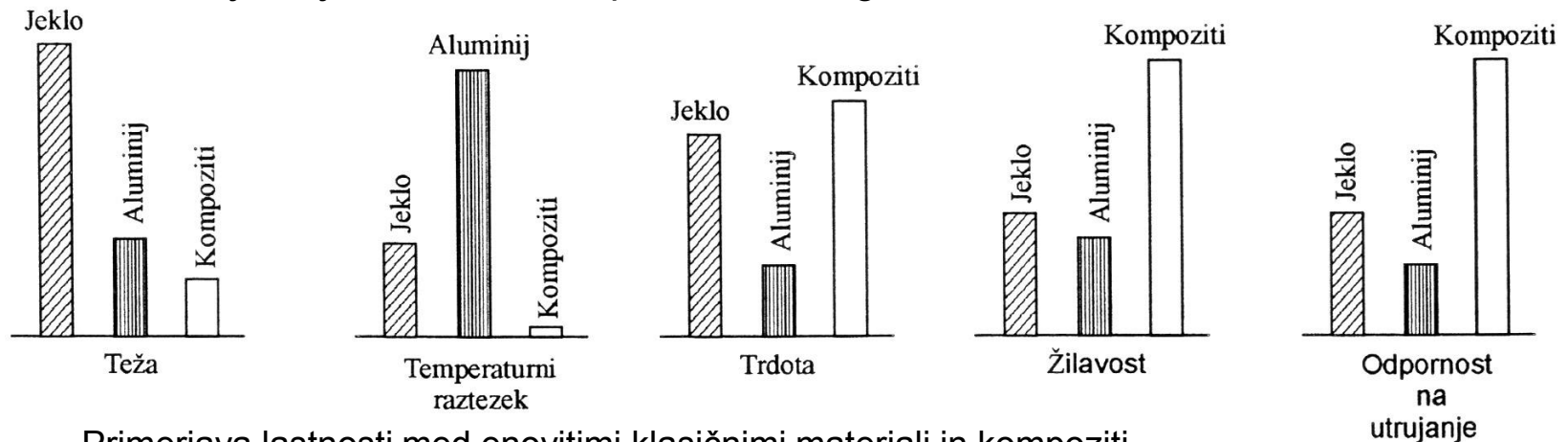


KOMPOZITNI MATERIALI

Uvod

- Kompozitni materiali so sodobni materiali, ki so sestavljeni iz dveh ali več različnih materialov na makroskopskem nivoju;
- Vsak kompozitni material je sestavljen iz osnove ali matice ter utrjevalne faze ali tudi ojačilnega elementa;
- Velika prednost kompozitnih materialov je, da lahko njihove lastnosti načrtujemo vnaprej;
- Lastnosti so predvsem odvisne od izbire matice in utrjevalne faze, oblike, orientacije utrjevalne faze ter prostorninskega deleža faz;



- V zadnjem času kompozitni materiali dobivajo velik pomen, saj so postali nepogrešljivi v vesoljski, letalski in vojaški tehniki. Močno pa so se tudi že uveljavili v potrošniški industriji (avtomobilska, športni rekviziti,...)



- Nek material lahko prištevamo med kompozite, če izpolnjuje naslednje pogoje:
 - ni naravna tvorba
 - sestavljen je iz več sestavin, ki so med seboj jasno razmejene
 - posamezne sestavne dele ločimo s prostim očesom
 - njegove lastnosti se razlikujejo od lastnosti sestavnih delov
 - ena sestavina mora biti zvezna (osnova), druga sestavina pa prekinjena in razdeljena (utrijevalna faza ali armatura)

- Kompozite delimo glede na material osnove na:
 - Kovinske kompozite (MMCs)
 - Keramične kompozite (CMCs)
 - Polimerne kompozite (PMCs)
- Glede na obliko utrjevalne faze pa delimo kompozite na:
 - Kompozite, utrjene z delci
 - Kompozite, utrjene s kosmiči
 - Kompozite, utrjene z vlakni
 - Strukturne kompozite
 - Kompozite s polnili
- Kompozite pa delimo tudi glede na to, ali je utrjevalna faza usmerjena ali pa je naključno razporejena

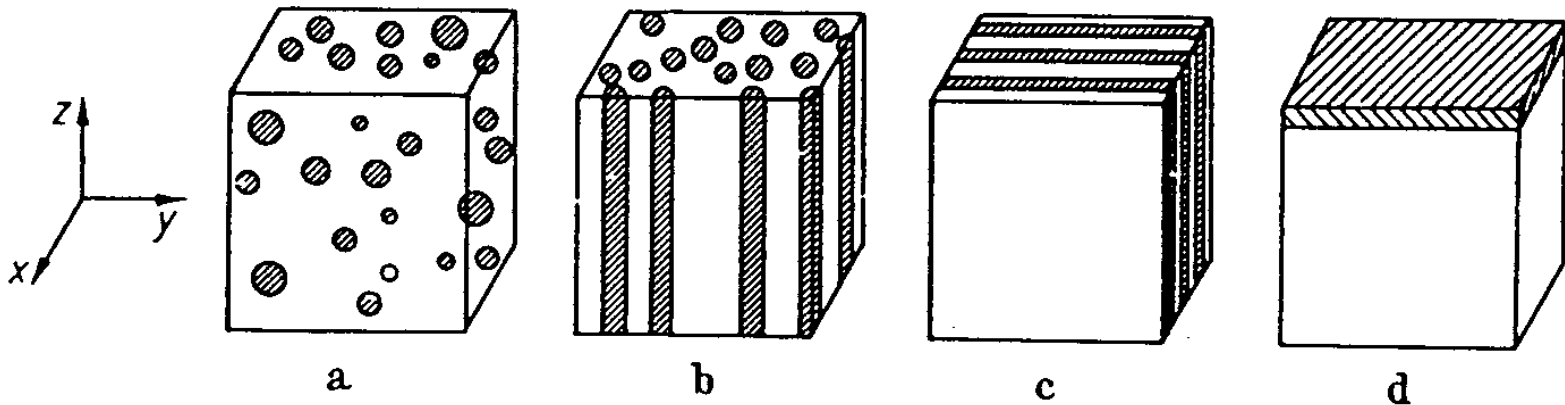
MATICA

- Daje kompozitu monolitnost;
- Prenaša obremenitve na vlakna;
- Ustavlja širjenje razpok;
- Ščiti armaturo pred okolico.

- Vrste:
 - kovinska (steklo – Si_3N_4 , TiB_2 , SiC , Al_2O_3);
 - keramična,
 - organski material.

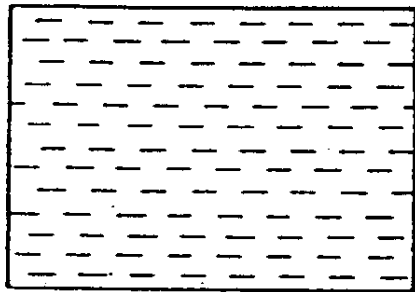
Uvod

- Razporeditev druge faze v matici:
- Slika 1: Vrste kompozitov glede na medsebojno razporeditev dveh faz a) disperzna, b) ojačana z vlakni, c) laminati, d) površinske prevleke

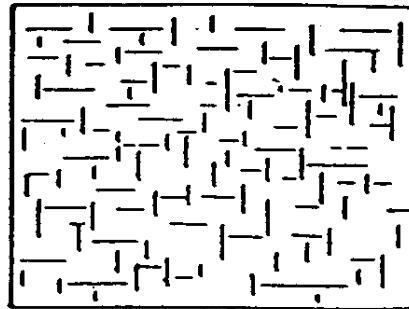


USMERITVE VLAKEN

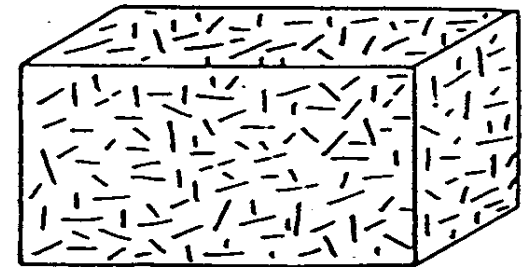
Različne usmeritve vlaken v matici!



ARMIRANJE V ENI SMERI



ARMIRANJE V DVEH SMEREH (V RAVNINI)



IZOTROPNO ARMIRANJE

Zgradba kompozitov - Osnova

- Osnova daje kompozitu obliko in monolitnost
- Zagotavlja ustrezno nosilnost – obremenitve prenaša na vlakna, zavira napredovanje razpok, utrjevalno fazo pa ponavadi ščiti pred okolico
- KOVINSKE OSNOVE:
 - Običajno imajo veliko trdnost in žilavost
 - Ponavadi želimo doseči večji modul elastičnosti, kar dosežemo z utrjanjem z vlakni
 - Večina vlaken, ki se uporabi pri tem kompozitu pa ima tudi manjšo gostoto
- KERAMIČNE OSNOVE:
 - Imajo veliko trdnost in so zelo krhke
 - Atomi so med seboj povezani z ionsko ali kovalentno kemijsko vezjo
 - So odporni proti toplotnim in mehanskim šokom, imajo majhno toplotno prevodnost
 - Natezna napetost ni velika, modul elastičnosti je velik
 - Prenášajo lahko visoke temperature (nad 1500°C) in imajo majhno gostoto
 - Z izdelavo kompozitov želimo izboljšati lomno žilavost in temperaturno stabilnost

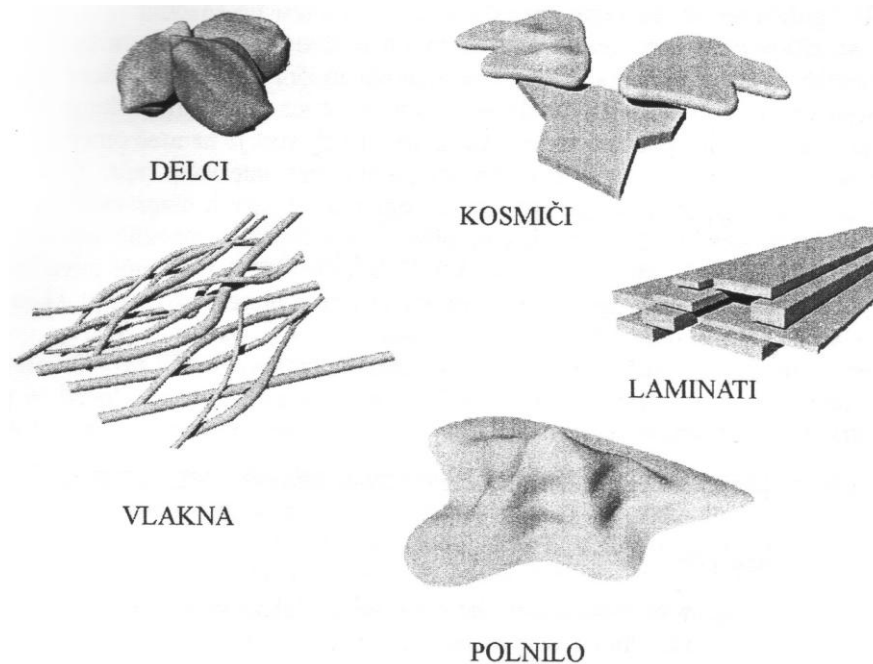
Zgradba kompozitov - Osnova

- POLIMERNE OSNOVE:
 - Imajo manjšo trdnost in modul elastičnosti kot kovinske in keramične osnove
 - Imajo zelo majhno gostoto in so dobro odporni proti kemikalijam in vodi
- Osnove iz plastomerov so žilave, iz duromerov pa krhke
- V večini slabo prevajajo toploto in električni tok
- Najpogosteje uporabljene polimerne osnove so duromeri: epoksidne smole, nenasičeni poliestri, fenolne smole, seveda pa je še kar nekaj plastomerov



Zgradba kompozitov – Utrjevalna faza

- Utrjevalna faza je nezvezna sestavina kompozita, ki izboljša mehanske lastnosti zvezne sestavine – osnove; s tem dosežemo željene lastnosti
- Utrjevalna faza je lahko amorfna ali kristalna
- Glede na obliko pa delimo utrjevalno fazo na: delce, kosmiče, vlakna, lističe ali polnila



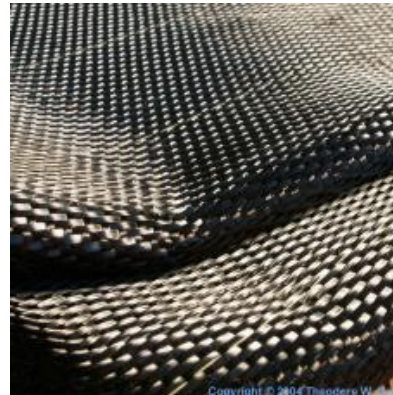
Zgradba kompozitov – Utrjevalna faza

- Kompoziti z utrjevalno fazo iz vlaken z zelo majhnim premerom imajo veliko večjo trdnost in togost kot pa material z večjimi dimenzijami
- Vzrok temu je, da imajo tanka vlakna bistveno manj napak, kot pa isti material večjih dimenzij
- Prav zaradi te lastnosti se kompoziti z vlakni veliko uporabljajo kot konstrukcijski material
- Vlakna, ki jih uporabljamo za kompozitne materiale lahko razdelimo na:
 - viskerje
 - kratka, (diskontinuirana) vlakna
 - dolga (kontinuirna) vlakna
- Viskerji so zelo tanki monokristali, ki imajo veliko razmerje dolžina/premer
- Njihova kristalna mreža vsebuje izredno majhno število napak, zato so viskerji izredno trdni
- Njihova slabost je visoka cena, kar onemogoča dostopnost
- Kratka in dolga vlakna so amorfna, lahko pa so tudi kristalna

Zgradba kompozitov – Utrjevalna faza

- Za uspešno utrditev osnove morajo imeti vlakna naslednje lastnosti:

- majhno gostoto
- velik modul elastičnosti
- veliko natezno trdnost
- majhno topnost v osnovi
- termodinamično stabilnost
- kemijsko obstojnost
- nestrupenost
- ustrezne tehnološke lastnosti

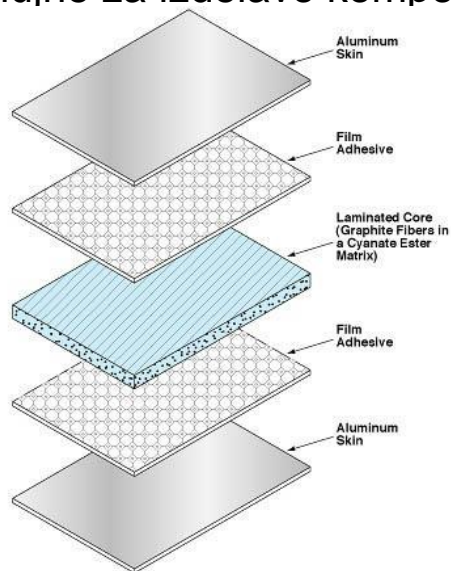


Ogljikova tkanina

- Vlakna, ki se v večini uporabljajo danes, imajo veliko trdnost in majhno gostoto, atomi v vlaknih pa so ponavadi povezani z kovalentno vezjo za zagotovitev velikega modula elastičnosti

Zgradba kompozitov – Mejne površine

- Lastnosti kompozita so odvisne od osnove, utrjevalne faze in mejnih površin, ki so med osnovo in utrjevalno fazo
- Povezava med osnovo in utrjevalno fazo je na mejni površini lahko mehanska ali kemična
- Večina kompozitnih materialov je sestavljena iz termodinamično nezdružljivih sestavin – neravnotežje je gonilo medfaznih reakcij, ki so v določenem pogledu celo nujne za izdelavo kompozita z dobrimi lastnostmi



Primer kompleksnega materiala izdelanega iz kompozitov in drugih materialov

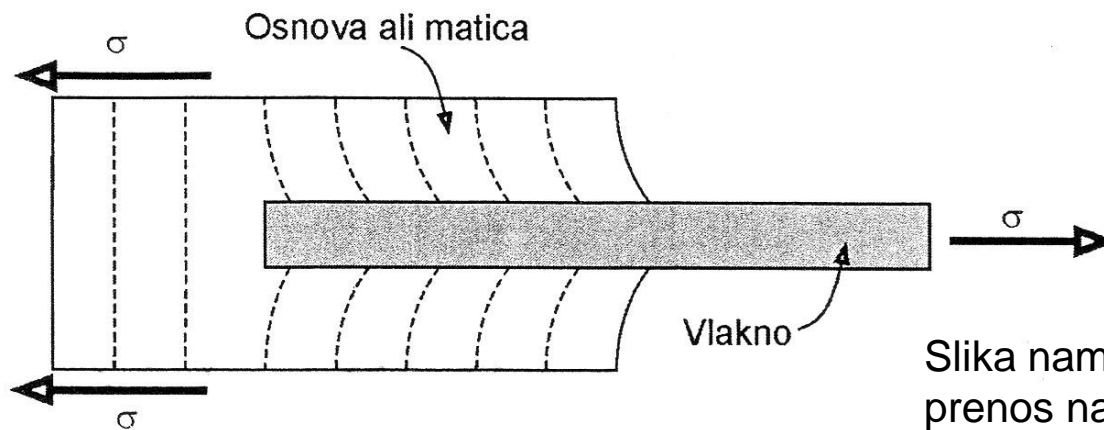
Lastnosti kompozitov

- Omenili smo že, da so lastnosti kompozitov odvisne od osnove, utrjevalne faze in mejnih površin
- Kompoziti utrjeni z velikimi delci
 - Običajno so delci enako veliki z enako obliko in so enakomerno porazdeljeni v osnovi
 - Mehanske lastnosti se z večanjem deleža polnila ponavadi izboljšujejo
 - Delce lahko dodamo zaradi: spremembe lastnosti, izboljšanja lastnosti ali pa samo, da zamenjamo material s cenejšim polnilom
- Kompoziti utrjeni z majhnimi delci
 - Ni ostre meje med kompoziti in disperzijsko utrjenimi zlitinami
 - Trdnost kompozita utrjenega z majhnimi delci je odvisna od sposobnosti teh delcev, da blokirajo drsenje dislokacij v osnovi
 - Tako torej je trdnost odvisna od velikosti, gostote delcev, od razdalje med delci in od skladnosti mejne površine s kristalno mrežo osnove

Lastnosti kompozitov

- Z vlakni utrjeni kompoziti

- Ta vrsta kompozitov je najbolj znana in se tudi veliko uporablja, saj se odlikuje z veliko trdnostjo in togostjo pri zelo majhni gostoti
- Kompozite utrjene z vlakni delimo glede na dolžino vlaken na kompozite z dolgimi vlakni ali kontinuirne kompozite in kompozite s kratkimi vlakni ali diskontinuirne kompozite
- Diskontinuirni kompoziti nimajo bistveno večje trdnosti od osnove, saj so vlakna prekratka, da bi se lahko napetosti iz osnove uspešno prenesla na njih

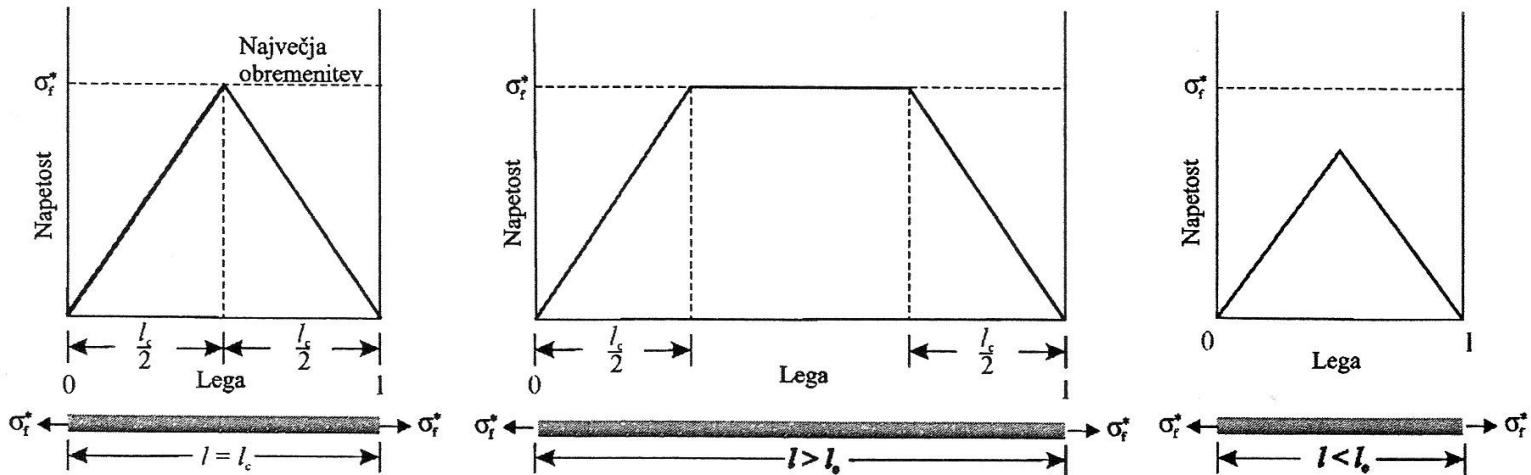


Slika nam prikazuje prenos napetosti z osnove na vlakno

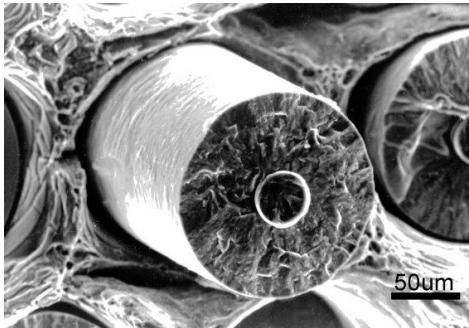
Lastnosti kompozitov

- Napetost, ki jo osnova prenese na vlakno, se povečuje z oddaljenostjo od koncev vlaken. Pri določeni vrednosti x doseže napetost največjo vrednost
- Vlakno ima kritično dolžino takrat, kadar velja $l=2x$, torej kadar je vlakno dolgo za dve vrednosti x
- Kritična dolžina vlakna pa je odvisna tudi od premera vlakna, natezne trdnosti vlaken ter od jakosti kemijske vezi. Če poznamo vse te parametre, lahko izračunamo kritično dolžino vlaken: $L_C = d \cdot \sigma_F / \sigma_C$
- Če delujemo na kompozit z napetostjo $\sigma = \sigma_F$ in je $l=L_C$, potem dosežemo največjo napetost točno na sredini vlakna
- Če je $l > L_C$ je utrjanje z vlakni še bolj uspešno, saj se poveča tisti del vlakna, ki je obremenjen z največjo napetostjo
- Kadar pa je $l < L_C$ pa je utrjanje z vlakni slabše, saj na nobenem odseku vlakna ne dosežemo napetosti σ_F
- Vlakna, ki imajo dolžino $l > 15L_C$ imenujemo zvezna (kontinuirna) vlakna, tista, ki imajo pa manjšo dolžino pa imenujemo nezvezna (diskontinuirna) vlakna
- Kompoziti z vlakni, ki so krajši od L_C , pa so po lastnostih podobni kompozitom utrjenimi z delci

Lastnosti kompozitov



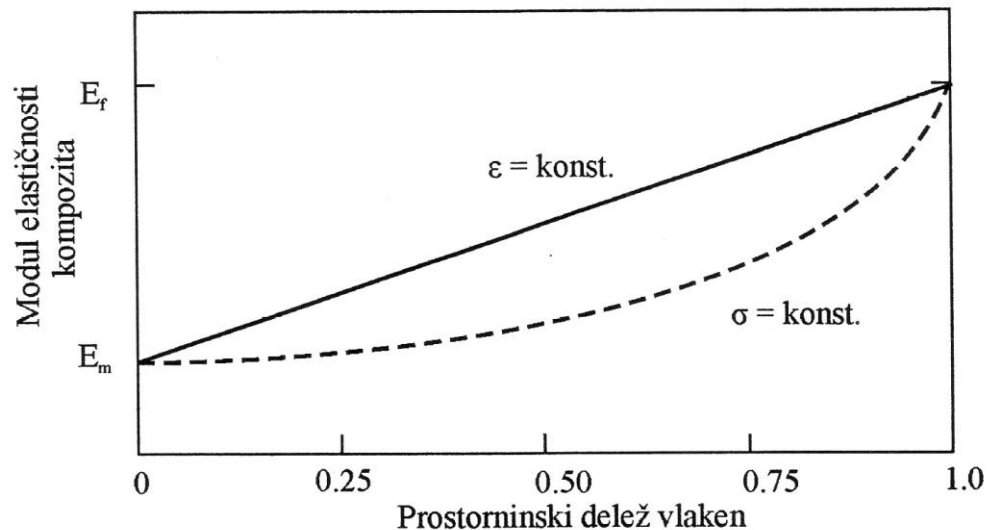
Slika nam prikazuje porazdelitev napetosti po vlaknu v odvisnosti od dolžine vlaken in jakosti kemijske vezi



Prikaz enega izmed vlaken

Lastnosti kompozitov – vpliv orientacije in deleža vlaken na mehanske lastnosti

- Zelo dobra lastnost kompozitnih materialov je, da lahko veliko lastnosti že vnaprej izračunamo



Spreminjanje modula elastičnosti kompozita utrjenega z zveznimi vlakni v odvisnosti od prostorninskega deleža vlaken pri vzdolžni (A) in prečni (B) obremenitvi

ŽELEZO BETON IN PREDNAPETI BETON

- Železo beton in prednapeti beton spadata med posebne vrste kompozitov ojačanih z vlakni. Vlakna - to so jeklene žice - so nekaj redov velikosti debelejše od tistih, ki se uporabljajo v drugih kompozitih (jeklena žica: ~10000 μm , običajna vlakna: nekaj μm).
- Natezna trdnost betona znaša le desetinko tlačne trdnosti. To pomeni, da so lahko čiste betonske konstrukcije obremenjene le s tlačnimi obremenitvami. Z vgraditvijo snovi, ki imajo dobro natezno trdnost, se uporabnost betona močno poveča. V glavnem beton ojačamo z jekleno žico. Razlogov za to je več:

ŽELEZO BETON IN PREDNAPETI BETON

- - temperaturni razteznostni koeficient je približno enak,
- - dobra oprijemljivost cementa s površino jekla,
- - beton ščiti jeklo pred korozijo.
- Zadnja točka ni vselej izpolnjena, ker je beton bolj ali manj porozen. Korodirni medij lahko skozi pore v betonu prodre do jeklenih žic in povzroči nevarno lokalno korozijo.

ŽELEZO BETON IN PREDNAPETI BETON

- V železo betonu jeklo armira beton, da lažje prenaša natezne obremenitve.
- V prednapetem betonu se jeklene žice prednapnejo.
- Običajno se uporablja žica iz patentiranega jekla. To je jeklo z osnovo iz drobnolamelnega perlita, ki je po toplotni obdelavi še hladno vlečeno.
- Napetost tečenja znaša do 2000 N/mm^2 .

ŽELEZO BETON IN PREDNAPETI BETON

- Elastični modul jekla je 215000 N/mm^2 , betona pa le $2-50 \times 10^3$. Običajno privzamemo, da je $E_j/E_b \sim 15$.
- To pomeni, da so v betonu - pri enaki deformaciji betona in jekla - 15 x manjše napetosti kot v jeklu.

ŽELEZO BETON IN PREDNAPETI BETON

- Običajno so največje dovoljene napetosti v jeklu $\sigma \leq 0,75 R_{p_{0,2}}$. Če obremenimo patentirano žico do 1500 N/mm^2 , so v betonu tlačne napetosti 100 N/mm^2 .
- Tako morajo zunanje natezne napetosti preseči 100 N/mm^2 , da se v betonu pojavijo natezne obremenitve.

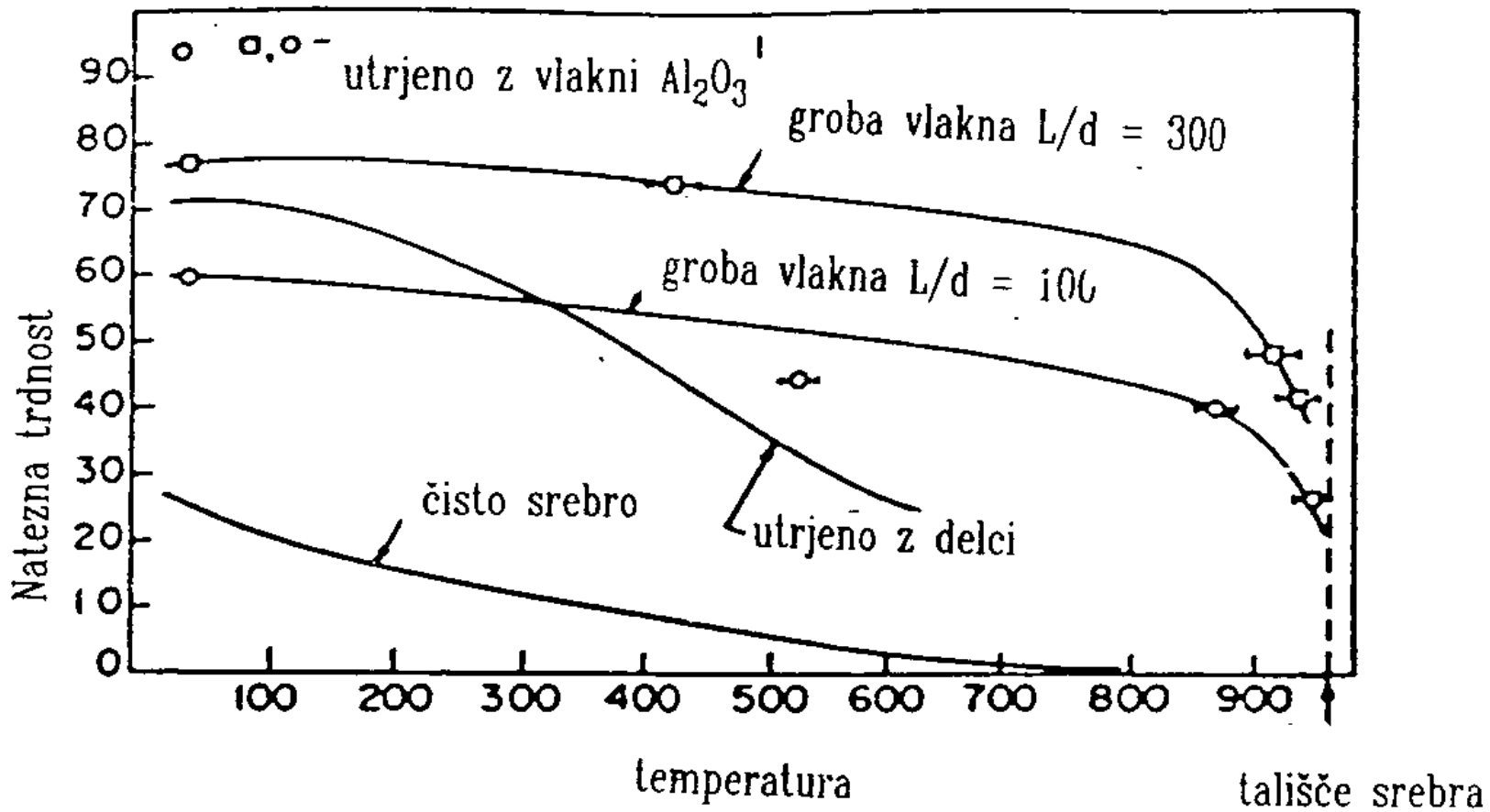
Utrjeno srebro

- Srebro se zaradi svoje odlične toplotne in električne prevodnosti uporablja kot kontaktni material v električnih kontaktih.
- Srebro ima majhno trdnost, ki s temperaturo zelo hitro pojema.

Utrjeno srebro

- Električni kontakti se med uporabo segrevajo, zato se zahteva ustrezna trdnost tudi pri povišanih temperaturah.
- Na sliki ki sledi je prikazano, kako vpliva dodatek Al_2O_3 na trdnostne lastnosti srebra.
- Največja trdnost in temperaturna stabilnost se dosežeta, ko je razmerje L/d največje.

Slika 3: Utrjevanje srebrove matice z Al_2O_3 .



Primeri uporabe kompozitnih materialov



Čelade za profesionalce:
Izredno lahke, a trpežne



Kolo narejeno iz ogljikovih
vlakn (tkanine) in
epoksidne smole



Armiran beton vzdrži
večje obremenitve kot
navaden



Za zagotovitev nizke mase se v
avtomobilski industriji poslužujejo
kompozitnih materialov



Večina današnjih jadralnih letal in tudi
drugih letalnih naprav ima veliko
materialov prav iz kompozitov