nm. Z původní skelné fáze zůstane v materiálu jen velmi malá část na úrovni jednotek procent. Sklo vyrobené klasickým postupem, tavením velmi čistých materiálů v elektrické sklářské peci pod vakuem, získá krystalizací při následném na přesnost náročném tepelném zpracování zcela novou pevnostní charakteristiku, jeho teplotní roztažnost se dostane na minimální hodnoty. Tepelné zpracování má dvě odlišné fáze. V první fázi proběhne tvorba krystalizačních jader, ve druhé fázi je sklovina přeměněna v homogenní krystalický materiál, který má charakter keramiky s eliminací výskytu pórů. Keramický materiál bez pórů a nehomogenit může mít vyšší pevnost než vysokopevnostní ocel (v řádech GPa).

Strnad Z.: Skelně krystalické hmoty. SNTL, Praha 1983.



Obrázek 9 : Schematické znázornění zhutnění sklokeramického materiálu http://www.ipmd.net/Introduction_to_powder_metallurgy/Sinterin

Mechanická pevnost sklokeramických materiálů se zvyšuje s klesající velikostí zrn. Průhlednost některých sklokeramických materiálů je založena na velikosti jednotlivých zrn. V případě, že je stavba atomů materiálu ve vhodném poměru k vlnové délce dopadajícího světla, světlo na tato zrna nereaguje a pokud v keramickém materiálu nedochází ani k rozptylu a ohybu světla a proto ani souvisejícím fyzikálním jevům, je materiál průhledný. V případě neprůsvitných (neprůhledných) materiálů je vnitřní struktura jejich atomů taková, že dopadající fotony o vlnové délce, na kterou je shodou okolností lidské oko citlivé, nesou právě taková kvanta energie, která mohou elektrony materiálu absorbovat, a tudíž materiál světlo nepropustí. Materiály obecně můžeme dělit podle toho, pro jaké vlnové délky elektromagnetického záření jsou propustné. (Něméně fotony jsou při průchodu sklem zpomaleny.)

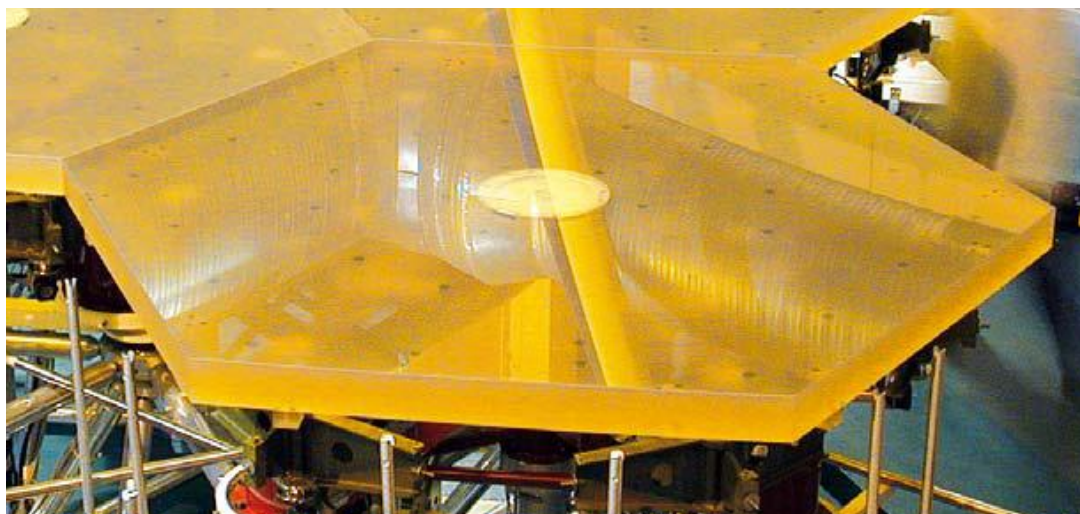
Principy technologie výroby sklokeramických materiálů jsou jednoduché, ale jejich zvládnutí je natolik složité, že existuje jen několik firem, které dokáží tento typ materiálů vyrábět průmyslovým způsobem (Corning Glass, Schott, Hereaus Amersil, ...).



Obrázek 10: Pohled na zadní stranu substrátu zrcadla z materiálu ZERODUR SCHOTT AG http://www.schott.com/advanced_optics/english/products

Sklokeramika má v poslední době řadu aplikací v různých oblastech například moderní, kuchyňská linka se téměř neobejde bez sklokeramické vařidlové desky, sklokeramické pájky se využívají v elektronice a optoelektronice na spojení jinak velmi těžko spojitelných

materiálů. Velmi odolná skla displejů moderních elektronických přístrojů jsou opět vyrobena ze sklokeramiky a optické prvky největších astroteleskopů jsou bez těchto materiálů také nemyslitelné.



Obrázek 11: Segment zrcadlo moderního teleskopu
<http://www.schott.com>



Obrázek 12 : Největší monolitická zrcadla astroteleskopů o průměru 8,2 m jsou základem Dalekohledových čtyřčat přístroje Very Large Telescope, který postavila ESO v Chile, tato zrcadla byla vyrobena ze sklokeramiky ZERODUR s hodnotou koeficientu roztažnosti $\alpha = 0 \pm 0.02 \cdot 10^{-6}/K$ <http://www.futura-sciences.com>

2.3 Kovová skla

Z fyzikálního hlediska je *SKLO*, každý - AMORFNÍ, HOMOGENNÍ, TUHÝ materiál, látka ve SKELNÉM STAVU.

Zvládnutím technologií rychlého případně extrémně rychlého ochlazování materiálů získáváme schopnost vyrobit sklo z materiálů, u kterých jsme to ještě nedávno neočekávali. Sodnokřemičité sklo získáme samovolným ochlazováním taveniny (rychlost ochlazování je řádově v jednotkách °C za sekundu) z výchozí teploty okolo 850°C. Skelný přechod v roztaveném oxidu hlinitém vzniká při ochlazovací rychlosti na úrovni 1000 °C za sekundu. Pro vznik kovových skel je třeba dosáhnout ochlazovací rychlost větší než 1 000 000 °C, například pro **stříbro** je tato nutná rychlost v řádu 10^{10} Ks^{-1} .

Na začátku technologie kovových skel byly v roce 1960 materiály $\text{Au}_{94}\text{Si}_6$ (tato slitina 94% Au s 6 % Si má extrémně nízkou teplotu tuhnutí okolo 370 °C) a na *CALTECH (California Institute of Technology)* připravená slitina $\text{Au}_{75}\text{Si}_{25}$. Současné technologie jsou schopné dosáhnout dostatečně rychlého ochlazování kovů pouze ve speciálních případech a produkované objemy kovových skel se zatím počítají spíš na kubické centimetry a jejich běžné použití je otázkou příštích let. Nicméně z velkého počtu velmi malých množství kovů ve skelném stavu (pásky, fólie, drátky v objemech v řádu stovek kubických mikrometrů) je možné vyrobit reálně použitelné součásti například pomocí sintrování anebo je využít v kompozitech

Je zřejmé, že velmi pohyblivým atomům kovů je při ochlazování taveniny složité zabránit ve vytvoření krystalické mřížky. Situace je poněkud jednodušší při výrobě kovového skla ze složitějších slitin několika kovů anebo slitin kovů s nekovy. Často je k vytvoření slitin využíván takzvaný „zmatečný“ efekt. Slitina je vytvořena z mnoha různých prvků, Případné krystalické uspořádání slitiny by bylo velmi složité, při ochlazení se slitina nemůže dostatečně rychle koordinovat do rovnovážného krystalického stavu. V těchto případech je pohyblivost atomů v různých směrech různě omezována také nehomogenitou taveniny Pohyb atomů je zastaven v neuspořádaném stavu ještě před vytvořením krystalické struktury.

Technologové vyvinuli několik variant rychlého ochlazování taveniny vedoucích k vytvoření kovových skel. Jednou z možností je vhánění práškového kovového materiálu do vysokoteplotního plamene s následným zachycením již roztavených kapiček kovu do chladícího média, kterým může být například voda, kapalný dusík a podobně. Pokud je povrch kapek roztaveného kovu dostatečně velký vzhledem k jejich objemu lze docílit amorfní struktury ztuhlého materiálu.

Dalším možným postupem je využití kontaktních chladičů z materiálů s vysokou tepelnou vodivostí. Technologie je založena na vstřikování proudu anebo kapek taveniny na rychle rotující, hluboko podchlazovaný disk vyrobený například ze speciálních slitin mědi. Produktem je buď prášek anebo tenký pasek kovového skla. V literatuře lze najít údaje o takto vyrobených páscích kovových skel o tloušťkách do 1 mm, maximální šířka amorfních fólií může být až 50 cm.

Vývoj kovových skel jde prudce vpřed. Ve spolupráci Tohoku University a CALTECH se podařilo připravit materiál s kritickou rychlost ochlazování mezi 1 K / s až 100 K / s, to jsou hodnoty srovnatelné s oxidovými skly. Takto nízké ochlazovací rychlosti umožňují použít technologii jednoduchého lití do kovových forem a připravit podstatně větší objemy materiálu. Odličky mohou mít tloušťku až několik desítek milimetrů. Základem tohoto typu slitin jsou nějaké prvky se sklonem k snadnému vytvoření skelného stavu jako například lanthan, hliník, měďena a v posledních letech zejména zirkon a palladium.

Alloy	ρ (g cc ⁻¹)	Y (GPa)	G (GPa)	B (GPa)	ν	σ_y (GPa)	T _g (K)	W/ Ω (GJ m ⁻³)
1. Zr _{41.2} Ti _{13.8} Ni ₁₀ Cu _{12.5} Be _{22.5}	5.9	95	34.1	114.1	0.352	1.86	618	0.06168
2. Zr ₄₈ Nb ₈ Ni ₁₂ Cu ₁₄ Be ₁₈	6.7	93.9	34.3	118	0.367	1.95	620	0.06739
3. Zr ₅₅ Ti ₅ Cu ₂₀ Ni ₁₀ Al ₁₀	6.62	85	31	118	0.375	1.63	625	0.0521
4. Zr _{57.5} Nb ₅ Cu _{15.4} Ni ₁₂ Al ₁₀	6.5	84.7	30.8	117.6	0.379	1.58	663	0.04927
5. Zr ₅₅ Al ₁₉ Co ₁₉ Cu ₇	6.2	101.7	37.6	114.9	0.352	2.2	733	0.07825
6. Pd ₄₀ Cu ₃₀ Ni ₁₀ P ₂₀	9.28	92	34.5	151.8	0.399	1.72	593	0.05213
7. Pd ₄₀ Cu ₃₀ Ni ₁₀ P ₂₀	9.28	92	33	146	0.394	1.72	593	0.0545
8. Pd ₄₀ Cu ₃₀ Ni ₁₀ P ₂₀	9.3	92	35.8	144.7	0.394	1.75	595	0.052
9. Pd ₆₀ Cu ₂₀ P ₂₀	9.78	91	32.3	167	0.409	1.7	604	0.05439
10. Pd ₄₀ Cu ₄₀ P ₂₀	9.3	93	33.2	158	0.402	1.75	548	0.05608
11. Ni ₄₅ Ti ₂₀ Zr ₂₅ Al ₁₀	6.4	109.3	40.2	129.6	0.359	2.37	791	0.08494
12. Ni ₄₀ Ti ₁₇ Zr ₂₈ Al ₁₀ Cu ₅	6.48	127.6	47.3	140.7	0.349	2.59	862	0.08622
13. Ni ₆₀ Nb ₃₅ Sn ₅	8.64	183.7	66.32	267	0.385	3.85	885	0.13587
14. Ni ₆₀ Sn ₆ (Nb _{0.8} Ta _{0.2}) ₃₄	9.24	161.3	59.41	189	0.357	3.5	875	0.12535
15. Ni ₆₀ Sn ₆ (Nb _{0.8} Ta _{0.2}) ₃₄	9.8	163.7	60.1	197.6	0.361	3.58	882	0.12964
16. Cu ₆₄ Zr ₃₆	8.07	92	34	104.3	0.352	2	787	0.07152
17. Cu ₄₆ Zr ₅₄	7.62	83.5	30	128.5	0.391	1.4	696	0.03972
18. Cu ₄₆ Zr ₄₂ Al ₇ Y ₅	7.23	84.6	31	104.1	0.364	1.6	713	0.0502
19. Pd _{77.5} Cu ₆ Si _{16.5}	10.4	89.7	31.8	166	0.409	1.5	550	0.04301
20. Pt ₆₀ Ni ₁₅ P ₂₅	15.7	96.1	33.8	202	0.42	1.4	488	0.03525
21. Pt _{57.5} Cu _{14.7} Ni ₅ P _{22.8}	15.2	95.7	33.4	243.2	0.434	1.45	490	0.03827
22. Pd ₆₄ Ni ₁₆ P ₂₀	10.1	91.9	32.7	166	0.405	1.55	452	0.04466
23. MgGd ₁₀ Cu ₂₅	4.04	49.1	18.6	46.3	0.32	0.98	428	0.03139
24. La ₅₅ Al ₂₅ Cu ₁₀ Ni ₅ Co ₅	6	41.9	15.6	44.2	0.342	0.85	430	0.02816
25. Ce ₇₀ Al ₁₀ Ni ₁₀ Cu ₁₀	6.67	30.3	11.5	27	0.313	0.65	359	0.02233
26. Cu ₅₀ Hf ₄₃ Al ₇	11	113	42	132.8	0.358	2.2	774	0.07006
27. Cu _{57.5} Hf _{27.5} Ti ₁₅	9.91	103	37.3	117.5	0.356	1.94	729	0.06134
28. Fe ₆₁ Mn ₁₀ Cr ₄ Mo ₆ Er ₁ C ₁₅ B ₆	6.89	193	75	146	0.28	4.16	870	0.14027
29. Fe ₅₃ Cr ₁₅ Mo ₁₄ Er ₁ C ₁₅ B ₆	6.92	195	75	180	0.32	4.2	860	0.14298
30. Au _{49.5} Ag _{5.5} Pd _{2.3} Cu _{26.9} Si _{16.3}	11.6	74.4	26.5	132.3	0.406	1.2	405	0.03303
31. Au ₅₅ Cu ₂₅ Si ₂₀	12.2	69.8	24.6	139.8	0.417	1	348	0.02471

Obrázek č. 13 : Přehled některých vlastností kovových skel

- ρ - hustota [g / cm³]
- Y (nebo E) - modul pružnosti v tahu – (Youngův) [GPa]
- G - modul pružnosti ve smyku [GPa]
- B - objemový modul [GPa]
- ν - Poissonův koeficient [poměr zúžení /prodloužení]
- σ_y - mez pružnosti [GPa]
- T_g - teplota skelného přechodu [K]
- W / Ω - potenciální energie vázaná na plastickou deformaci [GJm⁻³],



Obrázek č 14 : Kovové sklo v těchto rozměrech je vyrobitelné až v posledních letech

Od roku 1992 je komerčně dostupná amorfni slitina Vitreloy 1 (41,2% Zr, 13,8% Ti, 12,5% Cu, 10% Ni, a 22,5% Be), kterou vyvinuly Caltech, pro NASA a energetické účely.

V roce 2004 v Oak Ridge National Laboratory a na University of Virginia.Oak Ridge se dokonce podařilo vyrobit amorfni ocelovou slitinu.

Tabulka na obrázku č.13 nekomentuje chování kovových skel v magnetickém poli a to může být velice zajímavé. Některá skla na bázi slitin prvků Ni, Fe, Co, Si,C, P, B snadno mění orientaci magnetických domén po vložení do magnetického pole, po odstranění z dosahu pole se orientace domén podle magnetických siločar snadno změni a jejich vlastní magnetické pole prakticky zanikne. Tyto magneticky měkké materiály jsou vhodné pro aplikace v elektronice např. pro výrobu jader elektrických cívek, transformátorových plechů podobných zařízení pro střídavý proud.

Pokud se zaměříme na mechanické vlastnosti kovových skel, které jsou z hlediska jejich pravděpodobné využitelnosti asi nejzajímavější, všimněme si, že nejvyšší mez pružnosti pro konkrétní hodnoty modulu pružnosti mezi technickými materiály vykazují právě kovová skla až 1 200 MPa (pro ocel je průměrná hodnota meze pružnosti okolo 400 MPa).

Kovová skla mohou být až třikrát pevnější než titanové slitiny a až 1,5 tvrdší než vysocelegovaná nerezová ocel. To vše při velmi nízkých teplotách tavení, v extrémním případě za pokojové teploty

Příklad potvrzující jednu z extrémních materiálových charakteristik kovových skel dokládá ukázka, kterou najdete na adrese:

<http://www.break.com/usercontent/2007/9/elastic-metal-or-liquidmetal-359874> .

Právě extrémní pružnost je důvodem pro využití v supermoderním sportovním nářadí, zbrojním průmyslu, kosmonautice a letectví. V medicíně najdou tyto materiály velice rychle uplatnění v oblasti náhrad kostí a implantátů, protože jsou živým organismem velmi dobře tolerovány, některé slitiny jsou biodegradativní..

Předpokládá se, že kovová skla budou základním materiálem pro akumulátory do špičkové elektroniky (iPhone).

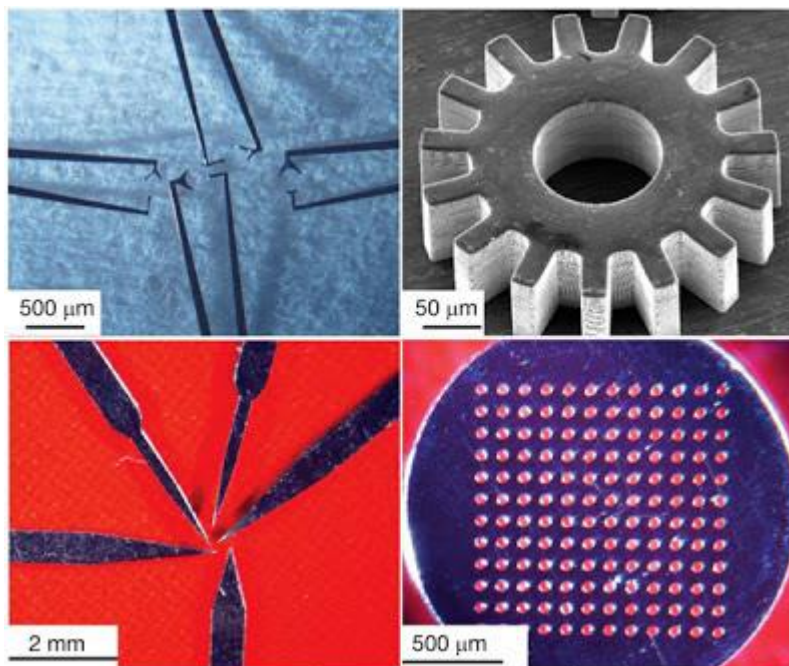


Obrázek č. 15: Flakón na luxusní parfém (tloušťka stěny 0,3 mm)



Obrázek č. 16 : Golfvé hole z těchto materiálů nejsou na turnajích povoleny, zatímco proti použití v tenisových raketách není námitek

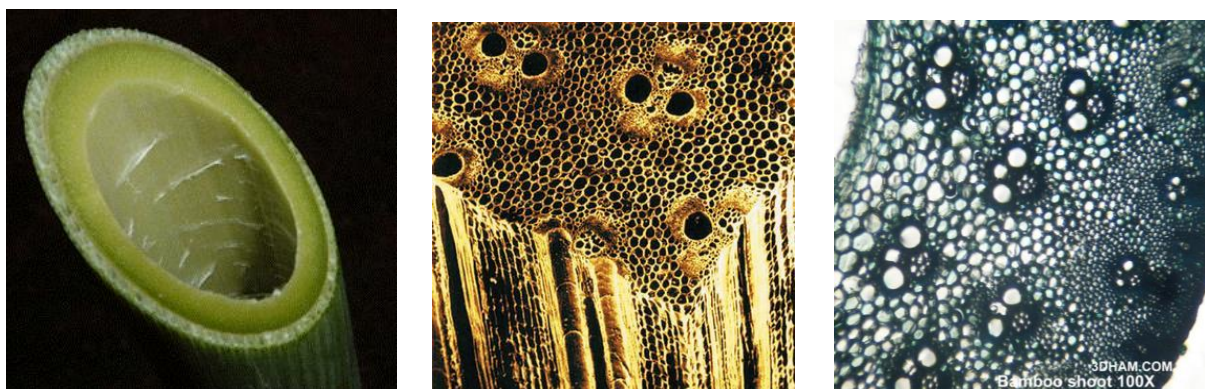
Vynikající materiálové charakteristiky a téměř ideální vlastnosti pro odlévání předurčují kovová skla k využití pro výrobu nanosoučástek



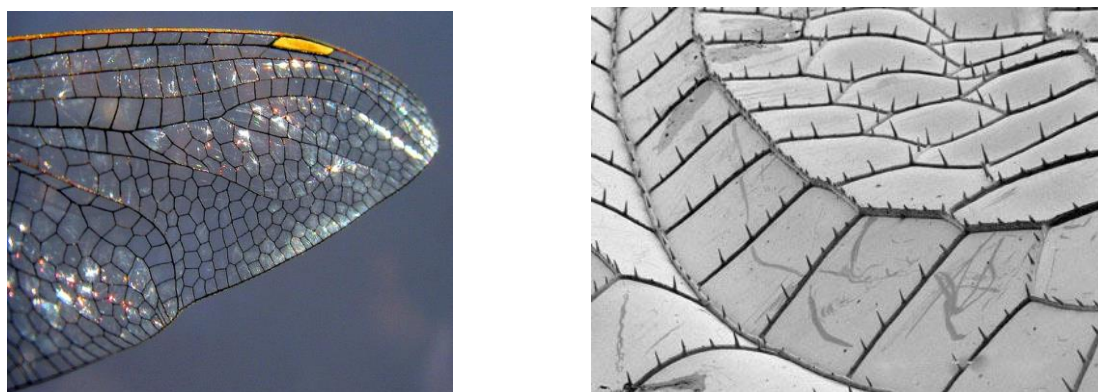
Obrázek č. 17: Ukázka výlisků kovových skel, pinzety (nahore vlevo), ozubené kolo (nahore vpravo), skalpel (dole vlevo) a membrána (dole vpravo).
Převzato z *G. Kumar, Nature 457*

2.4 Kompozity

Kompozity jsou materiálové systémy složené z více (nejméně dvou) složek nebo fází (konstituentů), z nichž alespoň jedna je pevná a nespojitá - *výztuž*. Druhá spojitá fáze vykazuje obvykle vyšší plasticitu - *matrice* je ve struktuře kompozitu pojivem. Fáze mají makroskopicky rozeznatelné rozhraní (přechodové oblasti – mezivrstvy, mezifáze). Cílem při vývoji a výrobě kompozitního materiálu je získat materiál se synergickým účinkem jednotlivých složek (výztuž je nositelem pevnosti a tuhosti), jehož výsledné vlastnosti jsou lepší, než mají jednotlivé složky samostatně nebo ve směsi. Výroba prvních moderních kompozitů byla technologicky zvládnuta od 30. let 20. století (sklolaminát, pertinax) a zhruba posledních třicet let jsou kompozity používány pro moderní konstrukce (rakety, letecký a automobilový průmysl, sportovní vybavení, stavebnictví atd.). Kompozitní materiál může být vytvořen na bázi organických i neorganických složek. Například z polymerů lze vytvářet kompozity přidáním jiných materiálů. Velká většina konstrukčních materiálů v živé přírodě jsou právě materiály kompozitní (bambusový stvol, křídlo vážky, skořápka kokosového ořechu a další).



Obrázek 18: Řez stvolem bambusu [www.sword-buyers-guide.com, www.spinnerschoice.com, www.3dham.com].



Obrázek 19 : Křídlo vážky [www.flickr.com, www.scienceblogs.com].

Jiným příkladem je beton, různé varianty jsou v současnosti kompozitem vyráběným v největším objemu (železobeton, drátkový beton).

Vícefázový materiál označujeme jako kompozit když:

- mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti výztuže jsou odlišné od matrice
- objem výztuže přesahuje 5 % kompozitu
- je vytvořena smícháním složek.

Pozn.

(FÁZE – fyzikálně a chemicky stejnorodá látka, která může vznikat a zanikat add. fázový diagram přeměny ferit - austenit

SLOŽKA – chemický jedinec – příklad cementit

KONSTITUENTY – fáze a složky)

Význam kompozitních materiálů pro konstrukci optických prvků je založen na několika typických vlastnostech.

- a) Měrná hmotnost kompozit na bázi uhlíkových nebo skelných vláken a epoxidů je nízká a při aplikaci vhodného typu separátoru je pomocí kompozitního materiálu možné kopírovat negativní matici optického prvku. Tento postup umožňuje sériovou výrobu například zrcadel aplikovaných na nepřehledných křížovatkách anebo zrcadel pro kolektory slunečního záření.
- b) Velmi dobrých pevnostních charakteristik kompozitních materiálů lze využít při výrobě zobrazovacích zrcadel například speciálních teleskopů, jejichž konstrukce nebo použití vyžaduje minimalizovat hmotnost zrcadla anebo v případě, že je zrcadlová plocha umístěna například v dráze svazku na urychlovači částic (ekvivalentní hmotnost).
- c) Vysokopevnostní kompozity jsou používány například v oknech pancéřovaných vozidel (sklokeramika s prokládaným plastem)

Podle rozměrů prvků výztuže můžeme kompozitní materiály dělit na:

- makrokompozity – příkladem je beton nebo železobeton (do 100 mm)
- mikrokompozity – sklolamináty, uhlíkové kompozity (do 0,1 mm)
- nanokompozity – kompozity založené na nano částicích nebo vlákních např. whiskerech (do 0,005 mm)

Matrice může být:

- polymerní
- kovová
- keramická
- skleněná, sklokeramická
- uhlíková

Seznam zkratk používaných pro některé typy výztuží

FRP – “Fiber Reinforced Plastics”- plasty vyztužené vlákny

SFRP – “Short Fiber Reinforced Plastics”- krátkými vlákny vyztužené plasty

LFRP – “Long Fiber Reinforced Plastics”- „dlouhými“ krátkými vlákny vyztužené plasty

GFRP– “Glass Fiber Reinforced Plastics”- skleněnými vlákny vyztužené plasty

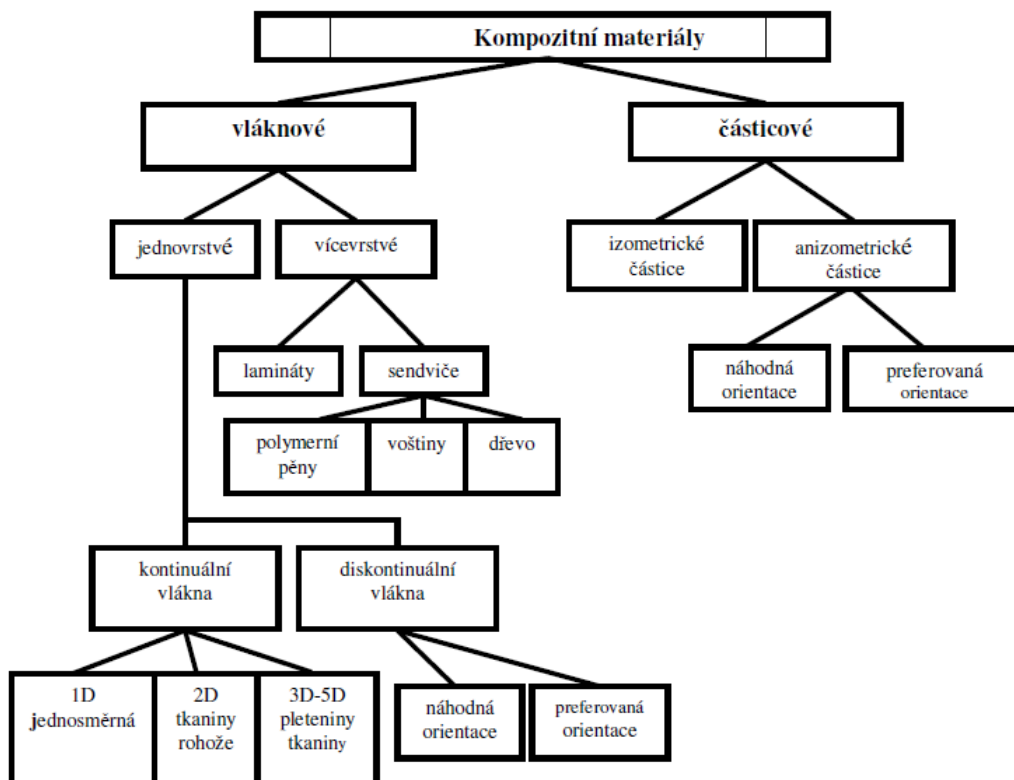
CFRP – “Carbon Fiber Reinforced Plastics ”- uhlíkovými vlákny vyztužené plasty

MMC – “Metal Matrix Composite”- kompozity s kovovou maticí

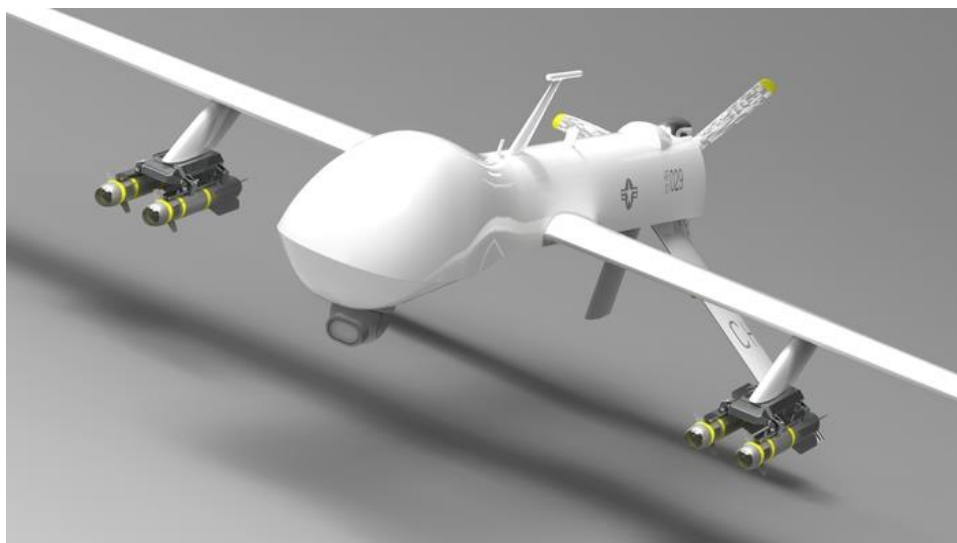
CMC – “Ceramic Matrix Composite”- kompozity s keramickou maticí

AMC – “Aluminium Matrix Composites” - kompozity s maticí z hliníkové slitiny

TMC – “Titanium Matrix Composite” - kompozity s maticí z titanové slitiny

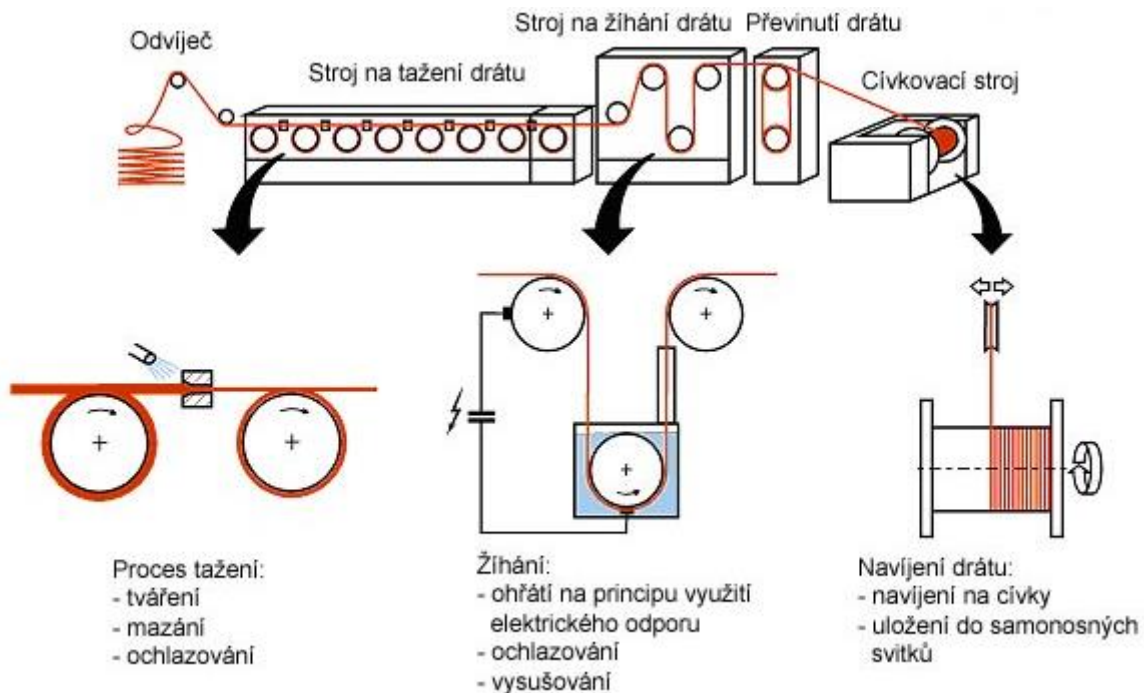


Obrázek 20: Schéma třídění mikrokompozitních materiálů



Obrázek 21: Kompozitní létající dron MQ-1 Predator
 [<http://grabcad.com/library/mq-1-predator-uav>]

Tématem tohoto odstavce jsou nanodráty a nanofólie.



Obrázek č.20: Standardní výroba drátů

<http://www.niehoff.cz/images/technologie.jpg>

Zjednodušené schéma znázorňující proces tažení drátu je na obrázku č.20. Dráty lze vyrábět z různých materiálů, pro běžné kovové dráty je výchozí surovinou válcovaný drát, který je produktem válcoven železných a barevných kovů. Odvíjený polotovár je protahován systémem dutých konických průvleků, zmenšováním průměru průvleků je zmenšován průměr finálního produktu. Je zřejmé, že volba materiálu (speciální keramiky, diamant) a výroba průvleků je vysoce specializovaná záležitost (otěruvzdornost, teplotní stabilita, pevnost, ...). Když si uvědomíme, že při tomto tvářecím procesu z polotovaru neubývá materiál, odvodíme, že za průtahem se musí drát pohybovat rychleji než před ním a to znamená, že každá z cívek v bloku tažení musí být jinak nastavena.

Protože namáháním materiálu na tah a tlak (viz. Obr.2) dochází k jeho křehnutí, nezbytnou součástí technologického procesu je žihání k odstranění deformací a vyrovnání struktury protaženého drátu.

Podle průměru dělíme dráty do pěti kategorií (kategorie se v různé literatuře často překrývají):

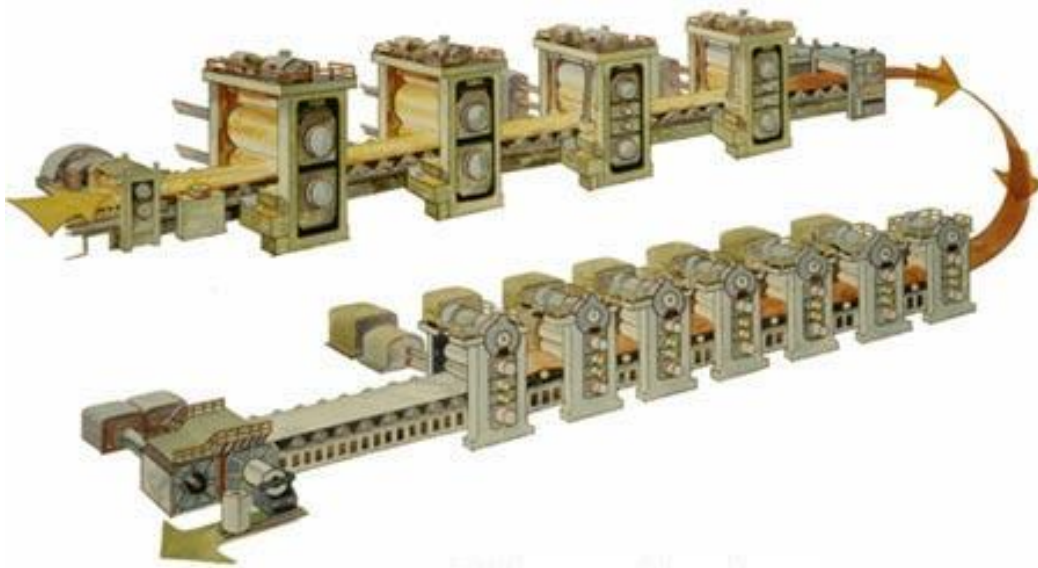
- hrubé nad 1 mm
- střední 0,1 až 1 mm
- jemné 0,05 až 0,1
- nejjemnější 0,012 až 0,05 mm
- mikro(nano)dráty

Tažením jsou vyráběny nejtentčí dráty ze zlata a mají průměr 3 μm (3 000 nm). Au má ze všech kovů má největší tažnost 1 m dlouhý drát má hmotnost 0,5 mg.

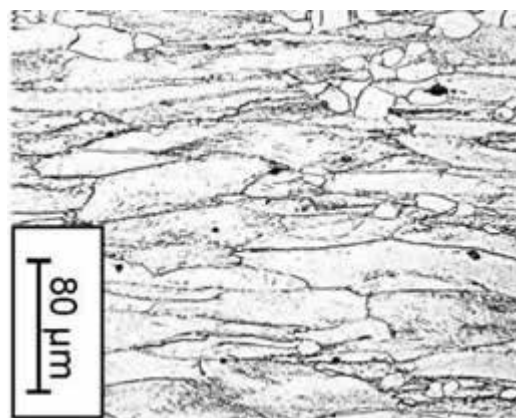
Menších průměrů drátů lze dosáhnout technologií založenou na chemickém odleptávání drátu, který byl vytažen do průměru 10 000 nm a následně zeslaben odleptáním. Tímto způsobem jsou vyrobitelné například wolframové drátky o průměru 1 000 nm.

Zdá se, že limitní hodnotou pro průměr drátu je velikost atomu. Taková varianta drátu (vlákna - zřetězených atomů zlata) byla experimentálně vyrobena pomocí řízené kondenzace kovových par. Pokud jako materiál použijeme polovodič je možné vyrobit například polovodičové součástky ve tvaru drátů o průměru v řádu nm. Jinou variantou je připravit kondenzací různých polovodičů na zlatém nanodrátu optoelektronické prvky např. diody emitující světlo. V případě, že ovlivníme emisi u takových prvků na jednotlivé fotony, bude možné sestavit kvantový počítač.

Výroba plechů je opět tvářecí technologie bez úbytku materiálu ve formě třísek, obvykle *kování, válcování* nebo *tažení*. Východím polotovarem je hutní polotovaz, který je v případě technologie válcování zpracován válcovací stolicí pomocí paralelních válců, jejichž vzdáleností je určena tloušťka výsledného plechu. Plechy lze válcovat jak za studena, tak za tepla. Pro velmi tenké plechy je používáno označení fólie (alobal (2 najednou), staniol (Sn)..)



Obrázek č. 21: Válcování plechů
www.ksp.tul.cz



Obrázek č. 22: struktura plechu po válcování
www.katedry.fmfi.vsb.cz

Nejtenčí fólie je vyrobitelná kováním opět ze zlata. Vlastnosti mřížky určují až neuvěřitelnou kujnost. 1m^2 průhledné nazelenalé fólie o tloušťce 2 mikrony stačí 1 g Au. Ze zlata je možné vyrobit fólii o tloušťce 10nm.

Využití fólií je velmi široké, nabízejí velkou plochu při nízké hmotnosti, vysokou pevnost, mohou propouštět světlo anebo naopak tvoří izolační vrstvy proti téměř čemukoli. Velmi tenké fólie z velmi drahých materiálů umožňují ekonomicky přijatelnou výrobu zařízení, která se bez těchto materiálů neobejdou.

Příklady: obaly (staniol), izolace, plachty, bezpečnostní aplikace, mylary, architektura

AL INVEST Břidličná – Al plechy a fólie běžně produkují fólie o tloušťkách 5 – 50 μm , běžně používaný ALOBAL má tloušťku 9 μm



Obrázek č. 23: Plachta jako pohonná jednotka vesmírného modulu hnaného tlakem světla z hvězdy, slunečním větrem případně laseru.

www.national-geographic.cz

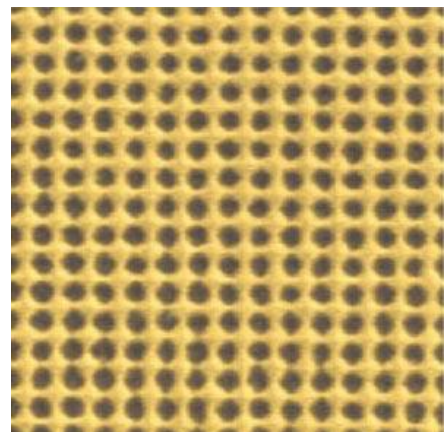
Ve fyzikálních experimentech je velmi často používanou fólií Mylar (jeden z obchodních názvů pro pokovený polyester – BoPET – biaxially oriented polyethylene terephthalate).

Další využití - zrcadla, distanční podložky, izolační pomůcky, heliem plněné balony ...

Výroba je relativně jednoduchá, PET tavenina je vytlačována na leštěné chlazené válce a následně v teplotním režimu roztahována dvouosým tahem.

Obrázek č. 24 : Zlatá fólie o tloušťce 20 nm s otvory o průměru 200 nm a rozestupem 300 nm. Prvek z experimentu prokazujícího, že takto perforovanou folií prochází méně světla než fólií neporušenou.

<http://optics.org/article/40977>



Aerogely

Exotický typ materiálů a to jak technologií jejich přípravy, tak vlastnostmi. První experimenty pocházejí z 30. let minulého století. Princip přípravy využívá speciální způsob vysoušení gelu. (gel - stabilní disperzní soustava, struktura nanočástic vytvoří stabilní porézní síť, která absorbuje tekutinu (vypadá jako sule)). Například z gelu oxidu křemičitého, který je běžně využíván například k leštění křemíkových desek lze vodu vytěsnit alkoholem a ten zase éterem (podmínkou je úplná vzájemná rozpustnost kapalin). Éter je vysoce těkává kapalina, kterou lze snadno a velmi rychle z gelu odstranit ohřevem (nízká teplota varu). Tento postup zajistí zachování neporušené „nosné struktury“ gelu. Výsledný materiál vizuálně připomíná namodralou zatuhlou mlhu anebo dým.



Obrázek č. 25: A classic silica aerogel monolith (image credit Prof. C. Jeffrey Brinker)

Problém je v tom, že vysoušení struktury aerogelů není trvalé, uchovávají si nasákavost. Ve styku s vodou vznikne znovu „želatina“.

Fyzikální vlastnosti aerogelů jsou v mnoha směrech unikátní:

- měrná hustota se pohybuje v jednotkách kg m^{-3} (menší hustotu má jen aerografit)
- index lomu 1.002
- celkový povrch 1 kg materiálu je až $1\,000\,000\text{ m}^2$
- odolá tlaku o tři řády vyššímu, než je jeho hmotnost
- minimální tepelná vodivost
- odolnost teplotám nad $1\,000^\circ\text{C}$

Využití:

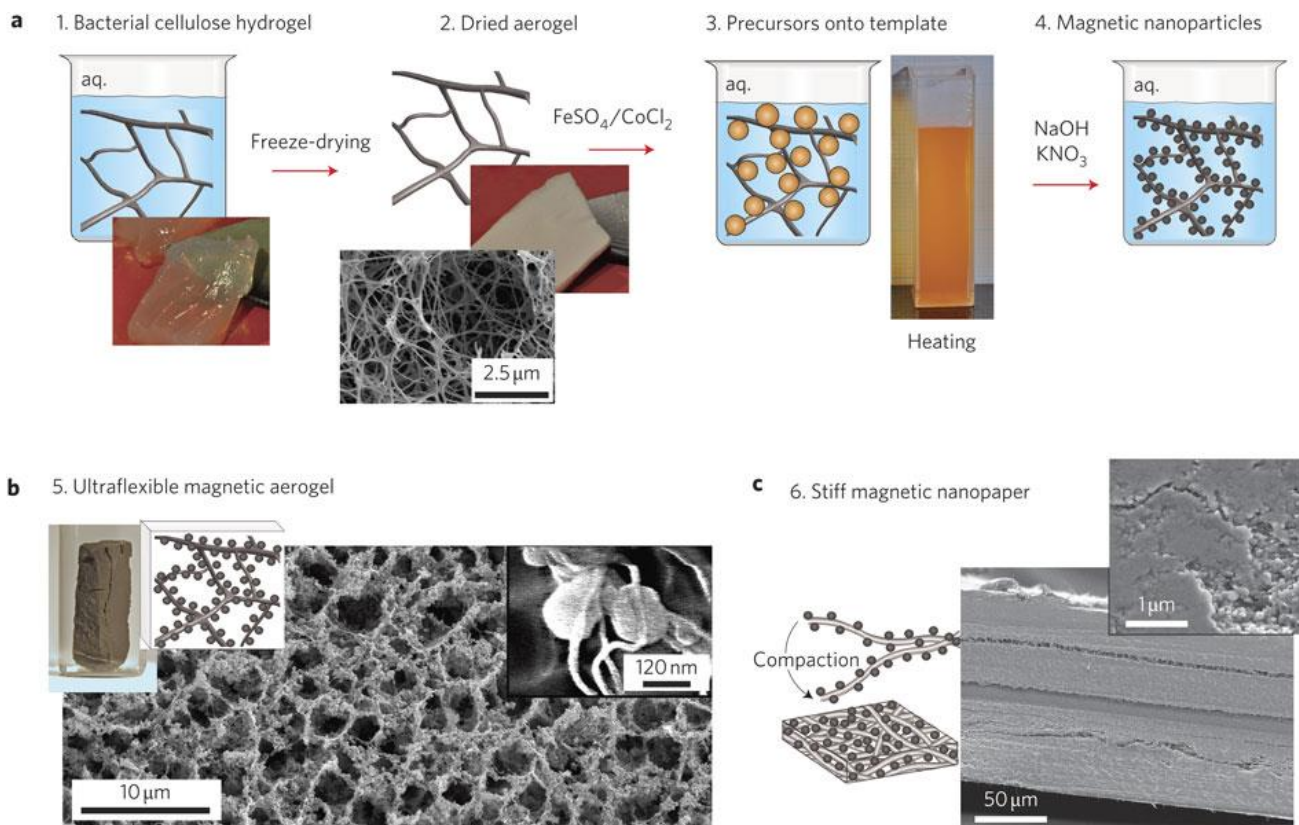
- nosiče nanomateriálů
- izolace
- konstrukční materiál – podmíněno nepřístupností pro kapaliny
- absorbéry jedů, filtry
- sportovní nářadí
- medicína



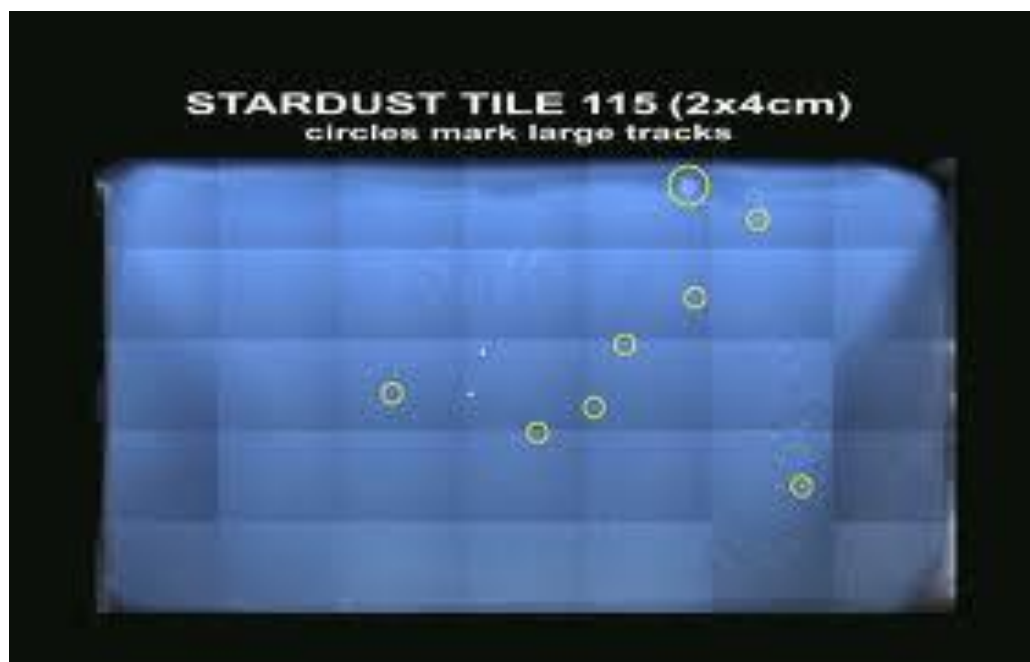
Obrázek č. 26: Aerogel – ideální tepelně izolační materiál
(image credit Lawrence Berkeley National Laboratory)



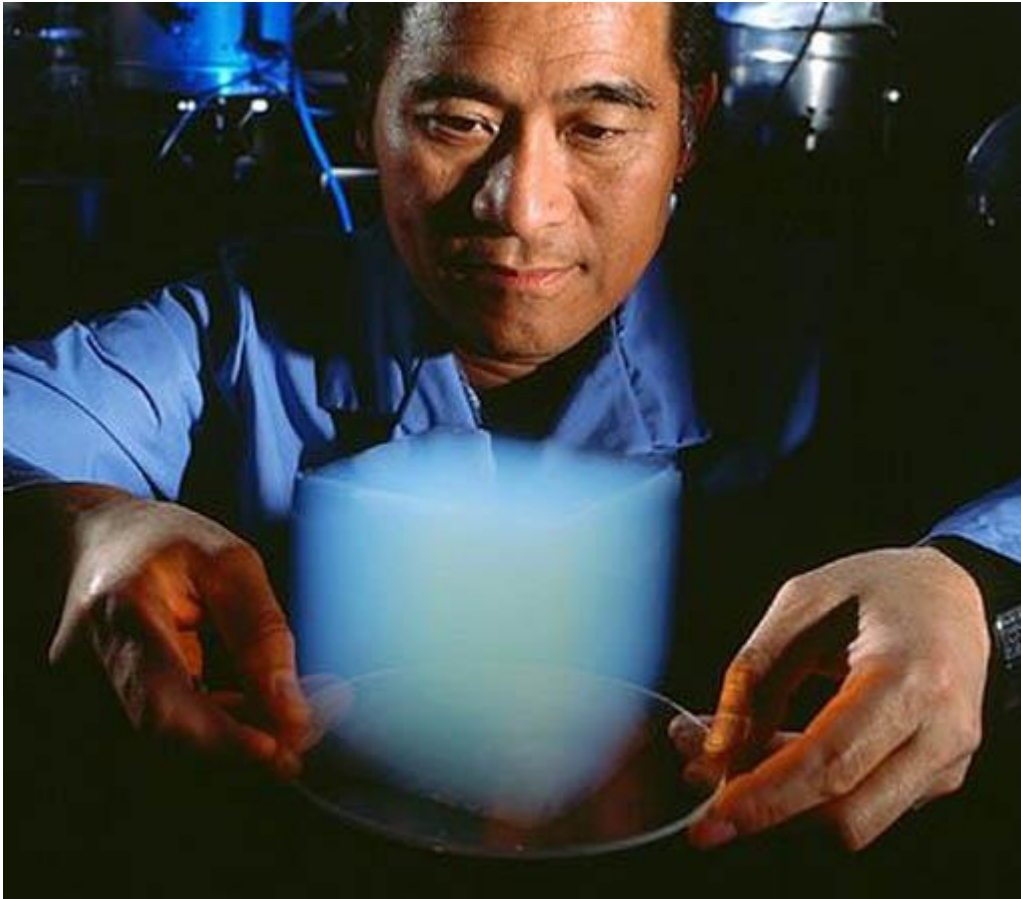
Obrázek č. 27: Nejen Natalie Moresmuová, ale i Tomáš Berdych a další sportovci používají
náradí s aerogely



Obrázek č. 28 : Zjednodušené schéma přípravy aerogelu s magnetickými nanočásticemi



Obrázek č. 29 : Lapač prachu vyrobený z aero gelu, kterým byla vybavena sonda Stardust
<http://apod.nasa.gov/apod/ap990218.html>



Obrázek č.30: Překvapení ve formě krátkého videa

<http://www.youtube.com/watch?v=kHnen2nSmDY>

pokud chcete experimentovat pak hledejte

<http://www.youtube.com/watch?NR=1&v=X24np30GS2o&feature=fvwp>