

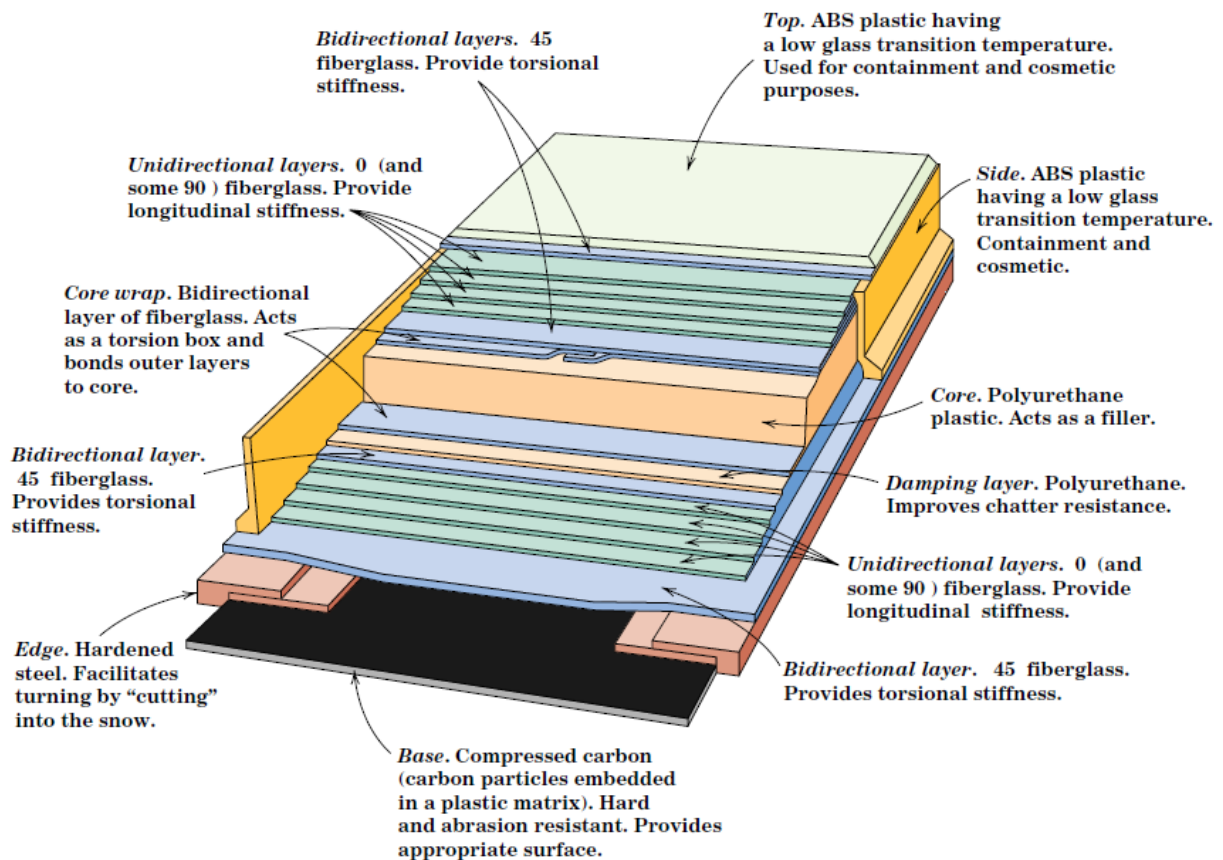
1 KOMPOZITNI MATERIALI

Definicija: kompozita:

- je mešanica vsaj dveh različnih sestavin ali faz,
- so homogeni v makroskopskem in heterogeni v mikroskopskem merilu,
- delež, oblika, in razdelitev sestavin so vnaprej načrtovani,
- niso naravne tvorbe, pač pa delo človeških rok.
- posamezne sestavine mora biti vsaj 5 %.

Izjeme, ki jih med kompozitne materiale ne uvrščamo:

- Četudi imajo posamezne sestavine bistveno različne lastnosti, tako, da ima kompozit bistveno drugačne lastnosti od posameznih faz, umetne snovi z dodatki proti UV ne štejemo med kompozitne materiale.
- Umetne kompozite izdelujemo z namenskim dodajanjem in mešanjem sestavin, dvofazne zlitine nastale iz homogene taline ali po toplotnih obdelavah ne uvrščamo med kompozitne materiale.



Slika 1: Primer sestave deske iz različnih materialov, vsak s svojim namenom.

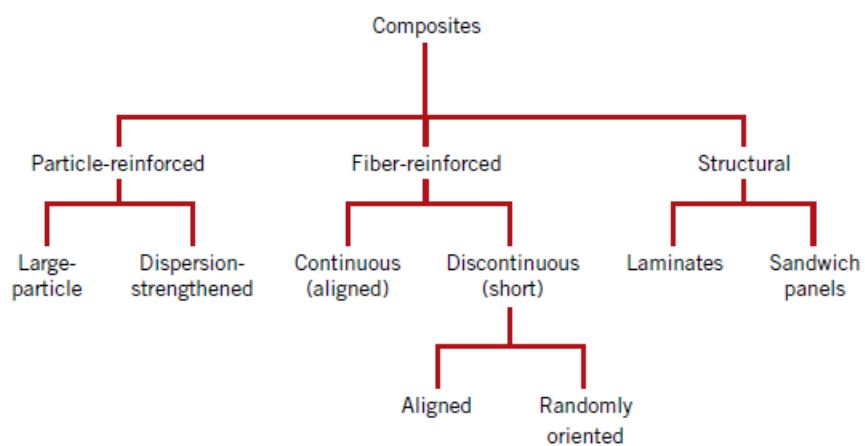
1.1 Armatura delitev kompozitnih materialov

Kompozit je sestavljen iz osnovnega materiala (matrice), ki prenaša tlačne obremenitve, in armaturnih vlaken, ki prenašajo natezne sile. Vlakna so vgrajena v matrico in izboljšajo trdnost ter togost kompozita.

Glede na obliko armature ločimo kompozite z matrico, ki je ojačana z:

- delci ali
- z vlakni.

Poleg le teh, pa poznamo še kompozitne materiale s strukturirano teksturo.



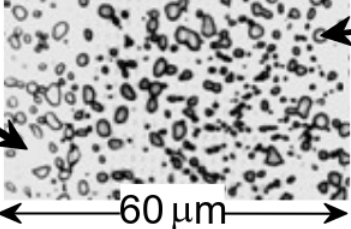
Slika 2: Delitev kompozitnih materialov.

1.1.1 Ojačitve z delci

• Examples:

- Spheroidite steel

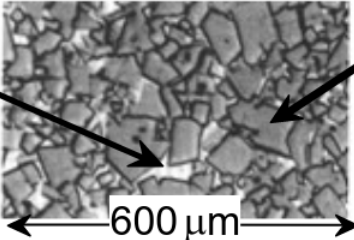
matrix:
ferrite (α)
(ductile)



particles:
cementite
(Fe_3C)
(brittle)

- WC/Co cemented carbide

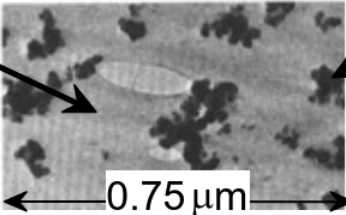
matrix:
cobalt
(ductile)
 V_m :
10-15 vol%!



particles:
WC
(brittle,
hard)

- Automobile tires

matrix:
rubber
(compliant)



particles:
C
(stiffer)

Slika 3: Uporaba ojačitve kompozitnih materialov z delci.

Ojačitve z mikroskopsko-majhnimi delci:

- preprečujejo plastično deformacijo (kovin)

Ojačitve z večjimi delci:

- izkoriščamo večjo trdoto armiranega materiala



Slika 4: Uporaba kompozitnih materialov, ki so ojačani z delci.

Najpomembnejša in najbolj znana uporaba kompozitov, ojačanih z delci, je volframov karbid (WC). To je vrsta cementiranega karbida, pri katerem je volframov karbid v kobaltovem vezivu. Tu je kobaltovo vezivo matrična faza, delci volframovega karbida pa ojačitve delcev.

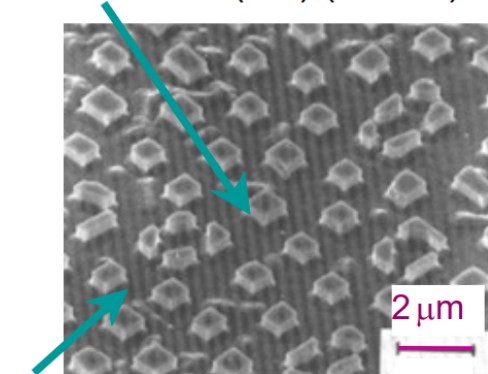
1.1.2 Ojačitve z vlakni

- relativno enostavno lahko načrtujemo elastičnosti modul (E) v smeri vlaken
- materiali so anizotropični:
 - različne fizikalne lastnosti v različnih smereh pri usmerjenih vlaknih
 - primer: armiran beton (npr.: ne smemo spremeniti balkona v ploščad)
- ali izotropični:
 - pri naključno razporejenih vlaknih (npr.: vlakna za beton)

Glede na usmeritev vlaken ločimo:

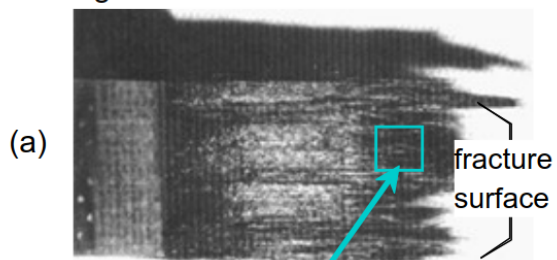
- usmerjena vlakna
- **Aligned Continuous fibers**
- **Examples:**
 - **Metal:** $\gamma'(\text{Ni}_3\text{Al})$ - $\alpha(\text{Mo})$ by eutectic solidification.

matrix: $\alpha(\text{Mo})$ (ductile)



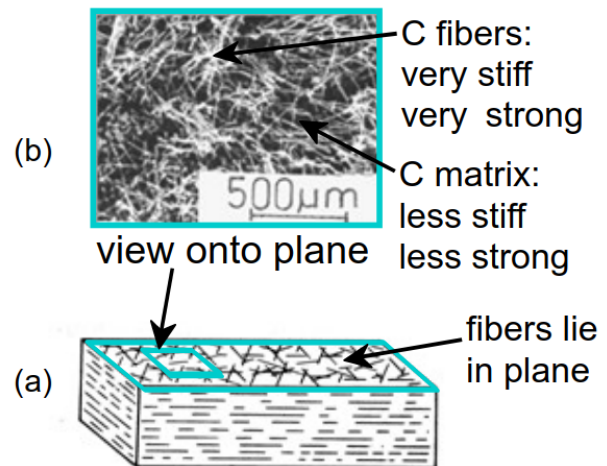
fibers: $\gamma'(\text{Ni}_3\text{Al})$ (brittle)

- **Ceramic:** Glass w/ SiC fibers formed by glass slurry
 $E_{\text{glass}} = 76 \text{ GPa}$; $E_{\text{SiC}} = 400 \text{ GPa}$.



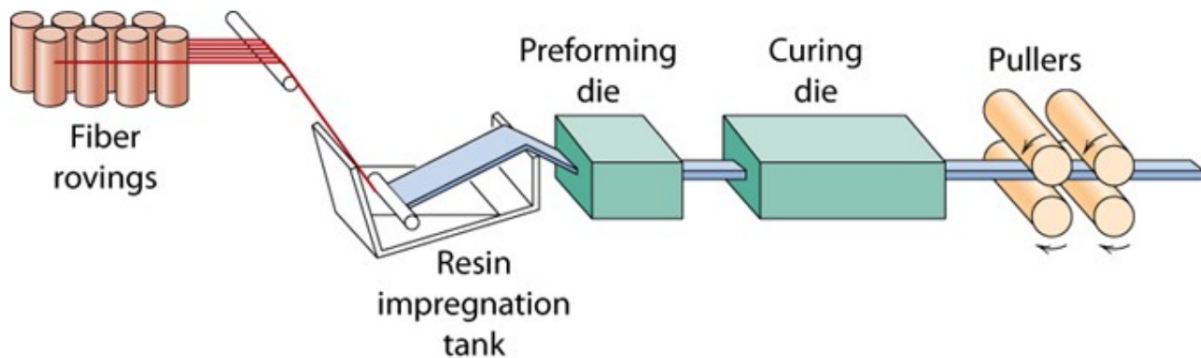
Slika 5: Prikaz različnih kompozitnih materialov z usmerjenimi vlakni.

- naključno postavljena vlakna
- **Discontinuous, random 2D fibers**
- **Example: Carbon-Carbon**
 - process: fiber/pitch, then burn out at up to 2500 C.
 - uses: disk brakes, gas turbine exhaust flaps, nose cones.
- Other variations:
 - **Discontinuous, random 3D**
 - **Discontinuous, 1D**

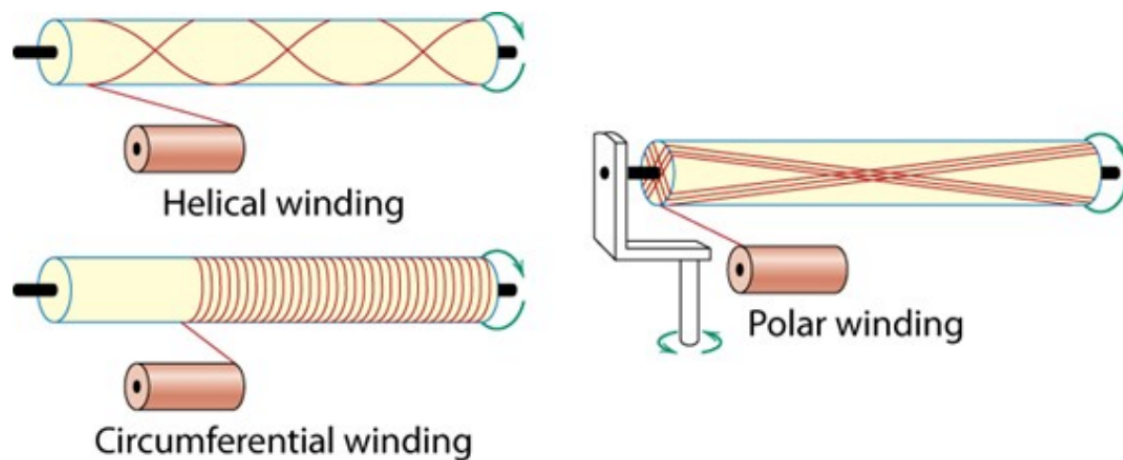


Slika 6: Primer kompozita, ki je sestavljen iz naključnih ogljikovih vlakev v matrici iz ogljika in silicijevega karbida (zavorni diski pri športnih avtomobilih).

- neskončna usmerjena vlakna



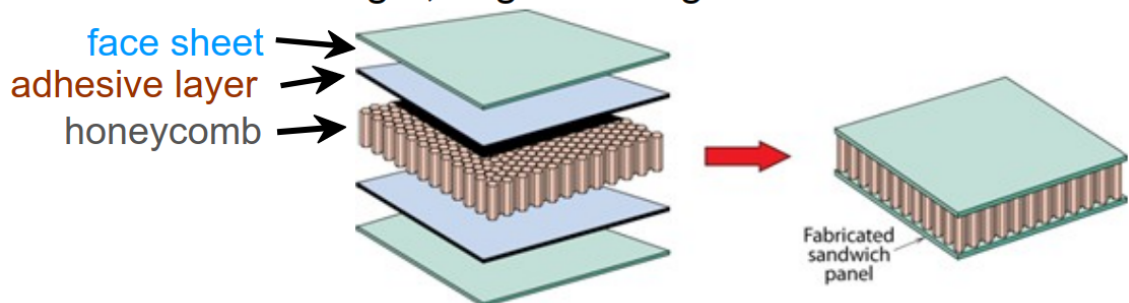
Slika 7: Primer postavitve industrijskega obrata za nanos neskončnih vlaken.



Slika 8: Primer ojačevanja matrice z različnimi gometrijami nanosa vlaken (na primer: tlačne posode).

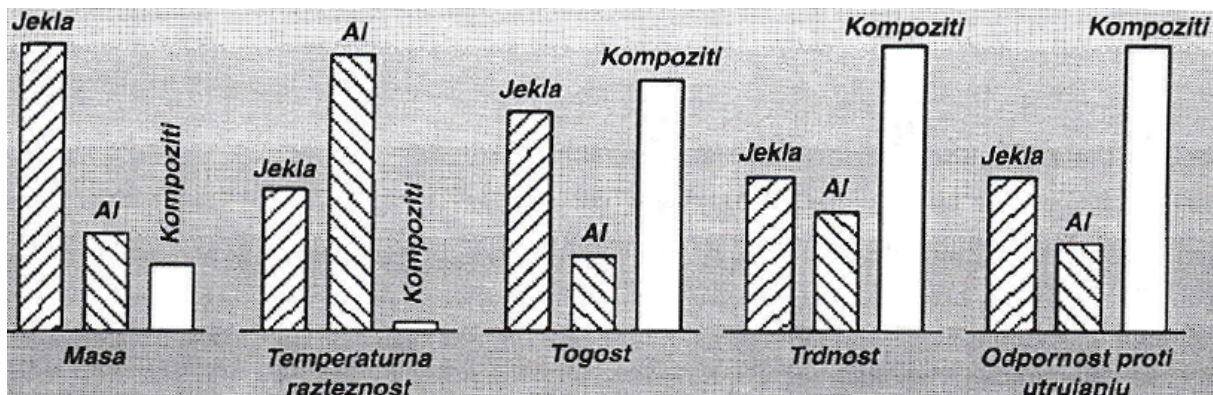
1.1.3 Strukturirani kompoziti

- med kompoziti najbolj skrbno načrtovani tehnološki postopki,
- odlično razmerje med E/ρ
- **Stacked and bonded fiber-reinforced sheets**
 - stacking sequence: e.g., $0^\circ/90^\circ$
 - benefit: balanced, in-plane stiffness
- **Sandwich panels**
 - low density, honeycomb core
 - benefit: small weight, large bending stiffness



Slika 9: Primer laminiranih kompozitnih materialov in kompozitov s “sandich” konsrukcijo.

1.2 Prednosti kompozitov



Slika 10: Prednosti kompozitnih materialov v primerjavi z nekaterimi materiali.

1.3 Sestava kompozitnih materialov

Kompozitni materiali sestojijo predvsem iz dveh osnovnih sestavin:

- iz matice (osnove) in
- armature (sestavina za povečanje mehanskih lastnosti)

Kompozitni materiali sestojijo iz 5 najbolj razširjenih osnovnih skupin glede na obliko armature:

- kompoziti z vlakni
- kompoziti z delci
- kompoziti s kosmiči
- kompoziti z laminati, lističi
- kompoziti s polnilom.

1.3.1 Vlakna v kompozitih

Vlakna, ki se uporabljajo za armiranje kompozitov, naj imajo naslednje lastnosti:

- majhno gostoto
- veliko trdnost in modul elastičnosti pri vseh delovnih temperaturah
- minimalno topnost v matrici
- kemično obstojnost
- nimajo faznih transformacij
- primerna so za tehnološke postopke

Vlakna, ki se danes uporabljajo:

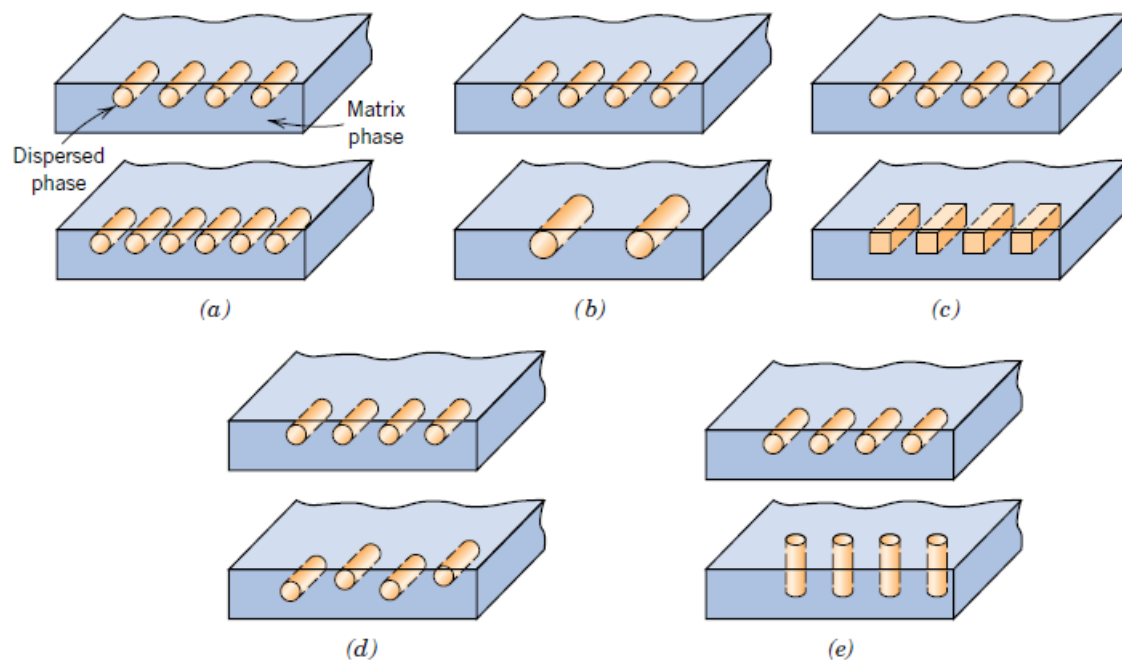
- imajo majhno gostoto,
- veliko trdnost jim zagotavlja kovalentna vez
- anizotropne mehanske lastnosti.

Najbolj uporabna vlakna so:

- steklena vlakna:
 - izdelana so iz stekel različne kemične sestave
 - 50% - 60% SiO_2 ter oksidi kalija, bora, natrija, aluminija in železa.
- ogljikova vlakna:
 - so izredno trdna, toga in lahka vlakna
 - izredno odporna na visoke temperature
- kovinska vlakna:
 - so iz volframa, berilija, molibdena in visokotrdnih ogljikovih in nerjavnih jekel

1.3.1.1 Vpliv vlaken na fizikalne lastnosti niso odvisne le od materiala iz katerega so vlakna, pač pa tudi:

- kolikošna je njihova prisotnost (delež),
- kako velika vlakna so,
- kakšno obliko imajo,
- kako so razporejeni v matrici,
- in njihova orientacija.



Schematic representations of the various geometrical and spatial characteristics of particles of the dispersed phase that may influence the properties of composites: (a) concentration, (b) size, (c) shape, (d) distribution, and (e) orientation.

Slika 11: Vpliv razporeditve vlaken na lastnosti kompozitnih materialov.

1.3.2 Matrica kompozitnega materiala

Matrica daje kompozitnemu materialu:

- obliko in
- monolitost
- določa položaj armature (vlakn)
- omogoča prenos obremenitve na vlakna, ki so vgrajena v matrico

Način povezave vlaken in matrice bistveno vpliva na:

- trdnost in
- žilavost kompozita
- togost (modul elastičnosti) se z armiranjem vlaken poveča.

Poznamo več vrst matic iz različnih materialov:

- keramične (CMC - ceramic matrix composite)
- polimerne (PMC - polymer matrix composite)

- kovinske (MMC - metal matrix composite)

1.3.3 Keramične matrice

- so trde in
- krhke (krhkost izboljšamo z vlakni)
- majhno toplotno prevodnost
- majhna natezna trdnost
- velik modul elastičnosti (ob majhnem raztezku se pojavijo velike notranje napetosti)
- manjšo gostoto (od kovin)
- odporne na zelo visoke temperature
- primer uporabe:
 - zavorni diski
 - lopatice v plinskih turbinah (reaktivni motorji)
 - toplotni ščit za vesoljska vozila
- Keramični matrični kompoziti

1.3.4 Polimerne matrice

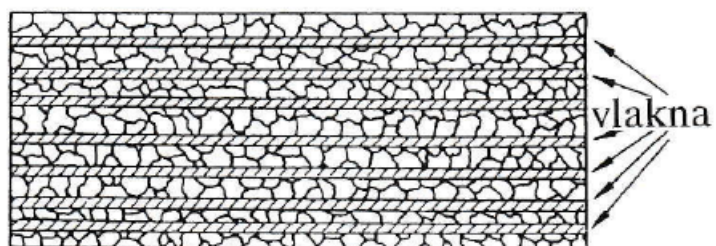
- manjša trdnost
- manjši modul elastičnosti
 - obremenitev se že ob manjših obremenitvah dobro prenaša na vlakna
- niso odporne na višje temperature
- imajo izredno nizko gostoto
- veliko žilavost
- odporne proti kemikalijam in vodi
- postopek izdelave je enostaven in
- poceni
- primer.: epoksi smole, fenolne smole...

1.3.5 Kovinske matrice

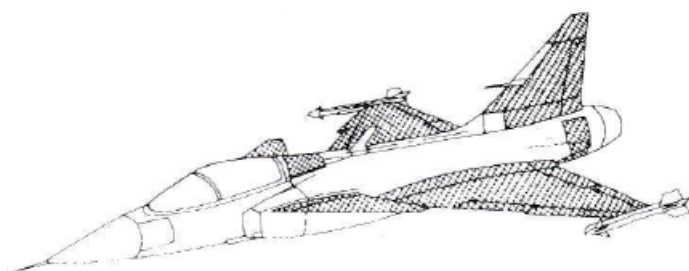
- trdne
- žilave
- togost povečamo s togimi armiranimi vlakni
 - armirana vlakna z velikim modulom elastičnosti

1.4 Primeri uporabe

1.4.1 Letalska industrija



Shematični pogled na kovinsko matrico ojačeno z močnimi neprekinjenimi vlakni.



Vlaknati kompoziti (šrafirano) se vedno več uporabljajo za izdelavo delov vojaških in civilnih letal.

Slika 12: Kompozitni materiali s kovinsko matrico v letalski industriji.