



Univerzitet u Novom Sadu  
Fakultet tehničkih nauka  
Departmanu za proizvodno mašinstvo  
[Savremene tehnologije oblikovanja plastike](#)

# **SVOJSTVA I PRIMENA PLASTIČNIH MATERIJALA**

**Prof. dr Branko Škorić**

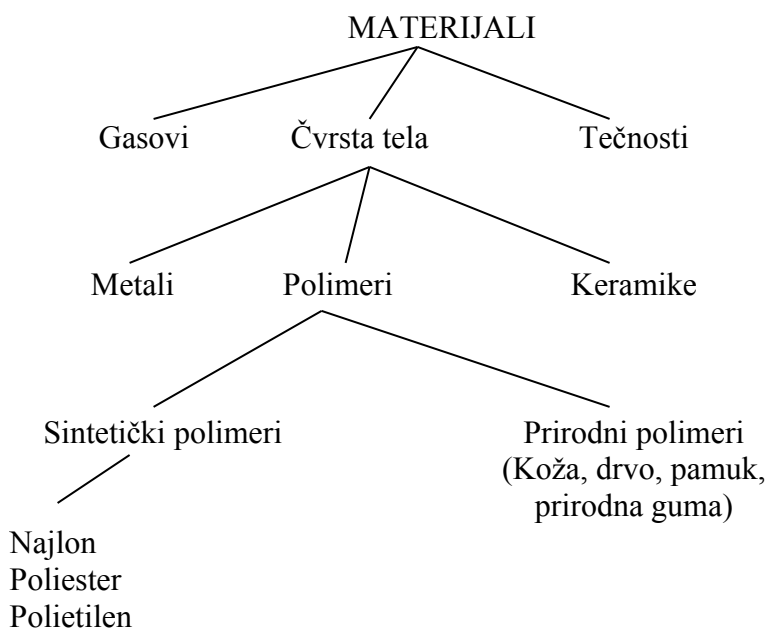
## Poglavlje I

### DEFINICIJA PLASTIKE I POLIMERA

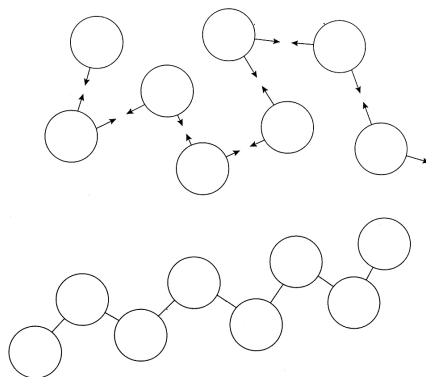
Plastika je materijal sačinjen od velikog broja molekula (polimera), koji su načinjeni ili sintetički ili su prirodnog porekla ali modifikovani.

Svi plastični materijali imaju osobinu da se na nekom nivou mogu oblikovati ili da mogu da se liju na koristan oblik.

Klasifikacija materijala:



Polimer je molekul sačinjen od malih molekula koji su međusobno povezani hemijskim vezama. (*polymer*- mnogo delova)



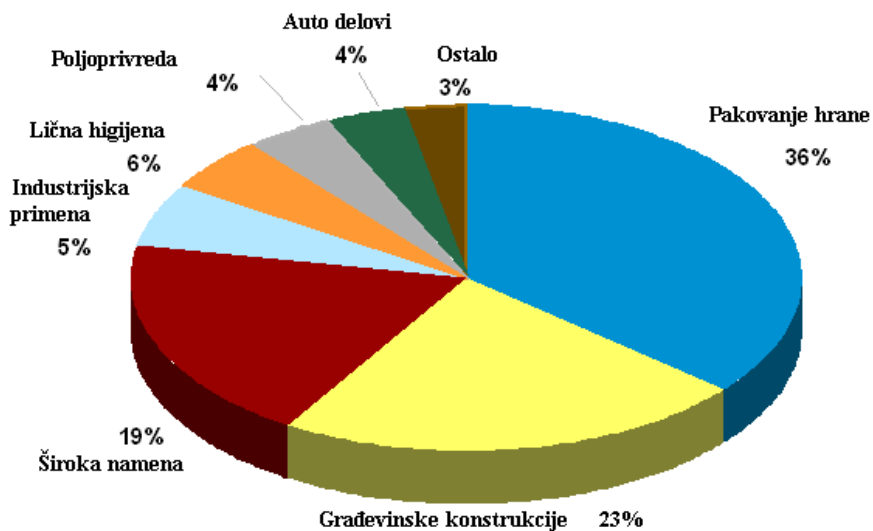
**Slika 1.1** Mali molekuli i polimerski lanac.

## MAKROSKOPSKE HEMIJSKE I FIZIČKE KARAKTERISTIKE PLASTIKE U ODNOSU NA METAL I KERAMIKU

U sledećoj tabeli su prikazane karakteristike plastičnih materijala:

KARAKTERISTIKA	PREDNOST/NEDOSTATAK
Niska temp. topljenja	Laka obrada/Niska radna temp.
Veliko izduženje	Mala krtost/Veliko puzanje
Mala gustina	Laki proizvodi/Mala čvrstoća
Mala termička provodnost	Toplotna izolacija/Slabo odvođenje toplote
Električna otpornost	Dobar el. izolator/Ne provodi struju
Optička prozornost	Providan/Degradacija na suncu
Otpornost na rastvarače	Dobro za primenu
Zapaljivost	Otpaci se spaljuju/Opasno za požar

U poslednjih nekoliko dekada plastični materijal se pridružio klasičnim materijalima kao što su metal, drvo i kamen. Proizvodnja od plastičnih materijala brzo raste, i može se očekivati da postane materijal koji se najviše koristi. Moderan život se nemože zamisliti bez plastičnog materijala a zbog svojih osobina se koristi u skoro svim sferama života.



*Slika 1.2 Primena plastike.*

## Poglavlje II

### TERMOPLASTIČNI MATERIJALI (Inženjerska plastika)

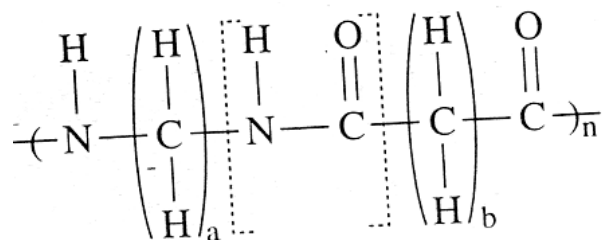
Inženjerska plastika se karakteriše njenom mogućnošću da zameni metalne delove.

Ovi materijali imaju sledeće karakteristike:

- visoka čvrstoća i krtoš, uporedivu sa većinom metala.
- zadržavanje mehaničkih osobina na visokim temperaturama (najčešće do 80°C).
- žilavost (donekle zadovoljava)
- dimenziona stabilnost na povišenim temperaturama
- otpornost na dejstvo vode, hemikalija, UV zračenja, kiseonika itd.
- dobra obradivost

#### POLIAMIDI – PA (najlon)

Poliamidi se formiraju polimerizacijom reaktanata (monomera), koji grade amidne grupe, sa vodom kao produktom. Reaktanti su acidi i amini funkcionalne grupe.

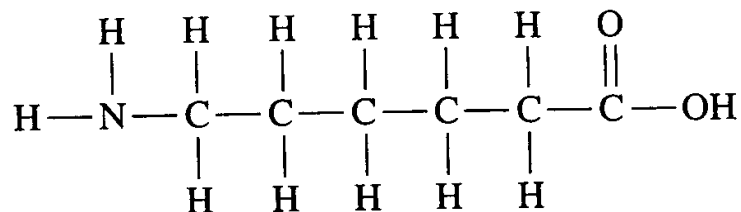


*Slika 2.1 Ponavljanje jedinica poliamida.*

#### Osobine poliamida:

Razlike između različitih tipova poliamida proističu iz različitog broja ugljenika u molekulskim sekcijama između amidnih grupa.

PA sa šest atoma ugljenika (6/6), se najviše koristi zbog svojih osobina: dovoljna elastičnost, dobra žilavost i dovoljna čvrstoća.



*Slika 2.2 Molekul ugljenika sa amino i acidnom grupom.*

Od njega se prave vlakna za izradu podnih obloga i kaiševa u teškoj industriji. Nedostatak je tendencija ka stvaranju statičkog elektriciteta, što se može sprečiti ubacivanjem metalnih vlakana.

## ARAMIDI

Materijal koji sadrži amidne grupe i između njih prstenove benzola (aromatični polimer). Poznat je kao KEVLAR<sup>®</sup>, i ranije je korišćen za izradu zaštitnih prsluka a danas se koristi komercijalno.

Nije zapaljiv, nije rastvoriv i ima visoku temperaturu topljenja.

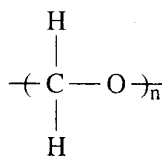
## ACETALI – POLIOKSIMETILENI (POM)

To je familija polimera, koja u odnosu na poliamide (PA) ima prednost za primenu u vodi. Imaju najveću kristalnost u celoj familiji termoplastičnih polimera.

### Karakteristike

Veliki stepen kristalnosti, ima odličnu čvrstoću, krutost, površinsku tvrdoću, otpornost na agresivne sredine. Ima slične osobine kao najlon (6/6). Ima dobru otpornost na zamor. Vrlo malo apsorbuje vodu ili vlagu i zadržava dobro dimenzionu postojanost. Jedino ima jaku reakciju sa oksidacionim reagensima.

Primena: za izradu vodo kotlića, tuševa i sl. Maksimalna radna temperatura je 100°C.

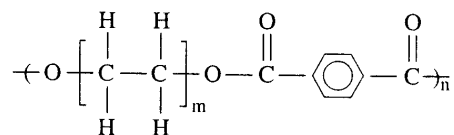


*Slika 2.3 Polioksilometilen.*

U procesu ekstruzije, ubrizgavanja ili drugog procesa proizvodnje, se zahtevaju sigurnosne mere da prostor za punjenje (*barrel*) nakon procesa ne sadrži acetal, pre isključenja mašine, da bi se osiguralo startovanje bez acetala koji može da izazove pregrevanje polimera. Takođe, može da dođe do formiranja formaldehidam, koji je otrova, i zato prostorije u kojima se radi sa polioksilometilenom moraju da imaju dobru ventilaciju. Sklonost ka kristalizaciji ometa proces ekstruzije. Homopolimeri i kopolimeri su pogodni za dalju obradu.

## TERMOPLASTIČNI POLIESTER (PET/PBT)

Polimer sa ponavljajućom jedinicom, na slici, predstavlja termoplastični poliester.



*Slika 2.4 Termoplastični poliester.*

Kada je  $m=1$ , tada je u pitanju (*polyethilen terephthalate*) – PET. Kada je  $m=2$ , tada je to PBT.

#### Karakteristike:

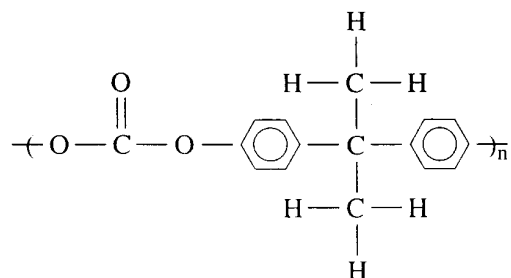
Termoplastični poliester ima najbrži rast primene od svih inženjerskih termoplastika, pre svega zbog PET ambalaža, ali i zbog drugih proizvoda kao što su kućišta pumpi, krovni prozori itd. Odlične mehaničke osobine termoplastičnog poliestera su povezane sa efektom orijentacije. Naime, molekuli su orijentisani u jednom pravcu i materijal je jači u tom pravcu. Kod izrada boca od termoplastičnog poliestera se mora voditi računa o mehaničkim osobinama. Za ojačavanje se koriste staklena vlakna, ali u tom slučaju se gubi transparentnost. Dodavanjem aditiva polimeru može se kontrolisati površinska hrapavost.

Termoplastični poliesteri absorbuju vlagu i zato se od njih ne prave delovi za električne uređaje, utikače, konektore, prekidače itd. Koristi se u tekstilnoj industriji, može da se kombinuje sa vunom i pamukom. Vlakna napravljena od poliestera se koriste u izradi pneumatika, remena za konvejjere itd. Takođe se koristi za izradu magnetnih traka, osnova za fotografski film i za sterilisana pakovanja u medicini.

Istopljeni termoplastični poliester ima srednji viskozitet u odnosu na druge inženjerske termoplastike. Ima slabu otpornost prema ugljen dioksidu.

### **POLIKARBONATI (PC)**

Polikarbonati se formiraju pri kondenzaciji i polimerizaciji, što rezultira karbonatom, tj. ugljenikom povezanim sa tri kiseonika.



**Slika 2.5** Polikarbonat.

Polikarbonat je nekrystal i zbog toga je proziran. Posедуje veliku otpornost ka intermolekularnim kretanjima, što je neophodno za visoku čvrstoću. Temperatura topljenja i upotrebna temperatura su nešto više, može da se koristi do 135°C. Imaju visoku optičku prozornost i žilavost i zbog toga se primenjuju tamo gde je temperatura problem.

Polikarbonati imaju dobru otpornost na puzanje, dimenziono su stabilni. Primena je za izradu malih kućnih aparata, fenova za kosu itd. Koriste se za izradu neprobojnih prozora, kompak diskova (prevlači se prevlakom da bi se smanjilo zaparavanje), mikrotalasnih pećnica, cevastih veza u medicini.

PC je osetljiv na UV zračenja i postaje vremenom žut uz lošije mehaničke osobine. Visoka temperatura topljenja je donekle problem u proizvodnji. Polikarbonati se mogu ubrizgavati, ekstrudirati termoformirati i strukturalno formirati. Kada zamenjuje metal mora se ojačati sa metalnim vlaknima.

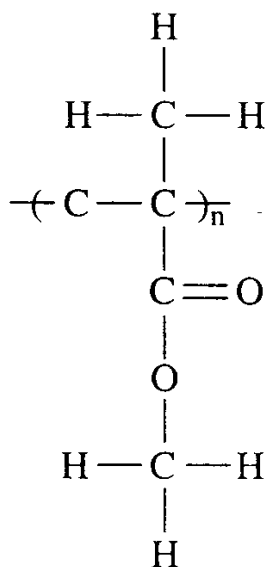
**AKRILI (PAN, PMMA)**

Akrilna grupa se koristi u dva oblika pri formiranju akrila:

- mešanjem (*polyacrylonitrile*) sa drugom materijom kao vlakno (PAN)
- kao osnova za livenje (PMMA)

Kada je vlaknast naziva se akril, ima veliku krutost i lako se boji. Koristi se za izradu tepiha (podnih obloga). PAN se koristi i kao osnova za izradu karbonskih vlakana za kompozitne materijale. Koristi se za izradu prozora kod aviona i helikoptera.

Liveni oblik (PMMA – *polymethylmetacrylate*), je poznat kao PLEXIGLAS. Najvažnija osobina PMMA je optička prozračnost.



**Slika 2.6** Polimetilmetakrilat (PMMA)

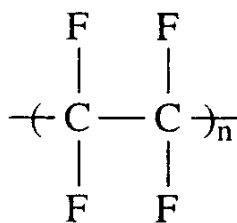
Ova plastika ima 92% prozračnost, najveću od svih plastika. Ima najmanju UV osetljivost i nisku osetljivost na oksidaciju i vremenske prilike. Sa dodatkom *acrylic* sirupa, koristi se za izradu elemenata za kupatila i kuhinje a može i za umetnička dela (vaze, satovi, ...).

**FLUOROPOLIMERI (PTFE, FEP, PEA)**

Njihova primena se ne zasniva na mehaničkim osobinama, nego na fizičkim i hemijskim osobinama. Najvažniji fluropolimer je politetrafluoretilen, čije zaštićeno ime je TEFLON®.

Karakteristike:

Fluor je elektro negativan element, i elektroni oko njega grade stabilne veze sa malom hemijskom reaktivnošću, tako da spada u grupu tzv. nelepljivih materijala. Zbog toga se koristi za izradu medicinskih uređaja, industrijske točkice (kod štampanja), aparata za kopiranje, procesnih linija i mnogih drugih potreba u industriji.



*Slika 2.7 Politetrafluoretilen,*

Zbog svoje hemijske inertnosti koristi se i za oblaganje rezervoara, izradu cevi, kontejnera za hemikalije i za zaptivače. Pošto ima veliku električnu otpornost, koristi se i kao izolator žice.

Problem je spajanje fluoropolimera, i zato se mora prvo istopiti, ili se koristi ultra zvučno spajanje i radiofrekventno (RF) zavarivanje. Postojanje atoma fluora utiče na nezapaljivost i zato se koristi i kod osetljivih vazduhoplovnih delova. Ukoliko dođe do razlaganja, zbog fluora se stvaraju otrovni produkti. Temperatura razlaganja je relativno visoka (260°C), a to je ujedno i trajna radna temperatura.

PTFE je slučajno otkriven kao talog u buretu u kome se nalazio tetrafluoretilen. Ima najveću gustinu od svih plastičnih materijala: 2.0 – 2.3 gr/cm<sup>3</sup>. Zatezna čvrstoća je 14 – 36 MPa, manja od ostalih inženjerskih termoplastika i bliska je komercijalnim plastikama.

Ima dobru abrazivnu otpornost, pogotovo ako se ojača vlaknima. Najveći problem kod PTFE je temperatura topljenja bliska temperaturi razgradnje. Zbog toga ne može da se lije, nego se koristi proces sinterovanja. U ovom procesu se prah sipa u kalupe i drži pod pritiskom dok se vrši zagrevanje. Drugi način izrade delova je ram ekstruzija, gde se pod pritiskom i zagrevanjem propušta kroz formirač i tako nastaju kontinualni, uniformni po preseku, delovi.

*Polyhexafluoropropilen* (PHFP), je varijanta sa nižom temperaturom topljenja i lakše može da se vrši proizvodnja.

*Fluorinatedethylenpropylen* (FEP), je fluorizovani etilen propilen, fluoropolimer, koji se koristi u hemijskoj industriji, za izradu konopca za jedra, hemijski otporne kontejnere i izolaciju žice.

*Perfluoralkoxy* (PFA), može da se obrađuje procesom topljenja na 370°C.



## Poglavlje III

### TERMOPLASTIKE SA VISOKIM PERFORMANSAMA

Svi polimeri iz ove klase imaju strukturu koja sadrži prsten benzola ili neku drugu funkcionalnu grupu. Uglavnom se koriste kao osnova za kompozitne materijale. Termoplastični kompoziti konkurišu termoset kompozitima u vazduhoplovnoj industriji, u izradi sportskih rekvizita i u medicini.

#### POLIFENILENI (PPE, PPO i PPS)

Materijal je termički stabilan, otporan na vatru i sa nešto većom temperaturom topljenja. Livljivost se može povećati u polifeniloksidu (PFO) i mešanjem sa polistirenom. Koristi se za izradu propelera, kućišta pumpi, kućišta video displeja, okvira prozora, kućišta zupčanika itd. Mogu da se prevlače metalom.

#### POLIARILETER KETONI (PEEK, PEK)

U strukturi imaju prsten benzola i kiseonika, (ili ugljenika i kiseonika). Zbog ketonske grupe ima dobru udarnu čvrstoću i hemijsku postojanost i koristi se u kompozitima za vazduhoplovnu industriju.

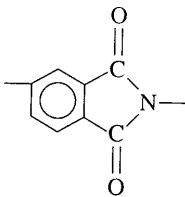
#### POLISULFONI (PSU, PSE)

Struktura polisulfona je aromatična grupa, koja ima više benzol prstenova i jednu SO<sub>2</sub> grupu. Kada je direktna veza, to je PSU a ako ima i jedan atom kiseonika, onda je to PES. SO<sub>2</sub> ima sličnu ulogu kao i ketonska grupa, da poveća krutost i čvrstoću molekula.

Polisulfoni su dimenziono stabilni i koriste se za izradu vodovodnih cevi, u automobilskoj industriji, mašine za pranje posuđa i dr. U nekim oblicima su prozirni i to na visokim temperaturama.

#### TERMOPLASTIČNI POLIMIDI (PI, PAI)

Polimidi se sastoje od: benzola i ugljenika i od azota i kiseonika. Zbog otežane promene veze imaju visoku temperaturu topljenja, visoku temperaturu primene i dimenzionu stabilnost.



*Slika 3.1 Imidna grupa.*

## **CELULOZA**

Zbog istorijskih razloga spada u grupu inženjerskih termoplastika. Dobija se od celuloze (drвета), tako što se sirova celuloza hemijski tretira u vodenom rastvoru i hemikalijama da se dobije forma polimera. Koristi se za dobijanje celofana, veštačke svile i celuloida.

Celuloza acetat (CA). Koristi se za drške alata, drške četkica, rama za naočare, patrone za mastila, folije za pakovanje.

Celuloza acetat butirejt (CAB), koristi se za izradu tastatura.

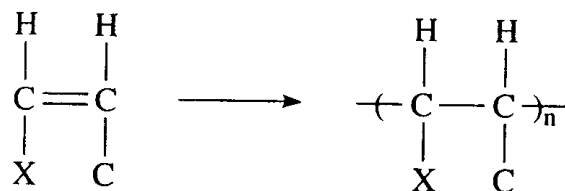
Celuloza nitrat, koristi se za izradu bilijarskih loptica.

## Poglavlje IV

### TERMOPLASTIČNI MATERIJALI (Plastike za široku primenu)

Plastični proizvodi se dobijaju dodatnom polimerizacijom, i za taj proces je neophodno da monomeri imaju dvostruku vezu ugljenik-ugljenik.

Prikaz plastičnog proizvoda:



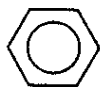
*Slika 4.1 Termoplastika za široku primenu*

x-funkcionalna grupa:

H-polietilen

CH<sub>3</sub>-polipropilen

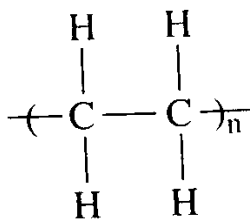
Cl-polivinilhlorid



-polistiren

### POLIETILEN (PE)

Funkcionalna grupa je vodonik.



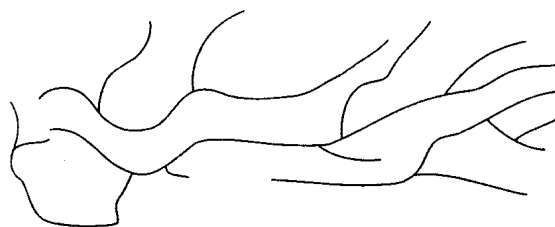
*Slika 4.2 Polimerni prikaz polietilena*

Najjednostavniji polimer sa samo dva ugljenika i četiri vodonika. PE ima veliku molekularnu težinu i relativno je neosetljiv na rastvarače, što mu omogućava primenu za izradu rezervoara i cevi. Problem je što PE ne prihvata boje. Rešavanje ovog problema je moguće primenom gorionika i električnom varnicom, odnosno promenom hemijske prirode PE.

Spajanje PE je takođe složen proces, a sastoji se iz topljenja površine i spajanja pritiskom. PE ima visoku električnu otpornost, koja proističe iz hemijske prirode PE. Takođe je dobar toplotni izolator.

Velika primena PE proističe iz niske cene proizvodnje i lake proizvodnje. PE se polimerizuje iz gasa etilena, koji se jednostavno dobija iz prirodnog gasa (metana) ili iz nafte. Temperatura procesa dobijanja PE je najniža od svih neophodnih temperatura za dobijanje termoplastičnih materijala. Komparativno, najmanje je potrebno energije za proces kalupovanja, tako da se jednostavni procesi prave bez problema (kese, folije za pakovanje, igračke, flaše za mleko itd.).

Polietilen niske gustine (LDPE). Dobija se pri visokoj temperaturi i visokom pritisku pri polimerizaciji. Formiraju se mnogobrojne dugačke grane:



*Slika 4.3 Polietilen niske gustine.*

Koristi se za izradu fleksibilnih cevi, velikih kutija i igraćaka, gde se ne traže mehaničke osobine.

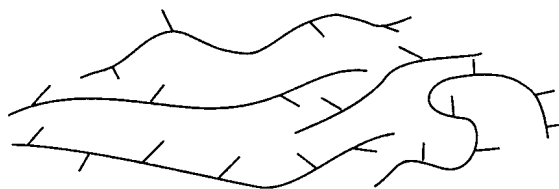
Polietilen visoke gustine (HDPE). Kada je polimerizacija na nižoj temperaturi i pritisku, tada je PE više linearan sa svega nekoliko kratkih grana:



*Slika 4.4 Polietilen visoke gustine.*

U odnosu na LDPE je krući i otporniji na abrazivno habanje. Koristi se za izradu flašica za mleko, vodu i deterdžent i to sa vrlo tankim zidovima i niskom cenom. Zbog hemijske postojanosti koristi se za izradu buradi, hemijskih spremišta, transportnih kutija i za rezervoare za goriva kod vozila.

Linearni polietilen niske gustine (LLDPE). Dobija se pri katalitičkom procesu na niskom pritisku i nastaju dugačke i mnogobrojne grane:



*Slika 4.5 Linearni polietilen niske gustine.*

Poprečni lanci su načinjeni od drugog monomera (komonomer). Komonomer mora da sadrži dublet ugljenik-ugljenik i nekoliko dodatnih ugljenika. Ovakvi organski molekuli se nazivaju  $\alpha$ -olefini. Koriste se za pakovanje hrane i kao toplotna izolacija. Povezivanje polietilena je neophodno za neke primene i ostvaruje se elektronskim zračenjem ili hemijski. Elektroni visoke energije udaraju u molekule polietilena i razbijaju vezu ugljenik-vodonik i ugljenik-ugljenik. Razdvajanjem se formiraju slobodni radikali koji reaguju sa drugim slobodnim radikalima u blizini. Na taj način nastaju veze između molekula susednih polimera.

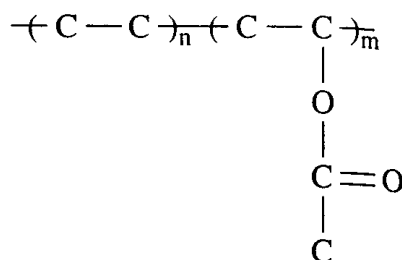
Kod hemijskog povezivanja, koristi se peroksid kao inicijator dodatne polimerizacije. Koristi se, zbog udarne žilavosti, za izradu kontejnera, buradi, posebno gde se očekuje velika hladnoća.

## POLIETILEN KOPOLIMER

Dodatnom polimerizacijom se dobijaju kopolimeri koji su nastali mešanjem više tipova monomera. Kopolimeri mogu da imaju osobine slične onim koje imaju monomeri (homopolimer), a mogu imati i osobine potpuno drugačije od monomera (komonomeri).

### Etilen vinilacetat kopolimer (EVA)

Na slici je prikazan lanac EVA.



*Slika 4.6 Etilen vinil acetat kopolimer.*

Zbog svoje hemijske reaktivnosti (lepljivosti), koristi se kao lepljiv materijal za pakovanje.

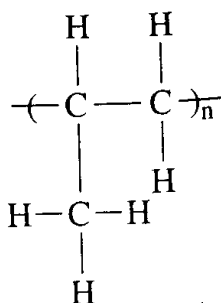
Etilen akrilik acid kopolimer (EAA). Akrilik acid je monomer koji se kopolimerizovao sa etilenom. Postoji jonska veza (jonomer), koja povećava udarnu žilavost, zateznu čvrstoću

i adhezionu otpornost. Koristi se za izradu folija za pakovanje hrane, za izradu branika i oblaganje golf loptica.

Etilen propilen kopolimer (EPM). Ima strukturu koj sprečava kristalizaciju, tako da ima dobru savitljivost i hemijsku postojanost. Koristi se za izradu O-ringa, oblaganje žica, konopcam izradu creva za šmrk, otirača itd. Praktično spada u elastomere.

## POLIPROPILEN (PP)

Dodatna grupa kod polipropilena je CH<sub>3</sub> (metil), i može da formira tri različita tipa polipropilena (stereo izomera). Osnovni ugljenik kod ovog polimera je povezan sa tri atoma ugljenika (na slici).



*Slika 4.7 Polipropilen.*

Jedan ugljenik je iz dodatne (viseće) grupe i dva su iz osnovne. Ovaj ugljenikov atom se naziva tercijarni ugljenik. Svi ostali atomi u osnovi imaju samo dva ugljenika povezana sa njima (sekundarni ugljenik). PP i PE imaju slične karakteristike i mogu se koristiti za iste namere. PP je čvršći od PE, tako da se za oblaganje žice koristi PE. PP se koristi tamo gde se zahteva otpornost na abraziju ili tvrdoća, kao što su: zupčanici, igračke, kućišta akumulatora itd.

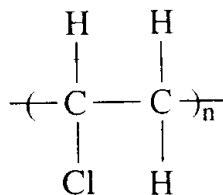
PP ima višu temperaturu topljenja i radnu temperaturu i zato se koristi za sterilizatore u medicini i mašine za pranje posuđa.

PP dobro izdržava savijanje, i zato se koristi za izradu kontejnera koji se izjedno liju sa šarkama i koje su mnogo tanje.

Niska cena i superiorna čvrstoća PP ga nameće kao materijal za inženjersku primenu. Dodatkom 30% staklenog vlakna udvostručuje zateznu čvrstoću. Dodavanjem kalcijum karbonata (30% težinskih), povećava se krutost i mnogi delovi za automobile se umesto od termoplastika prave od PP, jer tada mogu da se liju u vrlo složene oblike, pri čemu se izbegava skupljanje plastike u toku livenja a postiže se dimenziona stabilnost.

## POLIVINIL HLORID (PVC)

Vinil hlorid monomer se sastoji od dubleta ugljenik-ugljenik a kao funkcionalna grupa je "viseći" atom hlora i tri atoma vodonika.



**Slika 4.8** Polivinil hlorid.

Polimerizacija monomera se obavlja korišćenjem suspenzije. Monomer vinil hlorid (gas), je kancerogen i otrovan, i zato polimerizovani PVC nesme da sadrži monomer vinil hlorid, i u tom slučaju može da se koristi i za pakovanje hrane. Atom hlora u PVC polimeru daje osetljivost na rastvore.

Postoje dva tipa PVC-a, u zavisnosti da li je modifikovan ili nije.

1. Nemodifikovani (rigidni, čvrsti, kruti, nesavitljiv) PVC
2. Modifikovani (plastificirani) PVC

PVC, kada se zapali, proizvodi HCl gas, koji je teži od vazduha i obavija plamen, tako da se sprečava dovod kiseonika i na taj način sam gasi plamen. Zato se koristi i kao izolator na žicama.

Oba tipa PVC-a imaju osobinu da se pri zagrevanju vrši dekompozicija (razlaganje), pri čemu se izdvaja HCl gas i stvara se veza između lanaca polimera. Pri tome se menja boja PVC-a u žutu ili kasnije u braon boju. Dekompozicija se obavlja na temperaturama bliskim temperaturi topljenja. Proces dekompozicije je autokatalitički.

Istopljeni PVC ima visok viskozitet, što dalje komplikuje termičku dekompoziciju. PVC je takođe osetljiv na UV zračenje i na degradaciju oksidacijom, uz nastanak HCl, i dobijanjem žute boje.

### Nemodifikovani PVC

Kod rigidnog PVC-a je atom Cl, zbog slične veličine kao CH<sub>2</sub> grupa, dovoljan da utiče na gustinu pakovanja, što rezultuje kristalizacijom PVC-a. Ukoliko Cl i njegov polaritet utiču na intermolekularno privlačenje, što izaziva povećanje čvrstoće ali i temperature topljenja. Staklasta transformacija se dešava na temperaturi 60-80°C, i zato se koristi na sobnoj temperaturi. Koristi se tamo gde cena nije bitna, a osobine mogu da se poprave dodavanjem praha kalcijum karbonata (CaCO<sub>3</sub>). Obrada je moguća sa svim konvencionalnim postupcima i treba voditi računa da može doći do korozije alata i drugih delova zbog mogućeg prisustva HCl. Ekstrudirani PVC proizvodi su ramovi za prozore.

Dobra osobina je mogućnost lakog spajanja i nije neophodno, kao kod PE i PP, da se zagreva. Može da se spaja adhezivima. Npr. spajanje cevi i kolena se vrši tako što se premažu adhezivom i zatim se 24 sata suši.

### Modifikovani PVC

Nastaje kada se doda plasticizer u PVC i mnogo je fleksibilniji od čvrstog PVC-a. Dodatak u plastiku koji omogućava fleksibilnost i izduživanje i omekšava je hemikalija. Pri tome se razbijaju sekundarne intermolekularne veze, ali dovoljno tih veza ostaju, tako da plastika nije tečna. Plasticizeri se dodaju u PVC u vidu granula pre termičkog procesa.

Vinil mora da ima dobru fleksibilnost, da nije skup, da nije otrovan. Razvijeni su plasticizeri koji se nanose kao sprej, moraju da imaju male molekule zbog prodiranja.

Najviše se obrađuje vinil topljenjem paleta, a može da se ekstrudira u razne oblike. Proizvodi su: creva za polivanje, podni prekrivači, a ekstrudiraju se kontejneri sa šarkama. Brizganjem se proizvode jeftinije flaše, kada se traži savitljivost i prozirnost. Takođe se prave i flaše za jestivo ulje, šampone i slično. Vinil može da se koristi za pakovanje hrane, za smeštaj krvne plazme i drugih medicinskih tečnosti, tapete itd.

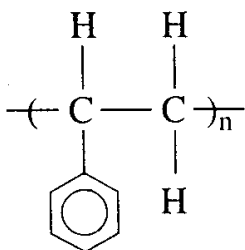
Ako se vinilu doda određen rastvor može da postane suspenzija (tečnost): plastizol i vinil disperzija. Često se ta suspenzija nanosi na metal da se spreči korozija. Vinil može biti sunderast i tada se koristi za ispunu podnih obloga.

### Vinil kopolimer

Kopolimer PVC: vinil hlorid monomer i vinil acetat monomer(85% vinil hlorid) i ima izuzetnu fleksibilnost.

## **POLISTIREN (PS)**

Stiren monomer ima dublet ugljenik-ugljenik, na koji su povezani prsten benzola i tri atoma ugljenika.



*Slika 4.9 Polistiren.*

Benzolova grupa je mnogo veća od drugih funkcionalnih grupa (vodonik, CH<sub>3</sub>, Cl). Benzolova grupa sprečava kristalizaciju, tako da je polistiren 100% amorfan, što omogućava prolaz svetlosti kroz strukturu, odnosno polistiren je transparentan i providan. Hemijske osobine PS su uslovljene prisustvom benzol, i takvi molekuli se nazivaju aromati. PS se rastvara u rastvoru hlora i na površini se javljaju bubrenja. PS je otporan na vodu i koristi se gde je to neophodno i gde se zahteva prozračnost. Pod dejstvom UV zraka i kiseonika postaje žut a i postaje podložan pucanju. Zato se koristi za kratkotrajnu upotrebu.

Danas se najviše koristi za kozmetičke flašice i kutije, šolje u avionu u slično. Temperatura omekšavanja je oko 100°C, a temperatura razlaganja oko 250°C, tako da se ne preporučuje za temperature veće od 150°C.

### Ekspandirani polistiren

Tzv. polistirenski sunder je nešto mekši i pogodan je za izradu šolja, kutija za brzu hranu, tanjire za izlete itd. Ima i dobru toplotnu izolaciju, malu težinu, dovoljnu krutost i nisku cenu.



## Poglavlje V

### LEGURE I MEŠAVINE

Velika krtoš i slaba otpornost na vremenske prilike je dovela do razvoja polimera koji sadrže PS ojačan sa nekim materijalima, tako da svaki utiče na različite osobine.

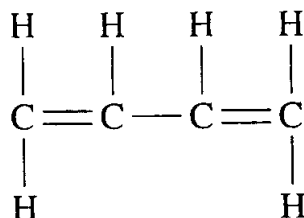
Metode ojačavanja su:

- Kopolimerizacija: kombinacija dva ili više monomera
- Legiranje: kombinacija kada je polimer već formiran i monomer u singl-fazi (homogeni polimer). Obično su hemijske veze između kombinovanog polimera. Može i metal da formira leguru.
- Mešanje: posle formiranja polimera se vrši mešanje, tako da nastanu dve ili više faza.

### VISOKO UDARNI POLISTIREN (HIPS)

Da bi se povećala udarna žilavost PS-a, mogu da se dodaju različiti elastomeri. To su:

- Butadin guma (BR)
- Kopolimeri (stiren, 20-30%, i butadin guma – SBR)
- Elastomeri utiču na fleksibilnost, mekoću i izduženje.



*Slika 5.1 Butadin monomer.*

Proizvodnja HIPS-a se obavlja uvođenjem stirena u polistiren, kombinacijom PS i gume, između dva valjka, interno mešanje ili sa ekstruderom. Udarna žilavost se povećava oko sedam puta.

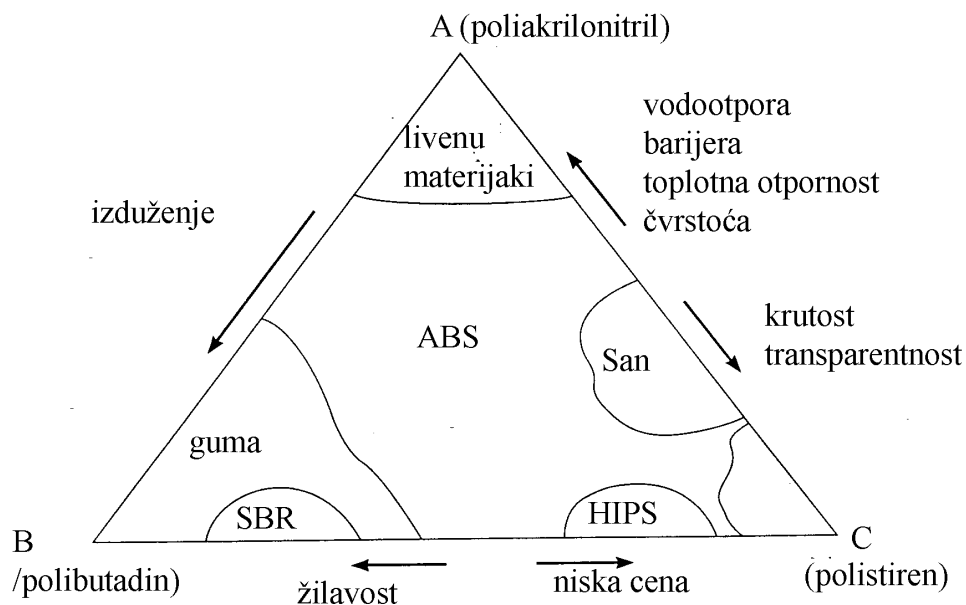
### STIREN AKRILONITRIL (SAN)

Stiren i akrilonitril monomer se kopolimerizuju i formiraju amorfni kopolimer (stiren 65%). Providan je ali postaje žut tokom vremena. Otporan je na rastvarače kao što su ulja i gasovi. Koristi se za izradu rezervoara otpornih na ulje, mašine za sudove, farmaceutske i kozmetičke industriji.

## AKRILONITRIL BUTADIN STIREN (ABS)

Razoj ABS-a je fokusiran na povećanju udarne žilavosti, uz dobru otpornost na rastvarače, sjajnost, postojanost i laku proizvodnju. ABS se dobija mešanjem stiren akrilonitrila (SAN) sa butadin akrilonitrilnom gumom.

Proizvodnja je moguća standarnim termoplastičnim metodama: ubrizgavanjem (telefoni, kacige). ekstrudiranjem (cevi). Od mekanog ABS-a se prave ramovi za slike, nameštaj itd. ABS može da se metalizira (elektro prevlačenjem), za izadu dugmića za kola, na TV-u, radiu itd.



*Slika 5.2 Prikaz promena osobina nekih polimera.*

## Poglavlje VI

### TERMOSET MATERIJALI

Termoset plastični delovi su izrađeni od polimeričkih smola koje imaju međusobnu hemijsku vezu. (reakcija povezivanja – "curing").

Reakcija povezivanja nije reverzibilna. Kod termoplastike je oblikovanje bilo praćeno zagrevanjem i hlađenjem toplog materijala a ovde je prisutna samo hemijska reakcija, i taj materijal može u kalup, može sa pritiskom a može da se tretira i sa dodatnim grejanjem. Karakteristike smola polimera koje treba da se povežu su da sadrže više reaktivnih grupa. Kada imamo dva ili više dubleta ugljenik-ugljenik u monomeru, tada može doći do povezivanja. Ova metodologija se koristi kod gume. U slučaju kondenzacione polimerizacije, svaki monomer mora da ima dve reaktivne grupe, svaki kraj molekula po jednu.

U zavisnosti od prirode reaktivnih grupa, proces povezivanja može da se odvija zajedno sa polimerizacijom ili odvojeno, Proces povezivanja je kompleksan. Materijal koji se dodaje u mešavinu termoset smola i kada počinje reakcija povezivanja se naziva "inicijator" ili učvršćivač.

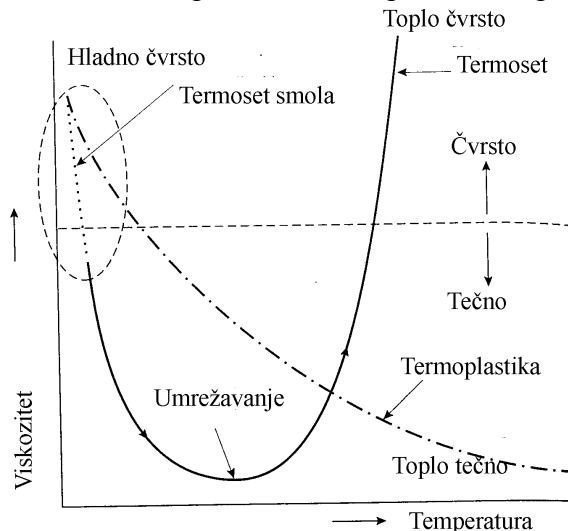
Melamin formaldehid (*melmac*), je nastao povezivanjem, na dva načina, dva monomera sa više aktivnih strana. Koristi se za izradu posuđa od plastike.

I način: Povezivanje može da ostvari povezivanjem aktivnih mesta koja nastaju na polimeru kada se formira lanac. Tada se polimeri povezuju preko svojih lanaca, a voda je niz produkt.

II način: Poliester se tako formira, kondenzacionom polimerizacijom, i zato se vrši dodatno povezivanje sa tzv. molekulima za premošćavanjem.

### VISKOZITET I TERMIČKA KONTROLA

Karakteristike viskoziteta sa promenom temperature su prikazane na slici.



**Slika 6.1** Zavisnost temperatura-viskozitet kod termosetova i termoplastike.

Kod termoplastike se ne povećava molekulaska težina a kod termosetova se povećava zbog povezivanja. Osobine termoset smola se mogu objasniti pomoću pomenutog dijagrama: na sobnoj temperaturi termoset lako prelazi iz tečnog oblika u lako topljivi čvrst oblik. Sa zagrevanjem viskozitet opada u početku, a sa daljim zagrevanjem termoseta izaziva povezivanje, što dalje povećava viskozitet. Linija čak prelazi granicu čvrsto-tečno i taj proces nije povratan.

Proces polimerizacije termoseta, tačnije period povezivanja, je praćen oslobađanjem toplote i to je egzotermni proces. Nekako je neophodno kontrolisati temperaturu da ne dođe do razgradnje i naglog širenja i skupljanja, što može da izazove pucanje komada.

Prednost termoseta je što u početku procesa može da bude tečan i tako može lakše da se meša sa bojama i dodacima.

U nekim slučajevima početna viskozitet termoset materijala je suviše niska za mešanje i tada se vrši parcijalna polimerizacija radi povećanja viskoziteta. Molekuli koji su delimično polimerizovani se nazivaju OLIGOMERI ili PREPOLIMERI. Kontrola viskoziteta termoseta može da se izvrši rastvaranjem smole u rastvaraču. Ovaj metod se koristi kod debljih komada, i problem je što rastvarač mora da se odstrani za vreme ili posle reakcije. Neki razređivači, (rektivni) učestvuju u reakciji povezivanja molekula.

## **TIPOVI TERMOSETOVA, OSOBINE I PRIMENA**

Termosetovi su uglavnom jači i krtniji od termoplastike. Udarna žilavost i čvrstoća mogu da se povećaju sa dodatnim materijalom. Otpornost na puzanje termosetova je veća nego kod termoplastike, kao i termička stabilnost i dimenziona stabilnost.

Mala viskoznost termoseta omogućava da se liju u vrlo složene kalupe, pa čak bez grejanja. Koriste se kao kompozitini materijali, sa vlaknastim ojačanjima, za izradu brodova, prekidača itd.

### **Grupe termosetova**

Fenoli: se dobijaju reakcijom fenola i formaldehida uz istovremenu polimerizaciju i povezivanje.. Materijal je izuzetno tvrd i jak.

Amino plastike: Nastaju istovremenom polimerizacijom i povezivanjem amina i formaldehida. Vrlo jak ali krt materijal.

Nezasićeni poliesteri: su polimeri sa malom molekularnom težinom koji sadrže dublet ugljenik-ugljenik, Materijal je manje čvrst od fenola i amino plastika.

Epoksidi: su polimeri sa tročlanim prstenom na kraju lanca polimera. Ovi prstenovi su aktivna mesta za stvaranje različitih hemijskih veza sa drugim polimerom. Koriste se kao adhezivi i kao smola u kompozitima.

Imidi: se povezuju kondenzacionom polimerizacijom. Imidna grupa je kao aromatična grupa ali čvršća i imaju termičku stabilnost.

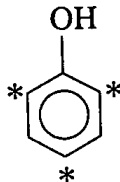
Poliuretani: nastaju reakcijom poliola i izocijanata. Reakcija je obično mešanje i formira se uretanska veza. Uretani mogu biti i termoplastike i termosetovi. Generalno je fleksibilan materijal, uz odličnu abrazionu otpornost i trajnost.

Elastomeri: materijal nastao poprečnim povezivanjem – umrežavanjem.

## FENOLI (PF)

Fenoli su prvi sintetizovani termoset materijali, poznati kao bakelit. Formiraju se kondenzacionom polimerizacijom fenol aromatičnih molekula i formaldehida.

Fenol ima tri aktivne strane:



*Slika 6.2 Fenol sa aktivnim stranama.*

Veliki broj OH grupa u polimeru daju odlične adhezivne osobine. Fenoli se koriste pri izradi šper ploča, iverica za livenja jezgra, šmirgl papira, obloga kočnica itd. Pri livenju je veliki problem adhezivna priroda fenola i teže da se zalepe za kalup. Zbog toga kalup mora da se popraska specijalnim sprejom.

Važna osobina fenola je da nije zapaljiv i da na plamenu ne gori nego se ugljeniše. Zato se mnogi delovi unutar aviona preve od fenola. takođe se primenjuju za izradu raketnih mlaznica, jer mu ne smeta ni toplota izduvnih gasova niti erozija izduvnih gasova. Zbog male toplotne provodljivosti koriste se za drške na loncima, kućišta tostera, dugmadi na aparatima. Tamna boja drški je zbog standardizacije i smanjuje dejstvo UV zračenja. Fenoli imaju osobinu električne otpornosti i koriste se za izradu prekidača, konektora, kućišta za radio aparate, kućišta za električne delove u kolima.

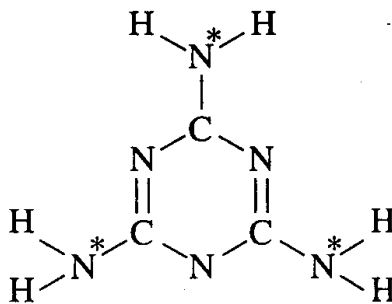
U zavisnosti od dodataka u fenolima, mogu biti osetljivi na dejstvo kiselina i baza. U procesu polimerizacije je nuz produkt voda i nju treba odstraniti. Obrada gotovih delova je otežana zbog adhezivne prirode fenola.

## AMINO PLASTIKE (UF, MF)

Ova klasa termosetova je vrlo slična sa fenolima i po osobinama i po primeni. Formira se kondenzacionom reakcijom multifunkcionalnog monomera koji sadrži amino grupu (NH<sub>2</sub>) i formaldehida. Dve najznačajnije grupe su:

- ureformaldehyd (UF)
- melamin formaldehyd (MF)

Amino plastike su tvrde i krte.



*Slika 6.3 Amino plastika polimer*

Amino plastike su jeftinije od fenola i imaju svetliju boju. Može da se doda  $\alpha$ -celuloza. Koristi se za izradu dugmića, drški, za make prozore. Osetljiva je na zaparavanje i na vlagu i postaje krta iznad 77°C.

Amino plastike su adhezivne zbog aktivnih mesta koja nastaju polimerizacijom. Zato se primnjuje za livenje kada je umetnut metal, za izradu iverica, laminatnog papira, kao i za izradu nameštaja (povezivanje).

#### Urea formaldehid (UF)

Po ceni je između fenola i melamin formaldehida. Ima dobru otpornost na ulja i maziva, dobru tvrdoću i lako se boji. Najviše se prave zatvarači za boce. Spoljna boja može da se skine pomoću spreja za peskiranje (bombardovanje malim kuglicama).

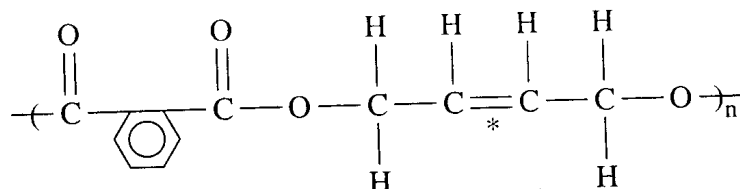
#### Melamiin formaldehid (MF)

Melamini imaju veću tvrdoću od komercijalnih plastika. Izvanredna otpornost na ulja i maziva, vodu, niska zapaljivost i prozračnost su dovele do toga da se melamin koristi kao materijal za spoljnu zaštitu ("*formica*"), odnosno za prevlačenje papira radi zaštite. Koristi se u obliku rolne, 2-4mm debljine, dužine 2m. Spajanje se vrši zagrevanjem, toplotnim topom. Primenjuje se za izradu posuda za hranu, kapsule i u automobilske industriji.

### **POLIESTER TERMOSET (TS) -Nezasićeni poliester (UP-unsaturated polyester)-**

Termoset poliesteri polimerizuju kondenzacionom reakcijom i imaju iste veze kao i termoplastike (PET), ali i određene razlika u povezivanju, što ih čini termosetovima. Imaju aktivna mesta u kojima se ponavlja polimer i omogućava umrežavanje – poprečno povezivanje. Aktivna mesta su ugljenik-ugljenik, dvostruko povezani.

Mehanizam povezivanja termoset poliester je prikazan na slici:



**Slika 6.4** Nezasićeni poliester sa aktivnim dubletom C-C.

Termoset poliesteri se povezuju dodatnom polimerizacijom, preko tzv. nezasićene veze ugljenik-ugljenik. Stvaranje slobodnih radikala je termički i vremenski aktiviran proces. Jedan atom ugljenika reaguje sa ugljenikom iz drugog dubleta, pri tome se formira slobodni radikal na preostalom ugljeniku.

#### Dodaci termoset poliesteru

Slobodni radikali mogu da se formiraju spontano, zbog suviše svetlosti, toplote i kiseonika. Zbog toga se obično materijal čuva na niskim temperaturama. Mogu se dodati inhibitori (hemikalije), koje sprečavaju formiranje slobodnih radikala. Mogu se dodati metali (kobalt, magnezijum), koji ubrzavaju proces. Usporivači i ubrzivači se dodaju odvojeno ali se smeša mora odmah koristiti jer je njihovo dejstvo kratkotrajno.

### Lameliranje smola – uslojavanje

Lameliranje smola nezasićenih poliestera se vrši sa tzv. čistim smolama, koje imaju vrlo malo dodataka. Poliesteri treba da se koriste u roku od 60 dana, i obično se ojačavaju sa vlaknastim ojačivačima i to su kompoziti. Kada se doda kao ojačanje stakleno vlakno, to je *fiberglass*, i koristi se za izradu trupa broda, tuš kabine, talasastih ploča, električnih izolatora, rezervoara pa čak i zidovi kuća. Nezasićeni poliesteri mogu da se koriste kao prevlaka za drvo, metal i druge materijale.

### Vinil ester (VE)

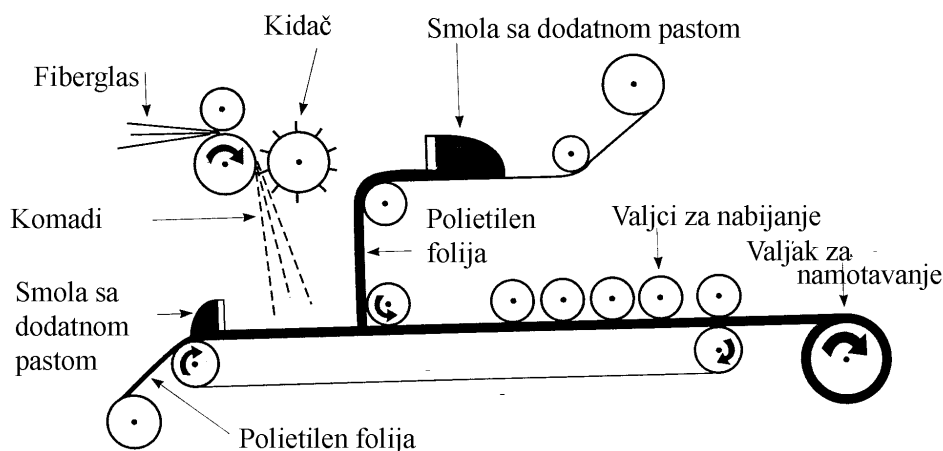
Važna klasa smola nezasićenog poliestera, poznata kao VINAS. Nešto je skuplji ali ima bolje osobine žilavosti i korozionu otpornost. Polimer između aktivnih strana vinil ester smole često nastaje iz epoksida i akrilne grupe, tako da liči na epoksid.

Koristi se za izradu cevi i reakcionih sudova, gde je važna koroziona postojanost.

### Sinteza materijala

Obavlja se mešanjem sa dodacima i ojačivačima pre upotrebe, a obično se pre toga dodaju inicijatori.

Mešanje smeše se obično vrši sa zagrejanim valjcima, kada i započinje polimerizacija. Polu čvrsti materijal se skida sa valjaka, hladi se, drobi i melje u prah za kalupovanje. Prah se obično pod pritiskom kalupuje. Smeša se naziva PREMIKS (nezasićeni poliestar, inicijator, dodaci i ojačivači). Veći delovi se prave u obliku ploče, kao na slici.

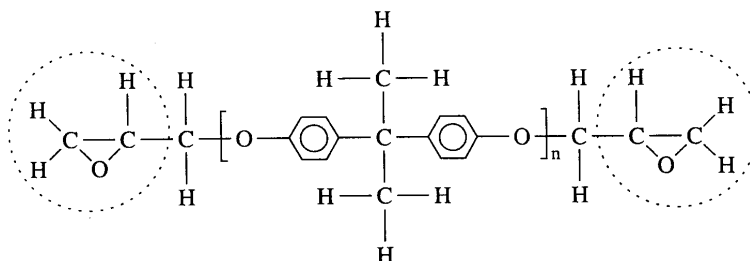


**Slika 6.5** Proces proizvodnje pločastog materijala.

Inicijatorska smola i dodaci se dodaju polietilenu koji dolazi sa valjka. Ojačivači se kidaju na deliće dužine 3-7cm, i padaju na smolastu površinu. Drugi polietilen je takođe namazan slojem smole i sa dodacima, i zatim se postavlja preko iskidanih vlakana i tako se formira sendvič struktura. Ovakav sendvič prolazi između valjaka koji mešaju vlakna sa smolom i formiraju potrebnu veličinu za pakovanje i čuvanje. Koriste se za izradu eksterijera u automobilima.

## EPOKSIDI (EP)

Karakteristika ovih smola je da imaju tročlani prsten epoksi grupe. Ta grupa nije deo polimera, nego je dodata na kraju polimera.



*Slika 6.6 Tipična epoksi smola sa dve epoksi grupe.*

Povezivanje epoksida počinje sa otvaranjem epoksi prstena sa reaktivnom grupom na kraju drugog molekula. Ključna veza je između ugljenika i azota, preko koga se povezuju dva epoksi molekula. Molekuli koji imaju reaktivne grupe se nazivaju otvrdnjivači i oni utiču, koncentracijom, na konačne osobine delova.

Kod nekih epoksida je povezivanje na sobnoj temperaturi a kod nekih je potrebno zagrevanje. Epoksidi su tvrdi i kruti. Žilavost epoksida zavisi od dužine lanaca polimera između epoksida i grupe, odnosno od gustine veze (duži-žilaviji).

Povećanje žilavosti može da se ostvari dodavanjem polimera gume, ali je sada hemijska otpornost manja. Bolji je ali skuplji je od nezasićenog poliester. Pogodan je kada je kalup od fleksibilnog materijala. Koristi se za izradu elektronskih kola. Ako se ojača sa staklastim vlaknom ili ugljeničnim vlaknima, dobija se kompozit važan u avio industriji.

## TERMOSET POLIMIDI

Koriste se u visoko temperaturnim aplikacijama, gde ne mogu da se koriste epoksidi. To su delovi kod izlaznih sekcija avionskih motora, paneli za obloge super brzih aviona i različiti mali delovi koji su izloženi temperaturama preko 150°C. Pojedini polimidi mogu da izdrže temperaturu do 315°C, pa i do 350°C. Termoset polimidi su čvrsti, jaki ali nešto krtiji materijali.

Postoje dve grupe polimida, u zavisnosti od mehanizma povezivanja:

- grupa sa mehanizmom kondenzacije
- grupa sa dvostrukom vezom ugljenik-ugljenik

Prva grupa je komplikovana za upotrebu jer se polimerizacija odvija u nekoliko faza i zahteva pažljivu kontrolu procesa i mora da se radi u vakumu da bi se odvojili projekti. Kod druge grupe nema produkata u toku povezivanja i proces je manje komplikovan. Ima slične osobine kao epoksid ali može da se koristin na višim temperaturama.

Neki termoset polimidi nisu zapaljivi i zato se koriste za enterier aviona.



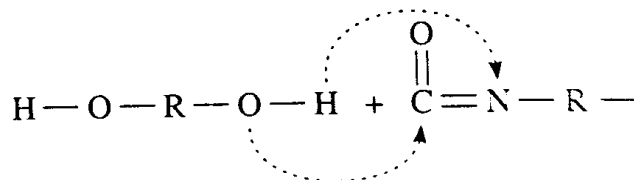
## POLIURETANI (PUR)

To je familija polimera koja može da se koristi u različitim osobinama. Može da se oblikuje kao čvrst deo, kao mekan (penast) i kao zaštitna prevlaka.

Formiranje poliuretana je slično kondenzacionoj reakciji dva monomera, gde svaki ima dve reaktivne grupe, ali se ne stvara kondenzat zbog formiranja uretanske veze. Uretanska veza nastaje iz reakcije poliola ("*polyol*"), sa isocijanatom ("*isocyanate*").

Poliol je višestruki alkohol (višestruka OH grupa).

Poliol: H-O-R-O-H, sa dve OH grupe, čija priroda nije određena i ne utiče na reakciju. Obično je aromatik. Drugi monomer je isocijanit sa NCO grupom. Molekularno pregrupisanje, kada iz poliola H ide na atom N, pri čemu se oslobađa valenca na C i vezuje se za O iz poliola.



*Slika 6.7 Osnovna reakcija pri formiranju poliuretana.*

Poluretani na bazi etera su fleksibilni i koriste se u obliku pene. Ako se koristi triisocijanit, onda se dobija dobra otpornost na vremenske uslove. Nedostatak je što ova hemikalije napada respiratorne organe i mogu biti otrovne.

Oba monomera su u tečnom stanju, kada se formira poliuretan, što uprošćuje mešanje. Proizvodnja se obavlja postupkom reakcionig ubrizgavanja (RIM), gde se obe tečne komponente pumpaju kroz komoru za mešanje ili cev a zatim ubrizgavaju u zatvorene kalupe. Kada se završi proces povezivanja, otvara se kalup i lako se vade komadi. RIM proces može da se automatizuje i tako se i proizvode delovi za automobile.

Poliuretani mogu da se oblikuju i sa tradicionalnim termoplastičnim procesima, kao što su ubrizgavanje, ekstruzija ili termosetski procesi (oblikovanje pod pritiskom). Fleksibilni penasti ( $\rho=0.016-0.19 \text{ gr/cm}^3$ ), se koristi za izradu kreveta, nameštaja, sedišta u vozilima i za pakovanje.

Čvrst oblik ( $\rho=0.08-0.24 \text{ gr/cm}^3$ ), se koristi za izradu konstrukcija, izolaciju, izradu nameštaja, pakovanje i transport.

Poliuretanska guma je čak superiornija od prirodne gume na abraziju. Od nje se prave branici na kolima i delovi sportske obuće.

Fiber-A, specijalni tip termoplastičnog poliuretanskog elastomera, ("*spandex*" – "*lycra*"). Čvrsti oblik (isocijanat) i mekani oblik (poliol), kao segmenti, se koriste za izradu kupaćih kostima, čarapa i pantalona.

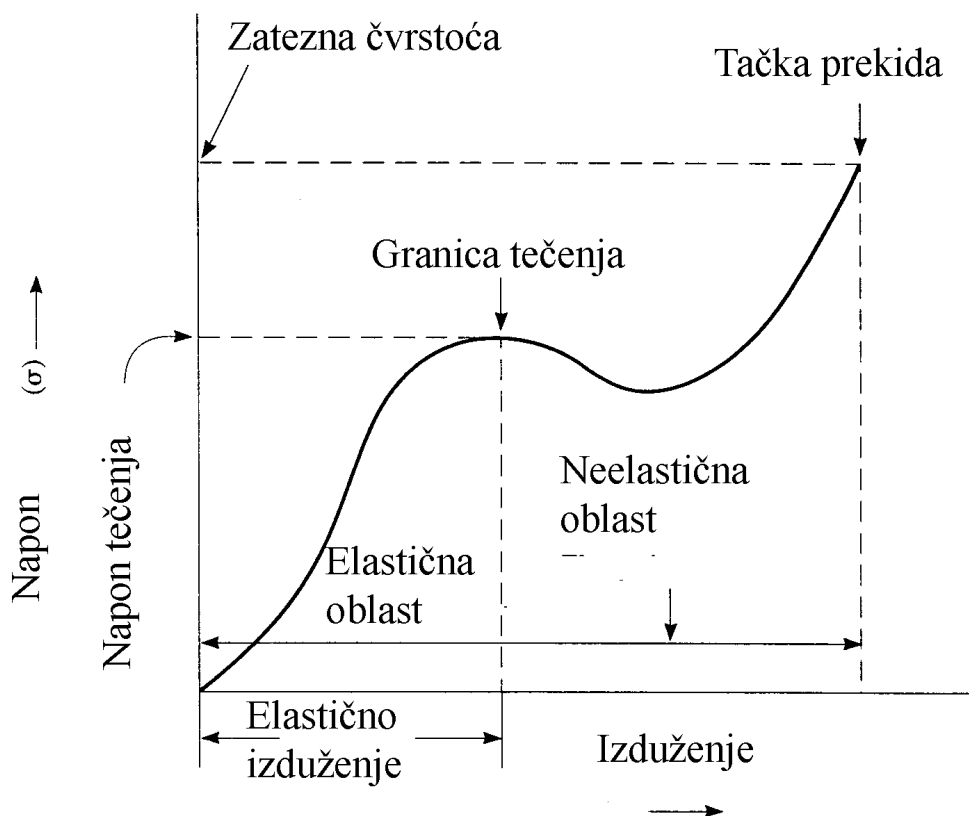
## Poglavlje VII

### ELASTOMERI (GUME)

Plastični materijali se dele na termoplastike i termosetove, na osnovu njihovih osobina na povišenim temperaturama ili na to dali postoji umrežavanje.

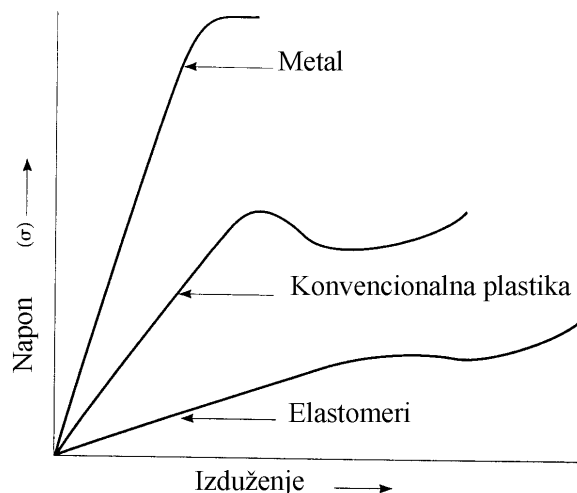
Polimeri koji imaju više od 200% elastičnih izduženja nazivaju se elastomeri. To mogu biti i termoplastike i termosetovi ali kod ovih drugih umrežavanje (poprečno povezivanje) mora da bude jako slabo.

Metali i keramike imaju elastično izduženje manje od 2% a polietilen do 50%. Visoko elastična izduženja elastomera su obično praćena sa malom čvrstoćom. Elastična izduženja su do elastičnog limita (granice tečenja).



*Slika 7.1* Dijagram napon-izduženje.

Elastomerični polimeri su više randomizirani i potpuno amorfni. Imaju fleksibilanpolimerski lanac. Kod naprezanja molekuli se relativno lako kreću.



**Slika 7.2** Zavisnost napon-izduženje za metal, konvencijalnu plastiku i elastomere.

Usled zatezanja randomizirani molekuli se izdužuju u istom pravcu, a nakon prestanka zateznog napona, vraća se prvobitni oblik strukture. Ukoliko bi došlo do klizanja molekula, prešlo bi se u neelastičnu oblast. Težnja da se materijal vrati u prvobitni oblik je zbog entropije. Bez naponsko stanje ima najveću entropiju zbog visoke randomizacije. Većina elastomera ima tzv. tranzicionu temperaturu (temperaturu ostakljivanja), iznad koje se materijal ponaša kao elastomer a ispod koje je čvrst ("*glass transition teperature*"). Za elastomer se često kaže guma, ali termin više odgovara prirodnoj gumi, tako da je guma specifičnija a elastomer generalno.

## ALIFATIČNI TERMOSET ELASTOMERA

Ovo je najveća grupa elastomera.

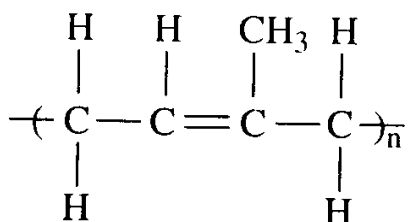
### Prirodna guma (NR)-"Natural rubber"

Istorijske činjenice ukazuju na davno poznavanje prorodne gume. U Južnoj Americi, pre dolaska Evropljana u 16 veku, koristio se SAP emulzija sa drveta (današnji lateks). Onda je naišla velika primena u Zapadnoj Evropi. Ograničavajući faktor primene je bio što prirodna guma na povišenim temperaturama postaje krta, i tako je bilo sve dok *Charles Goodyear* nije otkrio da se to može otkloniti ako se guma kuva sa sumporom, i to je proces vulkanizacije ("*Vulcan*"-Rimski bog vatre). Danas se naziva vulkaniziranje svaki proces povezivanja elastomera.

Vulkanizirana prirodna guma ima izduženje do 1000%, i ima visoku zateznu čvrstoću, otpornost na habanje i na zamor.

Ako se doda još sumpora i produži vulkaniziranje dobija se tvrda guma, sa manje od 20% izduženja.

Koristi se za izolaciju i za izradu lopti za kuglanje.



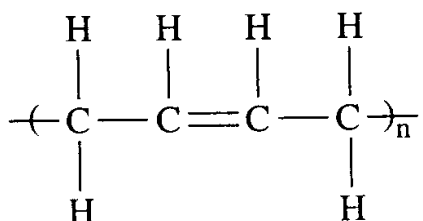
Slika 7.3 Prirodna guma

Sintetički poliisopren – isopren guma (IR)

Sintetički poliisopren je počeo da se koristi početkom 20-og veka, za izradu guma za bicikle i za vozila. Proizvodi se polimerizacijom uz katalizu.

Butadin guma (BR) i stiren butadin guma (SBR)

Ova guma je razvijena 50-ih godina prošlog veka. Struktura polimera je slična poliisoprenu, ali sa određenim razlikama. Razlika je što poliisopren ima atom vodonika i metil spojeve sa ugljenicima iz dubleta, a polibutadin ima dva atoma vodonika.



Slika 7.4 Butadin guma.

Zbog nedostataka metila, koji utiče na molekularne veze i kretanje molekula, polibutadin ima manju zateznu čvrstoću a i manje je otporan na rastvarače. Prednosti su niska cena, postojanost na niskim temperaturama, fleksibilnost, dobra adhezija na metalima.

Dodaje se drugim polimerima da bi se povećala čvrstoća. Ako se butadin monomer doda monomeru neke druge plastike dobija se kopolimer. Ako se doda polistiren, dobija se stiren butadin guma (SBR). Koristi se za izradu guma, obuće, izolaciju žica, ali je osetljiva na oksidaciju i na UV zračenje. Mogu da se dodaju fileri, koji se smeštaju između molekula. Najčešće se dodaje "crni" ugljenik (čad), radi povećanja čvrstoće.

Butadin guma (ima dve metil grupe), ima mnogo veću krutost i čvrstoću.

**ELASTOMERI OTPORNI NA ULJA**

Kopolimer: **butadin i akrilonitril**, je razvijen da zameni prirodnu gumu i reši jedan od ključnih problema a to je osetljivost na ulja. Poznat je kao **nitril butadin guma** (NBR).

NBR je mnogo skuplji od drugih guma i zato se koristi samo tamo gde se traži otpornost na ulje. Ima dobru abrazionu otpornost ali malu elastičnost na niskim

temperaturama. Tipičan primer je za vodove ulja i goriva, konopce, remenice konvejera i za prevlačenje printerskih valjaka.

Drugi polimer je **hloropren guma** (CR) ili **neopren**. Ovaj polimer ima hlor povezan sa jednim ugljenikom iz dubleta ugljenik-ugljenik. Efekat zbog prisustva hlora je otpornost na ulja, ali se povećavaju i čvrstoća i krutost i ima dobru termičku stabilnost. Vulkanizacija neoprena je otežana i koriste se metalne soli kao aditivi (MgO, ZnO). Zbog hlora je neopren nezapaljiv i zato se od njega prave madraci za brodove ali su i veoma udobni. Prave se još i creva za gorivo, čizme itd.

## TERMOPLASTIČNI ELASTOMERI (EPM, EPDM)

Termoplastični materijali koji mogu da se izduže za više od dva puta i da se brzo vrate u početnu dužinu, nakon prestanka opterećenja, nazivaju se termoplastični elastomeri. Ovi materijali nisu vulkanizirani. Oni su alifatični i nekristalni i koriste se gde je kao materijal već izabran alifatični termoset elastomer kao materijal. Problem je što su termoplastike temperaturno osetljive.

### Termoplastični olefin elastomeri (TPO)

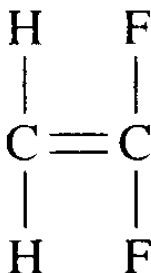
Kopolimer od polietilena i polipropilena. Osobine elastomera proističu iz amorfne prirode. Naziva se etilen propilen monomer guma (EPR ili EPM).

Etilen propilen elastomer je otporniji na oksidaciju, kiseline i baze od prirodne gume ali ima slabu otpornost na puzanje i slabu rastegljivost.

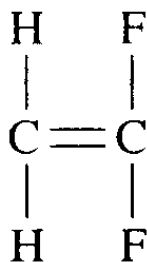
Primenjuje se za izradu creva, delova šasije, zaptivača, podmetača, prostirki, izolaciju žica itd. Modifikacija kopolimera – etilena i propilena sa polibutadinom, ili drugim monomerom, se naziva **terpolimer**. Npr. tripolimer: etilen propilen dien monomer guma (EPDM). Postoji umrežavanje preko dubleta ugljenik-ugljenik.

## FLURO ELASTOMERI

Fluro elastomeri imaju mnoge poželjne osobine koje imaju fluoropolimer plastike, kao što je teflon. Fluro elastomeri su generalno kopolimeri od **vinilidena fluorida** sa drugim monomerom koji ima visok sadržaj fluora, kao što je **tetra fluor etilen**, koji se koristi za PTFE-teflon.



*Slika 7.5 Viniletilen fluorid monomer*



*Slika 7.6 Tetra fluor etilen monomer*

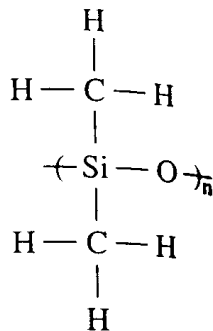
Prvi komercijalni materijal je bio **viton** (DuPont). Mehaničke osobine su nešto lošije od prirodne gume. Zbog fluoro ugljenične prirode, fluoropolimeri imaju izvanrednu otpornost na korozivne fluide i na hemikalije na temperaturama do 200°C. Visoka cena je ograničavajuća za primenu ali je ipak došlo dosta rasprostranjena primena, kao što su: konopci, O-ring, uljni zaptivači, dijafragme, oblaganje pumpi i ventila, zaptivači za spajanje cevi sa ekspanzionim sudom i cevi za ekstremno teške uslove rade.

Koriste se za oblaganje opreme za transport hemikalija i petrola, za kritične delove na automobilima i kosmičkim uređajima, za visoko vakumske uređaje i uređaje koji rade na niskim temperaturama ili su izložene zračenju.

## SILIKONI

Silikoni su najveća grupa plastičnih materijala koji nisu zasnovani na atomu ugljenika. Silikoni su zasnovani na atomu silicijuma, koji se u periodnom sistemu nalazi pored ugljenika. Silicijum i ugljenik imaju četiri veze (valence), i grade slične hemijske reakcije. Silicijum je manje elektro negativn, što smanjuje njegovu aktivnost i omogućava veze koje nisu moguće sa ugljenikom. Takođe, silicijum-silicijum dvostruka veza je retka i ne može da se koristi za polimerizaciju i umrežavanje (poprečno povezivanje).

Polimeri na bazi silicijuma nastaju polimerizacijom monomera **silana**. Silan monomer ne polimerizuje kondenzacionom polimerizacijom, već se posebnim reakcijama stvara siloksanska veza u kojoj su naizmenično Si i O. Ovaj polimer je **poliksiloksan** ili **silokan**.



*Slika 7.7 Silikonski polimer.*

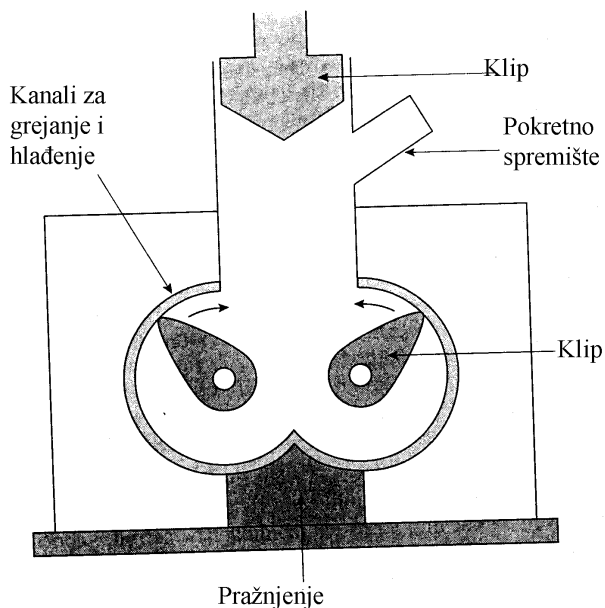
Svaki atom silicijuma u polimeru se vezuje sa dva atoma kiseonika i dve zavisne grupe. Zavisne grupe su obično fenili. Sa metilom ( $\text{CH}_3$ ), stvara **dimetiksiloksan**. Silikon može da se polimerizuje u tri poznata oblika: ulje, guma i kalup.

Uljani oblik ima malu molekulsku težinu i obično je na sobnoj temperaturi tečan. Koristi se kao mazivo, za hlađenje, kao hidraulični fluid i za zaštitu od vode.

Silikonska guma ima veću molekularnu težinu zbog umrežavanja. Da bi se poboljšale mehaničke osobine dodaje se silika (Si), kao čađ kod elastomera, a dalje povećanje molekulske mase dovodi do smole za ukalupljavanje. Prednost silikonske gume je nerastvorljivost, odbojnost na vodu, termička stabilnost, slaba zapaljivost i nije otrovan. Dobre osobine su do  $200^\circ\text{C}$  i do  $-315^\circ\text{C}$ , transparentan je za UV zračenje a ne razlaže se. Koristi se za izradu zaptivača, prevlačenje zbog vodootpornosti, za fleksibilne delove, želtine i izolacione materijale, kao i za protetiku u medicini (veštačko uvo, veštačke grudi).

## PROIZVODNJA GUME

Prozvodni proces obuhvata sintezu, intenzivno mešanje, da bi se izvršila disperzija aditiva u elastomeru. Visoka viskoznost elastomera nameće primenu uređaja sa tehnikom za visoko-smičuće mešanje. Na slici je prikazan mikser BANBURI.



*Slika 7.8 Visoko intenzivni mešač.*

Sa gornje strane se ubacuje materijal i klipom se pritiskuje u komoru za mešanje. U komori su dva rotora, koji se okreću različitim brzinama, što izaziva smicanje. Komora može da se greje ili hladi. Sa donje strane se mikser prazni.

Prvo se u smešu dodaje sumpor radi vulkanizacije, na temperaturi  $150^\circ\text{C}$ , uz intenzivno mešanje i vrlo velike sile u mikseru. U drugoj fazi, do  $100^\circ\text{C}$ , se dodaju agensi

za umrežavanje i u trećoj fazi je blending, dodavanje malih količina materijala radi dobre homogenosti elastomera

### **Predformiranje**

Izmiksovani elastomer se stavlja u mlin sa dva valjka ili u kratki ekstruder. Između dva valjka se formiraju ploče od kojih se prave uske trake za kalupovanje. Ekstruderom se dobija masa u ogliku konopca. Ako se elastomer posle miksera stavi na čuvanje, postaće viskoznan, što može predstavljati problem, tako da ga je potrebno prvo izdužiti.

### **Oblikovanje**

Kalupovanje se vrši u komercijalnim kalupima za termoset smole. Neki elastomeri mogu da se ekstrudiraju i ubrizgavaju.

### **Umakanje**

Važan proces za obradu gume, koji se razlikuje od drugih, je proces umakanja ili prevlačenje umakanjem. Tako se prave higijenske rukavice.



## Poglavlje VIII

### KOMPOZITNI MATERIJALI

Kompozitni materijali su čvrsti materijali sastavljeni od veziva ili osnove (matrice), koje obuhvata i povezuje ojačavajuća vlakna. Najvažnije su kao vezivo je plastična smola, a može biti metal i keramika. Plastični kompoziti čine 90% svih kompozita. Naj češće su ojačavajuća vlakna staklena vlakna ili karbonska vlakna, oko kojih se nalazi plastična smola. Materijal se stavlja u kalup i očvršćava. Vlakna daju čvrstoću i žilavost plastici. Plastika omogućava da se vlakna oblikuju.

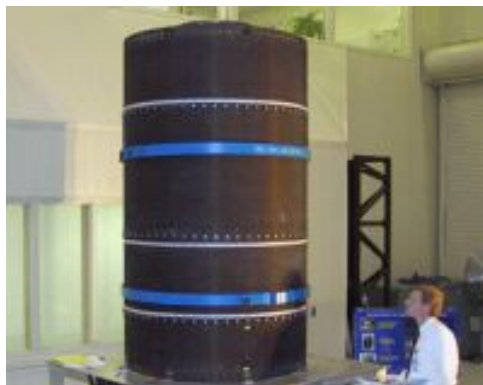
Nepolimerni kompoziti (metal, keramika-vezivo), se koriste kada temperatura, čvrstoća itd, ograničavaju primenu polimernih kompozita. Polimerni kompoziti se dele na dve grupe, prema tipu i dužini vlakana i tipu smole koja se koristi:

- \* Napredni kompoziti, karakterišu ih vrlo duga vlakna sa odličnim performansama i sa kvalitetnim smolama. Primjenjuje se za izradu aviona, sportskih rekvizita (tenis reketa, vesla za čamce). Kao primer izuzutnog kvaliteta je avion-bombarde tip B-2, poznat kao nevidljivi (na slici), koji je napravljen od tzv. alternativnog visoko frekventnog materijala (AHFM).



*Slika 8.1 B-2 nevidljivi avion.*

- \* Inženjerski kompozit, koji karakterišu kratka vlakna, je sa nižim mehaničkim osobinama. Smola je takođe sa lošijim osobinama. Proizvodi od inženjerskih kompozita su: brodski trupovi, kanu čamci, tuš kabine, kade, rezervoari za gorivo itd.



*Slika 8.2 Rezervoar od kompozita.*

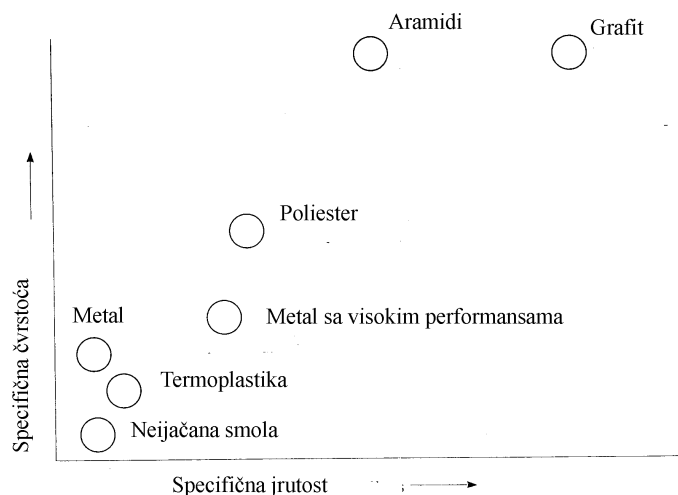
## POREĐENJE KOMPOZITA I NEOJAČANIH MATERIJALA

Uticaj vlaknastih ojačivača je veoma značajan i pri dužini vlakana od 100mm i koncentraciji preko 40%, osobine vlakana dominiraju više nego osobine smole. Tada plastična smola ima ulogu da drži vlakna zajedno, daje oblik delovima i štiti vlakna od spoljašnjih sila i uslova.

60% karbonskih vlakna sa epoksi matricom ima  $R_m=300\text{MPa}$ ,  $E=300\text{GPa}$ , a bez vlakana  $R_m=50\text{MPa}$  i  $E=3\text{GPa}$ . Ako se vlakna usmere u jedan pravac, onda je čvrstoća u poprečnom pravcu ista kao i kod neojačane osnove. Materijal može biti izotropan, anizotropan i oktotropan (kada su osobine iste u X i Y pravcu a drugačije u z pravcu, kod aviona je ovaj slučaj). Tada se materijal pravi iz više slojeva - laminat. Kompoziti imaju malu težinu.

Epoksid ojačana karbonskim vlaknima ima 1/9 težine čelika sa istim mehaničkim osobinama, a 1/3 težine od aluminijuma.

Na slici je prikazana zavisnost specifične švrstoće i specifične krutosti.



**Slika 8.3** Zavisnost specifične čvrstoća i specifične krutosti za razne materijale.

Najveći nedostatak kompozita je veća cena od metala i komplikovano oblikovanje. U poređenju sa metalom, lako oštećuje pri sudaru sa delovima sa malim brzinama.

## OSNOVNI MATERIJALI

Koriste se kao osnova termoplastika i termosetova. Kada su vlakna kraća, koriste se termoplastike a kada su vlakna duža tendencija je da se kao osnova koriste termoset materijali.

Kompoziti sa kratkim vlaknima. Dužina vlakana je manja od 5mm, zato se nekad nazivaju brkovi. Koristi se običan proces, konvencionalni, za obradu plastik. Pri tome vlakna moraju da prođu između ekstrudera i zida. Dominiraju termoplastike, a i kod njih se oseti ojačavanje i sa malim vlaknima, dok se kod termoseta zbog umrežavanja već izvršilo ojačavanje i ne bi se ni osetilo ojačavanje zbog vlakana.

Poznati su: najlon, per, polikarbonati, acetal, ABS i druge termoplastike kod kojih

se može popraviti eventualna kritična mehanička osobina.

Kompoziti sa srednje dugim vlaknima. Za duža vlakna se koriste termoset smole, zbog manjeg viskoziteta termoseta i lakšeg obuhvatanja vlakana, koji su dužine 10 do 100mm. Ovakva vlakna se nazivaju "seckana vlakna", jer se dobijaju sečenjem. Sa ovakvim vlaknima, kompoziti su obično inženjerski kompoziti i sa termosetom. Ako se koristi termoset, onda je to najčešće poliester, zbog niske cene i jednostavne tehnologije. ERP je plastika ojačana fiberglasom, (staklena vlakna).

Kompoziti sa vrlo dugim i kontinualnim vlaknima. Ovi kompoziti imaju ponekad dužinu vlakana koja idu celom dužinom dela i nazivaju se kontinualna vlakna. Ako su seckana, onda su dužine veće od 100mm. Koriste se za izradu naprednih kompozita. Pošto su u pitanju termoset smole, kritične osobine su krutost i toplotna otpornost.

Najviše se koriste epoksidi jer imaju generalno bolju toplotnu postojanost i krutost nego umreženi poliesteri. Ako se zahteva nezapaljivost, onda se koriste termoset smole fenola, a za visoko temperaturne postojanosti polimidi. U specijalnim slučajevima se prave napredni kompoziti od termoplastika visokih performansi, za vodeće ivice krila aviona.

## OJAČIVAČI

- Koriste se tri tipa vlakana:
- \* fiberglas (stakleno vlakno)
  - \* ugljenik (grafit)
  - \* organska vlakna (aramidi)

Koja vlakna se koriste zavisi od primene ali i od osobina i cene. Fiberglas je najjeftiniji, karbonska vlakna imaju najveću krutost a vlakna aramida (kevlar) najveću žilavost. Ako imamo više tipova vlakana to je hibridni kompozit.

Staklena vlakna. Fiberglas se pravi presovanjem iz istopljenog stakla (vučeno vlakno), i namotava se kao bunt na neki kalem i takav se transportuje. Dodavani određenih hemikalija mogu se dobiti različiti tipovi fiberglasa.

E-staklo: elektro otporno

C-staklo: hemijski otporno

S-staklo: visoka čvrstoća

Posle formiranja fiberglas se tretira sa hemikalijama da se poboljša abraziona otpornost. Taj materijal (oblagač), se lako skida u vodenom rastvoru pre nego što se vlakno upotrebi za izradu kompozita. Da bi se poboljšala veza između vlakana i smole se dodaju hemijski agensi, (agensi za spajanje).

Karbonska (grafitna) vlakna. Za razliku od prvih karbonskih vlakana koja su proizvedena, ona koja su se kasnije počela koristiti su se finalizirala na nižim temperaturama i bila su više čista grafitna vlakna.

Danas se isti materijal naziva karbonsko vlakno i grafitno vlakno. Oba se prave od tri materijala:

- poliakrilonitrila (PAN)
- smola iz proizvodnja ulja
- veštačke svile

Ove komponente se podvrgavaju termičkom tretmanu kako bi se atomi koji nisu

ugljenik odvojili od vlakana (vodonik i azot). Ostaje oko 90% ugljenika posle završnog zagrevanja. Karbonska vlakna se površinski čiste u elektrolitičkom kupatilu. Vlakna se premazuju sa smolom, obično epoksid, i u vidu kotura šalju dalje na proces. Najveća prednost karbonskih vlakana u odnosu na druge je vrlo visok modul elastičnosti. Karbonska vlakna imaju najveću krutost od svih materijala, posebno ako se gleda težina. Nedostatak je visoka cena i zato se koristi za izradu aviona, sportske rekvizite, medicinu itd.

Organska ojačavajuća vlakna. Organska vlakna se koriste za povećanje čvrstoće i modula elastičnosti kompozita. Najvažniji je KEVLAR.

Vlakna aramida, visoko aromatični najlon, se mogu dobro uplesti, bolje od sintetičkih vlakana, i motaju se na kaleme. Vlakna aramida su jako kruta ali se najviše koriste za izradu vodećih ivica krila aviona, koja su izložena udarima raznih predmeta ptica. Zaštitna odela se prave od aramida, ali bez smole, tako da se savijaju sa odelom. Poznat je i SPEKTRA, od polietilena sa ultra lakom molekularnom težinom, takođe se koristi za izradu zaštitnih odela i u avio industriji.

Oblici ojačivaša. Vlakna su obično namotana na kalem kod proizvođača, ali se mogu i u drugoj formi isporučivati pre upotrebe. Obično je to u sečenom stanju i to kraće dužine. Ako se sešena vlakna rasprskavaju sa smolom u šablon, sa pištoljem za rasprskavanje, onda se sa kalema vlakna dovode u seckalicu koja je povezana sa pištoljem. Ako se vlakna koriste kao ravni delovi (MAT), onda se vlakno dovodi na pokretni kaiš, gde se dodaje vezivno sredstvo, ne matrica. Mat se tada uroluje za transport i proizvođač kompozita seče na veličinu koja mu je potrebna. Kompozitna struktura, posebno kod naprednih kompozita, može da bude sa vlaknima orjentisanim u različitim pravcima i to se može ostvariti sa nekoliko slojeva takvog materijala.

## **PROIZVODNJA DELOVA OD KOMPOZITA**

Najvažnije je, u toku proizvodnje, kontrola pravca i preklapanje ojačavajućih vlakana. U svim slučajevima je potrebno u kalup staviti sadržaj koji će omogućiti lako odvajanje dela od kalupa.

### Proizvodnja termoplastike sa vrlo kratkim vlaknima

To su standardni procesi kao što su ubrizgavanje i ekstruzija uz vrlo male promene. Najvažnije je da vlakna mogu da prođu kroz sve prolaze. Kod ubrizgavanja je kritični ulivni otvor, zatim valjak (trkač) i ispust na kraju ubrizgavajuće malaznice. Zbog povećanih dimenzija je mogući pad pritiska u sistemu (povratni).

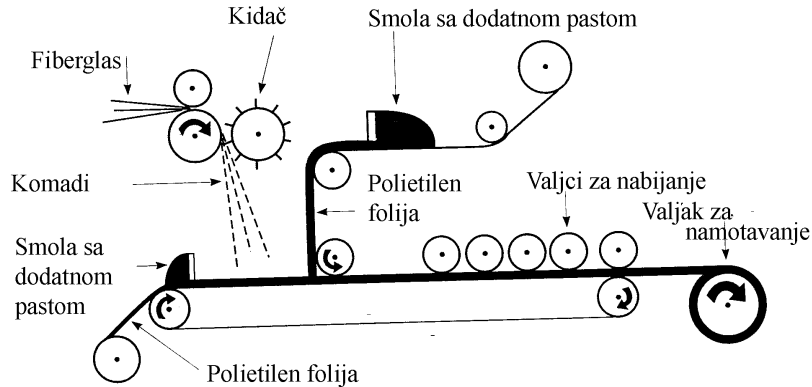
### Kompresiono kalupovanje

Najveća prednost kompresionog kalupovanja, u odnosu na ubrizgavanje, je kratak put smole, samo do kalupa, tako da se mogu koristiti mnogo duža vlakna u kompozitu. Vlakna u svim oblicima se kontinualno dodaju pre kalupa i pritisak od kalupa vrši distribuciju smole.

Prednost ovog postupka je što se obe strane dobijenog dela definišane sa kalupom. Tako se i komplikovani delovi, sa ispupčenjima, mogu proizvoditi. Nedostatak je što su neophodne skupe prese.

Kompoziti se spremaju na dva načina:

- Kompozit iz jednog dela ("bulk"), gde se sve komponente zajedno izmešaju i čuvaju u frižideru prer upotrebe.
- Kompozit iz delova ("sheet"), gde se vlakna razbacuju na pokretni deo, koji je premazan sa smolom (vlakna do 100mm).

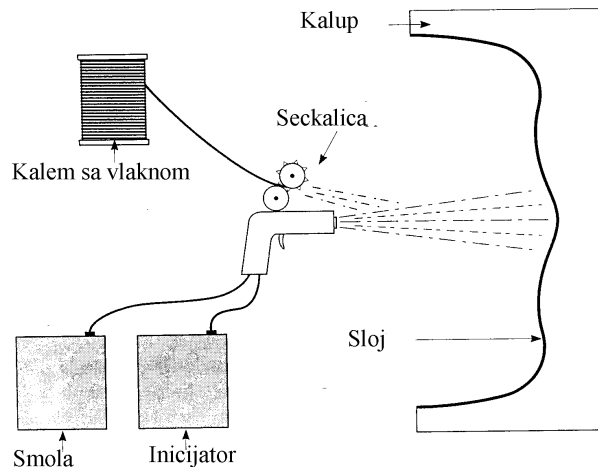


**Slika 8.4** Proces proizvodnje pločastog materijala.

Koristi se za izradu kamionskih spojlera i delove automobila.

### Rasprskavanje

Metod koristi pištolj za rasprskavanje, na koji se dodaje uređaj za seckanje vlakana. Smola se sa injektorima meša u pištolju i izbacuje se kroz mlaznicu. Vlakna se obuhvata smolom i zajedno odlaze napred. Operter upravlja sa radom pištolja.



**Slika 8.5** Pravljenje delova od kompozita rasprskavanjem.

Transport seckanih vlakana kroz vazduh u vidu spreja je ograničen na 80mm. Veliki uticaj na kvalitet rada ima operater. Najčešće se koristi poliester+fiberglas. Proces se odvija na sobnoj temperaturi a može i na povišenoj. Prave se veliki delovi kao što su brodovi, bazeni itd. Kalup mora da izdrži temperaturu koja se oslobaša pri povezivanju.

Dobijena površina je hrapava i zato se prvo rasprska smola (gel prevlaka).

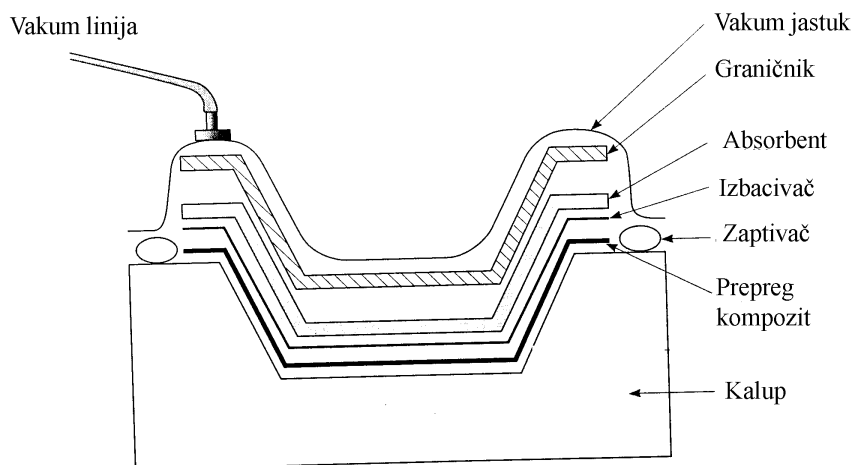
### Transfer kalupovanje smolom (RTM)

Slično je sa klasičnim transfer kalupovanjem i rekcionim ubrizgavanjem, razlika je što se ojačivači kalupuju sa smolom. Predformirana vlakna se smeštaju u kalup i tada se kalup zatvori. Predformirana vlakna se formiraju bez prelake a pomoću spreja se vlakna povezuju. Smola se ubrizgava u zatvoren kalup. Obično se koristi poluretan ili neka reaktivna smola kao polister ili epoksid. Iz dve komore, ujednoj je smola polister a u drugoj inicijator, se pumpama ubacuje u kalup, ali se to mora sprovesti tako da se vlakna nepomeraju.

### Ručno kalupovanje

Najjednostavniji metod za razmeštanje vlakana je ručno postavljanje. Za veoma komplikovane komade je jedino to i moguće ručno uraditi, pogotovo kada se pravi mali broj komada. Nedostatak je nepreciznost izrade i velik utrošak vremena. Koristi se za izradu inženjerskih komponenata. Dominantni materijali su polister i fiberglas. Kod ove metode vlakna se postavljaju u kalup, posle prevlačenja gelom, i onda se smola postavlja preko vlakana. Smola se raspoređuje preko vlakana pomoću ručnih valjaka. Pritiskanjem se istiskuje sav vazduh. Ako je potrebna veća debljina, ponovo se dodaju vlakna ili se dodaje smola. Nekada se mora prethodni sloj vlakana i smole parcijalno popraviti (povezati), pre dodavanja novog sloja. Isto i kod rasprskavanja, kalupi mogu biti vrlo veliki, jedino materijal za kalup mora da izdrži temperaturu procesa povezivanja.

Za napredne kompozite se koristi materijal sa različitim orijentacijama vlakana (prepreg), koja se pažljivo stavlja u kalup, a dodatni slojevi se posle postavljaju. Poželjno je da ovi kompoziti rade u vakumu, radi izdvajanja vazduha. Ovaj postupak kao i povezivanje matrice se obavlja u vakum jastuku, pri čemu se uklanja i višak smole.



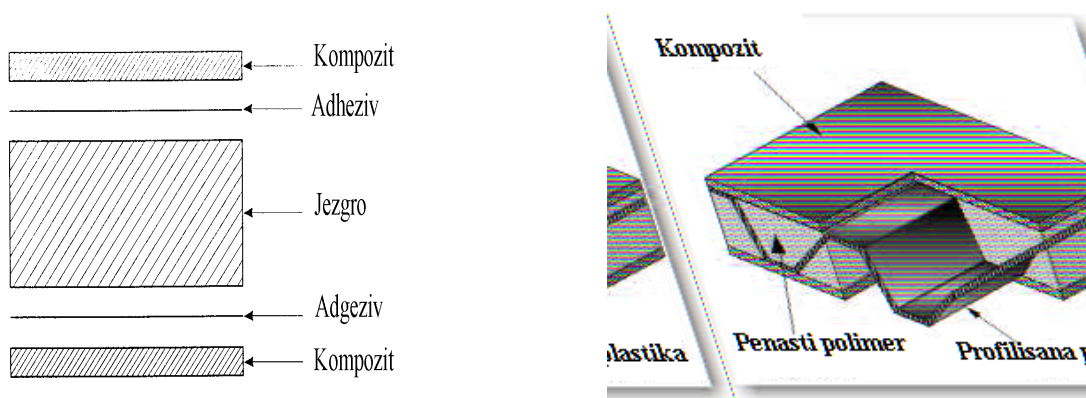
**Slika 8.6** Kalupovanje prepreg materijala u vakumu.

Izbacivačka obloga se nalazi iznad komada i skupla sve materijale koji su ostali nakon vakumiranja, a treba da se izbace. Obično se pravi od fiberglasa obloženog fluoro karbonskom plastikom.

Absorbent ("bleeder") svojom veličinom određuje količinu smole koja se izbacuje. Graničnik osigurava da smola ostane sa absorbentom. Vakumski jastuk je obično napravljen od najlona ili silikonskog elastomera.

Kada se formira vakum, kalup se sa vakum jastukom stavlja u autoklav radi

procesa povezivanja matrice. U autkjavu je i povišena temperatura i pritisak. Posle se iz kalupa vadi komad i eventualno završno obrađuje. Radi postizanja veće čvrstoće za deblje komade između dva kompozitna sloja se stavlja neki čvrsti, lake težine materijal. To je tzv. **sendvič kompozit**.

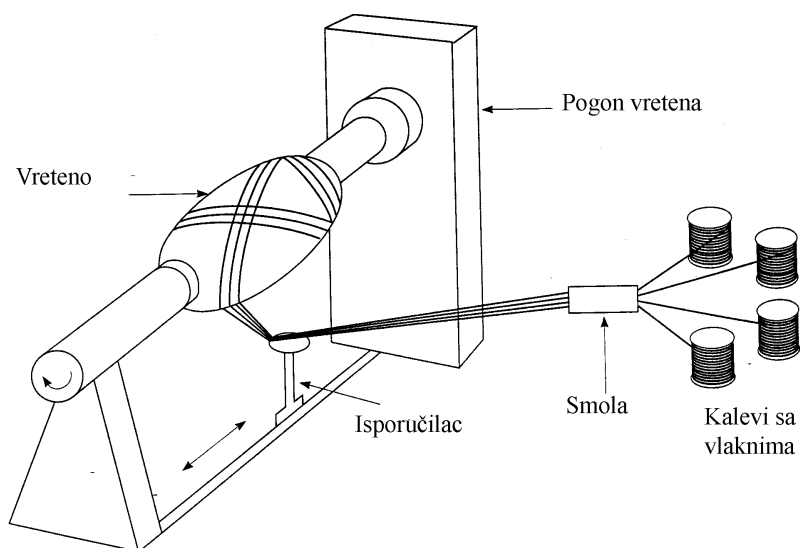


*Slika 8.7 Sendvič kompozit*

Srednji materijal je jezgro sendviča, i to su tvrde plastike (sače za med, drvo balza). Jezgro se spaja sa kompozitnim laminatima (koža) pomoću veziva.

#### Motanje niti i postavljanje vlakana

Oba ova postupka koriste vretena za oblikovanje. Kod motanja niti vlakna su u odnosu na vreteno zategnuta, a kod postavljanja vlakana, vlakna se pre vretena pritiskaju sa glavom za zbijanje. Motanje niti se više koristi. Vlakna se spajaju na vretenu i pri okretanju vretena povlače se vlakna sa kalemova. Pri tome se spajaju u prstenu (isporučiocu). Prsten se kreće sinhronizovano u odnosu na vreteno. Između kalemova i vretena se nalazi spremište smole, kroz koje prolaze vlakna. Delovi koji se dobijaju na ovakav način su cilindrični (cevi, rezervoari pod pritiskom itd.).



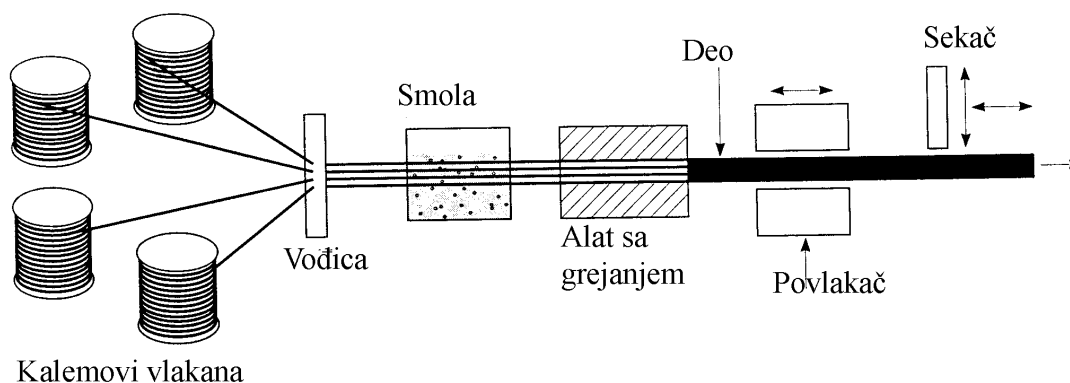
*Slika 8.8 Proizvodnja kompozitnih delova motanjem niti.*

Sa profilom i kretanjem isporučioaca mogu se dobiti različiti profili. Posle, vreteno ide u autoklav zbog povezivanja matrice.

Postavljanje vlakana pritiskanjem vlakana sa glavom za zbijanje, koristi vlakna u obliku tankih traka ili prepreg vlakna. Vreteno može biti konkavno. Nedostatak je što je skupa masa i spor proces. Skupa je glava za nabijanje i isporučilac. Glava za nabijanje mora da se rotira i kreće u nekoliko pravaca da bi pratila različit oblik vretena.

**Pultruzija (istiskivanje)**

Ovaj proces se koristi za delove koji imaju konstantan poprečni presek. Vlakna se odmotavaju sa kalemova, prolaze kroz smolu i onda kroz kalup za povezivanje matrice. Sila za izvlačenje se ostvaruje preko povlakača iza kalupa.



**Slika 8.9** Pravljenje kompozitnih delova pultruzijom.

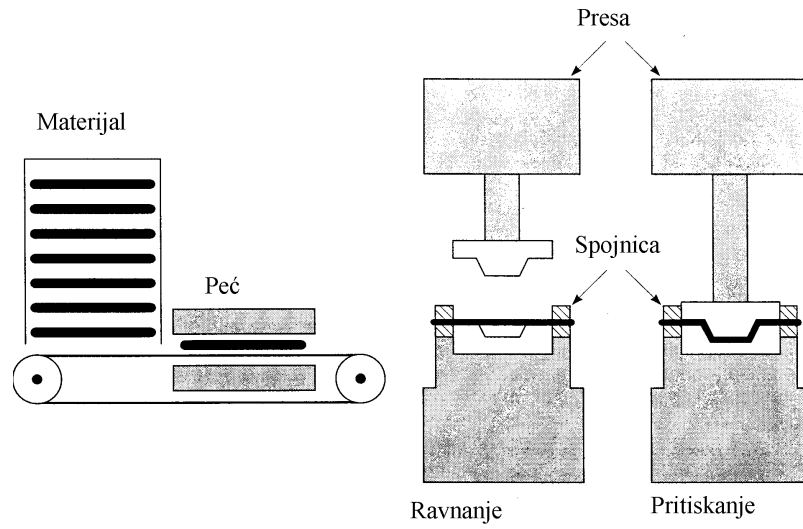
Delovi mogu da se ojačavaju vlaknima i u drugim pravcima, različitim, od povlačenja. Proces je jeftin i koristi se fiberglas i poliester za pravljenje cevi i profila.

Proizvodnja sa dugim i kontinualnim vlaknima

Za ovaj tip kompozita se koriste termoplastike sa visokim performansama. Ove smole su obično sa velikom molekularnom težinom i visoke kristalnosti, tako da ovi kompoziti imaju veliku krutost, visoku čvrstoću, visoku žilavost i mogu da izdrže visoke temperature i rastvarače. Slični su epoksidima sa visokim performansama, ali su mnogo jeftiniji. Najveći nedostatak ovog procesa je otežan postupak oblaganja vlakana sa termoplastikom. Jedan od postupaka je da se smola istopi i tako obloži vlakna, ali dovoljno tanko. Drugi postupak je da se smola pretvori u prah i tako oblažu vlakna. Za vreme povezivanja matrice, prah se topi i prekriva vlakna. Treći način je da se vlakna ojačivača pomešaju sa vlaknima termoplastike, koja se zagrevanjem tope i obrazuju vlakna ojačivača. Četvrti način je da se termoplastična smola u obliku ploče stavlja preko vlakana, a zatim se termoplastika zagreva dok ne omekša, i pritiska na vlakno.

Metoda pritsnog termoformiranja, je slična termoformiranju, ali se ovde termoplastika oblikuje prema predviđenom dizajnu. Termoplastična smola se zagreva i počinje da se ugiba. Stavlja se na kalup (alat), kojim je hladan, i pritiska dok se ne dobije oblik alata. Proces je vrlo kratak (oko 10 sekundi).








*Slika 8.10 Pritisno termoformiranje ojačane termoplastike.*

## Poglavlje IX

### VISOKOENERGETSKO ZRAČENJE POLIMERA

Polimer reaguje sa sunčevim zracima i drugim prirodnim zračenjima i obično dolazi do neželjene reakcije - oksidacije. Sa zračenjem elektronskog snopa, polimer se bombarduje sa elektronima različitih energija, koji se dobijaju u specijalnim uređajima. Visoko energetski elektroni mogu da izazovu značajne promene polimera. Priroda tih promena zavisi od prirode polimera, energije elektrona, vremena zračenja i prisustva modifikatora.

Tri glavne reakcije su:

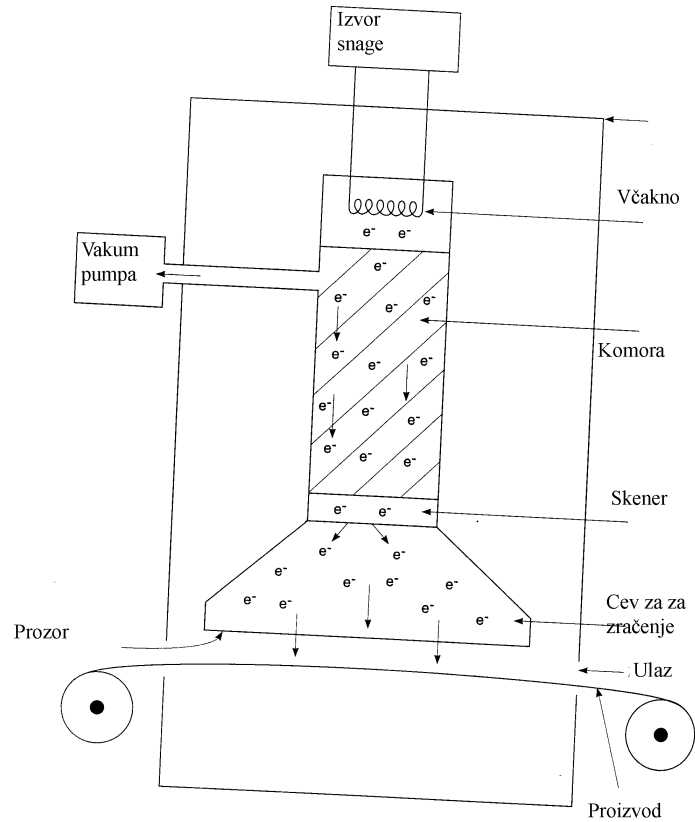
- umrežavanje 
- rezanje (prkid lanaca) 
- preraspodela molekula 

Interakcija polimera sa elektronima je obično praćena sa izbacivanjem atoma vodonika i stvaranjem stabilnih radikala (neuparenih elektrona), tj. aktivnih mesta. Reakcije su moguće i kod termoseta i termoplastike. Mogućnost korišćenja ove metode za umrežavanje je dobra jer su neki molekuli osetljivi na degradaciju pri zagrevanju.

1. Proces zračenja se koristi za izradu termoplastičnih žica, izolacionih kablova otpornih na pucanje, za povećanje termičke stabilnosti ( za avione), za povećanje tvrdoće gumenih materijala itd.
2. Prekid lanaca se primenjuje kod maziva, za izradu sintetičke gume itd.
3. Preraspodela molekula se radi da se poveća fleksibilnost polimera.

#### Uređaj i proces

Uređaj sadrži izvor energije koji ima napon od nekoliko miliona volti (DC-jednosmerne struje), i koji omogućava zagrevanje vlakna (tungsten žica). Užareno vlakno emituje elektrone koji ulaze u komoru za ubrzavanje sa magnetnim poljem.



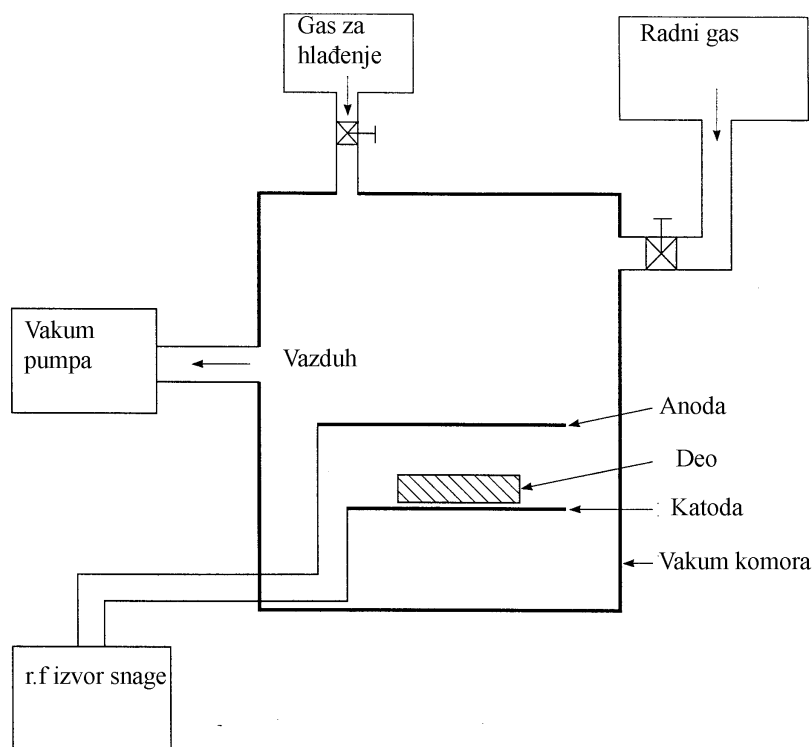
**Slika 9.1** Akceleratoraska jedinica za zračenje.

Skener omogućava kretanje elektrona po celoj površini izlazne cevi i na proizvod. Za određeno vreme, određena doza dospeva na površinu predmeta. Parametri procesa: Osnovna kontrola je sa snagom izvora energije. Veća snaga - više elektrona. Druga kontrola je sa brzinom kretanja trake sa delom. Samo jedan deo elektrona izaziva umrežavanje. Dubina prodiranja elektrona zavisi od snage i od prirode polimera. Uglavnom je do 4mm. Postoji još i gama zračenje (kobaltom), visokoenergetsko mikrotalasno i UV zračenje.

## Poglavlje X

## PLAZMA POLIMERIZACIJA

Plazma je visoko jonizovani gas, i te jonizovane čestice su vrlo reaktivne. Plazma uređaj se satoji iz komore u kojoj je vakuum



*Slika 10.1 Uređaj za plazma reakciju*

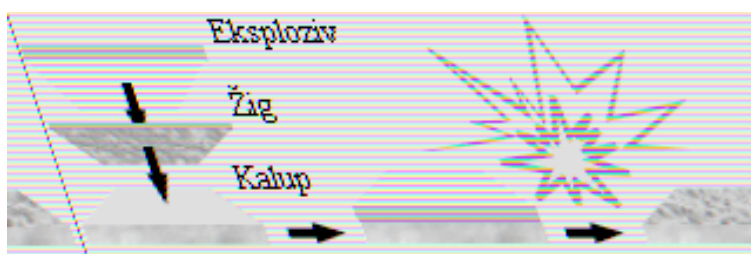
Komad, koji se tretira, se nalazi u komori, između ploča koje su povezane sa r.f. (radio frekventnim) izvorom snage. Radni gas se pušta u komoru, koja je prethodno vakumizirana i vrši se jonizacija gasova, pri čemu se i menja boja (lila, plava ili crvena). Jonizovani gas reaguje sa komadom. Posle toga se isključuje r.f. izvor i pušta se gas za hlađenje (vazduh). Najvažnija reakcija koja se može ostvariti sa plazmom je polimerizacija. Jedan od načina za formiranje polimera je da se kao radni gas koristi monomer. Prilikom jonizacije monomera dolazi do smanjivanja njegove energije i formiranja njegovog stabilnog stanja. To se dešava tako što se polimer formira na površini komada. Polimeri formirani sa plazma reakcijom, obično nisu isti kao polimeri formirani konvencionalnim metodama. već imaju više izraženo umrežavanje i takvi proizvodi imaju dobru trajnost (CD-kompakt diskovi, kontaktna sočiva, plastični prozori otporni na zaparavanje). Može da se koristi i za čišćenje plastične površine ako se koristi gas koji ne polimerizuje (kiseonik, argon, azot itd), i koji jonizovan reaguje sa površinom tako da skida spoljašnji sloj plastičnog materijala. Takođe se koristi za pripremu površina plastičnih delova za proizvodnju sa metalom u procesu metalizacije.

## Poglavlje XI

### MODIFIKOVANJE POLIMERA

#### MODIFIKOVANJE POVRŠINE KALUPA EKSPLOZIJOM ZA PROCES POLIMERIZACIJE

Plastični delovi često zahtevaju modifikovanu površinu zbog dekoracije. Takva površina se dobija kao negativ u pripremljenom kalupu. Eksplozivom se može direktno preslikati površina tekstura na metal. Sa udarnim talasom nakon detonacije, data struktura se direktno preslikava za nekoliko sekundi na površinu metala. Objekat sa dizajnom površinom se stavlja na metalnu osnovu.



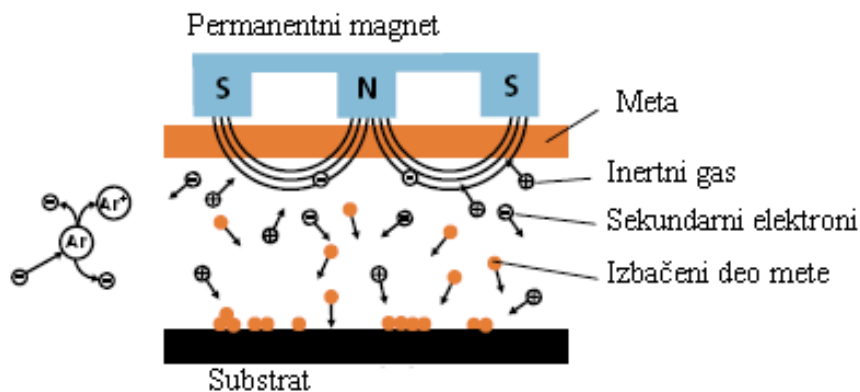
*Slika 11.1 Modifikovanje površine kalupa eksplozivom*

Zatim se stavlja eksploziv i izvrši detonacija.

#### METALIZACIJA POLIMERA PVD TEHNOLOGIJOM

Polimeri su laki materijali i imaju nisku cenu dok metal ima dobre termičke osobine, električne osobine i dobar je kao barijera za gasove. Međurim, teško je povezivanje metala sa polimerom. Jedna mogućnost je metalizacija gotovih proizvoda i to hemijskim ili galvanskim reakcijama. Alternativa je metalizacija plastike, formiranjem tankog sloja u vakuumu. Pogodan je proces PVD ("physical vapour deposition"-Fizička depozicija iz parne faze), zbog niske temperature procesa.

Na slici je prikazan proces sa magnetronskim spaterovanjem.



*Slika 11.2 Magnetronsko spaterovanje.*

Gasna faza (argon) se jonizuje , i sa magnetnim poljem se usmerava na metal, gde udara u površinu i izbacuje atome i klastere mete, i oni se talože na substrat-osnovni materijal (za kućišta mobilnog telefona, far za automobil-na slici).



*Slika11.3 PVD metalizacija automobilskog fara*

## Poglavlje XII

### SPAJANJE PLASTIKE

#### ATHEZIVNO SPAJANJE

Atheziv-materijal koji formira vezu između dva materijala. Nemogu sve plastike da se spoje sa athezivima, zbog razlika u površinskim karakteristikama. Ključna stvar je prekrivanje površina athezivom i odnos površinskih energija tečnog atheziva i čvrste površine. Slobodna energija treba da bude negativna. Unekim slučajevima treba pripremiti površinu da bi se dobila athezivna veza.

Čišćenje površina. I pored visoke površinske energije, nekada nije lako ostvariti spajanje zbog zaprljane površine, koja smanjuje površinsku energiju. Nečistoće mogu biti raznog porekla: od alata, transporta itd. Najčešće se nečistoće otklanjaju u rastvaraču. Pri tome treba voditi računa da ne utiče na plastiku.

Hemijsko čišćenje. Kada očišćena površina još uvek nije dovoljno energetski pripremljena za prekrivanje athezivom, onda se koristi hemijsko čišćenje. Hemikalija u ovom slučaju reaguje sa plastikom, pri čemu se menja priroda površine. Materijal se hemijski može očistiti pre dodavanja atheziva, ali se prethodno premazuje sa prajmerom (inicijatorom).

Tretman plamenom. Mnoge plastike, posebno poliolefini, mogu da se tretiraju plamenom da se poveća površinska energija, zato što se javlja oksidacija.

Tretman električnom varnicom ("corona"). Takođe se javlja oksidacija površina, kada se iznad površine formira električna varnica. Nedostatak je što se javlja erozija materijala.

Plazma tretman. Koristi se za čišćenje površina i za reakciju na površini (polimerizaciju). Nedostatak je što je potreban vakuum, koji je veoma skup.

Posredno spajanje. Tretiranje materijalom koji spaja površinu i atheziv. To su hemijska sredstva koja imaju na krajevima molekula dve različite prirode. Jedan koji je hemijski sličan materijalu a drugi athezivu. Dobri su za keramiku.

Mehanička abrazija. Kada nije moguća modifikacija energije, onda se koristi mehanička abrazija. Stvaraju se male pukotine i brazgotine gde može da uđe atheziv i dolazi do mehaničkog povezivanja.

Athezivi. Mogu biti tečni, kao pasta i čvrst film. U svim slučajevima se prolazi kroz tečnu fazu. Koriste se za spajanje plastike, metala, keramike, kompozita i drveta.

Strukturni athezivi. Otporni su na mehanička naprezanja, visoku temperaturu, rastvarače i smicanje. To su uglavnom termosetovi sa jednom ili dve komponente.

Epoksidi. Dvo komponentni atheziv, gde je jedna komponenta epoksid a druga učvršćivač. Nisu skupi i temperaturno su postojani do 175 #.

Poliuretani. Skupli su od epoksida, imaju dobru fleksibilnost na niskim temperaturama. Reakcija počinje odmah posle mešanja komponenata.

Modifikovani akrili. Očvršćavaju metodom polimerizacije slobodnih radikala. Jedna komponenta se stavlja na jednu površinu, druga na drugu, a zatim se spoje.

Cijanokrilati (superlepak). Jedno komponentni sistem koji očvršćava uz prisustvo male količine vlage, u atmosferi.

Anaerobici. Jedno komponentni sistem, koji očvršćava polimerizacijom slobodnih radikala, koja počinje u prisustvu kiseonika.

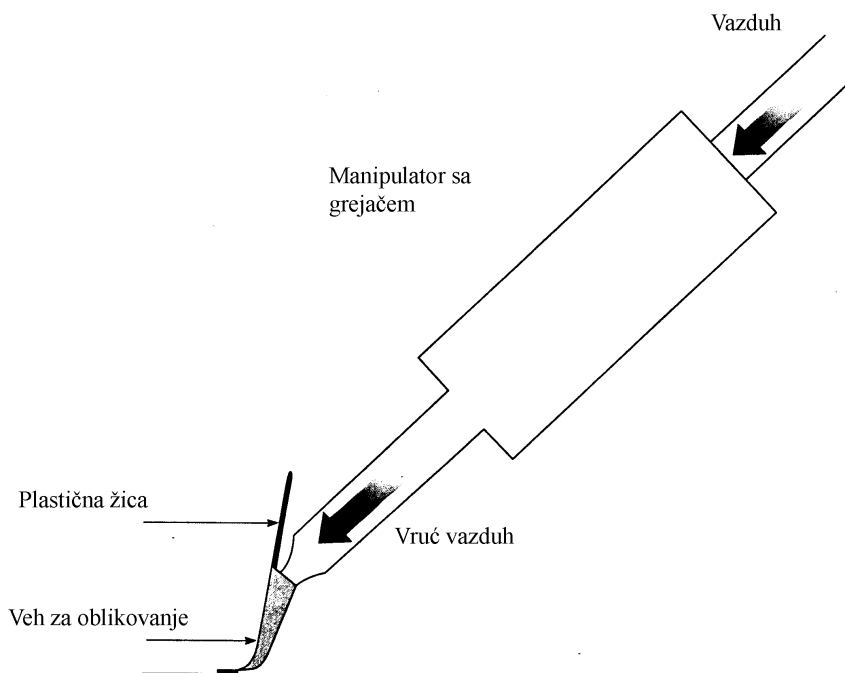
Silikoni. Jedno i dvo komponentni sistem. Jedna komponenta zbog vlage iz atmosfere učvršćava. Postojani do 370°C.

Fenoli i ureaformaldehyd. Jeftin termoset sistem, tamne boje. Dobar za dobijanje iverice.

Toplo-istopljeni athezivi

Termoplastični materijali koji se greju i tope. Stavljaju se na materijal i hlađenjem otvrdnjavaju. Najpoznatija termoplastika: etilen vinil acetat (EVA), polivinil acetat (PVA), polietilen (PE), najlon, polipropilen i kopolimeri.

Za industrijsku primenu se koristi vruć vazduh za grejanje.



*Slika 12.1* Primena istopljenog atheziva.

Atezivi osetljivi na pritisak. Ovi materijali su obično na traci, deluju kada se pritisnu na drugi materijal. Viskoelastični su.

Atezivi na bazi vode. Postoje prirodni. lateks, životinjski lepak i veštački: polivinilalkohol i amino smola. Imaju nisku čvrstoću.

Ateziv aktiviran radijacijom. To su materijalima slobodnim radikalima, koji se postavljaju između dva materijala a zatim se podvrgavaju radijaciji i postaju aktivni.

## NEATHEZIVNO SPAJANJE

To su postupci kojima se plastika omekšava i zatim spaja sa drugom omekšanom plastikom.

Povezivanje fuzijom.

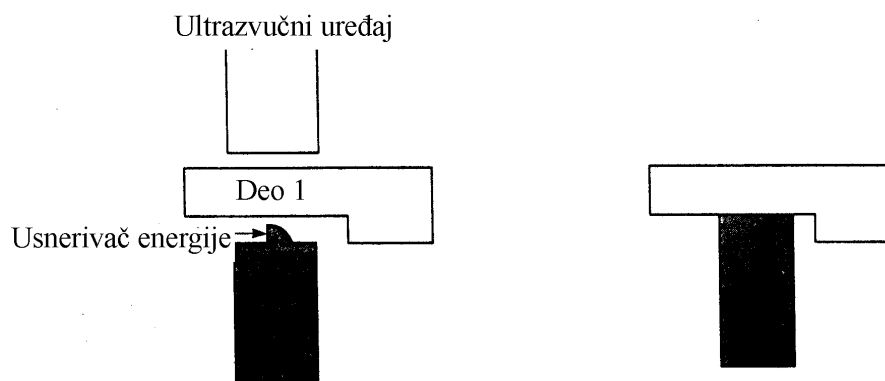
Mora se voditi računa o tome da se samo delovi koji se spajaju zagreju i



omekšaju, da ne bi došlo do deformacije. Ne mogu se spajati materijali koji imaju viskozitet takav da materijal izađe iz oblasti spajanja. Tako se spajaju cevi za distribuciju gasa. U veću cev ulazi manja i onda se prenosnim uređajem vrši zagrevanje i pritiskanje.

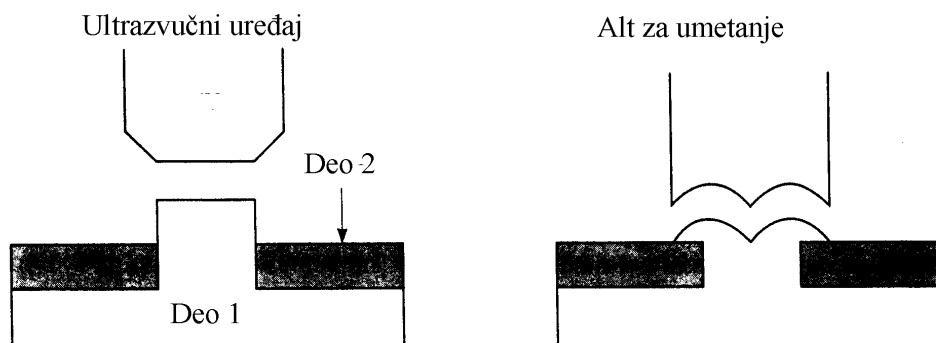
#### Zavarivanje ultra zvukom

Najvažniji neathezivni postupak. Generator generiše ultrazvučni signal direktno u plastiku. Energija zvuka izaziva vibraciju molekula i omekšavanje, Zatim se vrši spajanje plastike pod malim pritiskom. Postoji nekoliko varijanti ultra zvučnog zavarivanja. Koriste se usmerivači energije na mali region.



*Slika 12.2 Upotreba usmerivača energija.*

Metod umetanja, je kada se ultra zvučno omekša jedan deo tako da se posle obavlja oko drugog dela.



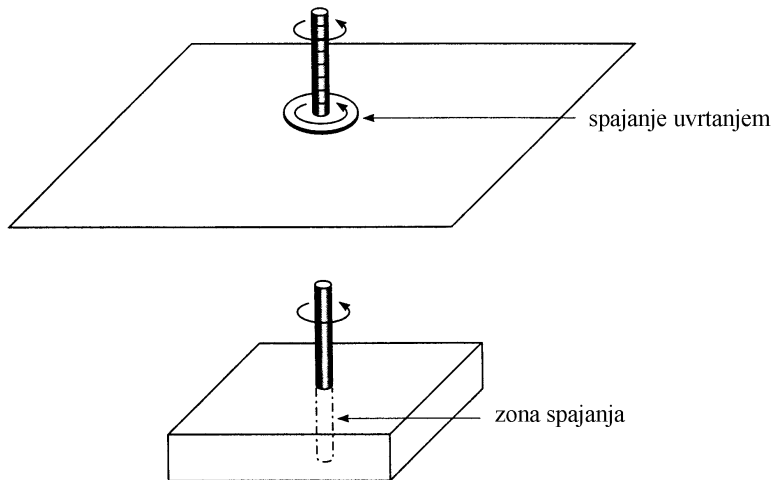
*Slika1 12.3 Princip umetanja-*

#### RF zavarivanje

Radio frekventno zavarivanje je slično zvučnom. Razlika je u frekvenciji i snazi.

#### Uvrtnje (SPIN) – zavarivanje trenjem

Neophidna tolota za omekšavanje plastike se dobija trenjem, kada se dva tela u kontaktu brzo pomeraju. Teško je zavariti velike površine.



***Slika 12.4 Spajanje uvrtnjem(trenjem).***

### Indukciono zavarivanje

Efekat magnetnog zagrevanja nastaje kada metalni delovi vibriraju u magnetnom polju i pri tome zagrevaju oklnu plastiku i omekšavaju je, Drugi način je kada plastična žica prolazi kroz magnetno polje i tako omekšava.

## Poglavlje XIII

### PREVLAKE I DEKORACIJA

Ponekad dizajneri žele da dodaju i dekorativni efekat plastičnim proizvodima, koji ne mogu da se ostvare u toku redovne proizvodnje. Ta estetska komponenta može da utiče i na osobine, odnosno na zaštitu od oštećenja.

#### Farbanje

Naj lakše je jednostavno dodavanje pigmenata u plastični materijal. Razlozi su estetski ali i uklapanje sa drugim delovima (interijer automobila). Farbanje tečnom bojom preko površina je najčešće. Većina boja se rastvara u rastvaraču, organskom ili u vodi. Farbanje polietilena je problem zbog niske površinske energije. Treba prvo naneti sloj prajnera,

#### Tečna prevlaka

Najčešće se vrši sprejem, dobija se dobar kvalitet površine i uniformna debljina. Pištolj za sprej koristi pritisak vazduha i meša se sa tečnom fazom. Bitno je rastojanje od komada i brzina rada. Tradicionalni metod je sa valjkom. Meša se uranjanjem komada u farbu, pri čemu komad treba da rotira zbog uniformnosti. Može da se koristi više svilenih filmova, svaki sa jednom bojom i onda se svaki film preslikava pomoću valjka.

#### Prevlačenje praškastim materijalom

Formura se fluidizirajući sloj plastičnih čestica, koji dospeva na površinumaterijala ili se pomoću spreja prevlači materijal.

#### Elektrostatičko prevlačenje

Deo koji se prevlači se stavi u komoru i povezuje se sa elektrodom, tako da dolazi do pražnjenja na površini komada. Zatim se materijal za prevlačenje uvidu spreja ubacuje u komoru. Plastične čestice dobijaju elektrostatički naboj od električnog polja i prevlače plastični komad.

#### Metalizacija

U vakuum komori se čist metal isparava visokom temperaturom i kondenzuje na plastični komad (CD diskovi, igračke). Debljina prevlake je od 0.006 do 0.01 μm.

#### Štampanje

Slično je farbanju, ali se pokriva cela površina. Može da obavlja sa valjkom, sprejom ("ink jet").

#### Termostatičko štampanje

Za ovaj način je neophodan specijalni papir, na koje je odštampana slika, sa specijalnim bojama ikoja treba da se prbaci na površinu plastike. Papir se stavlja na komad i zagreva, boja postaje tečna i prelazi na plastiku.

#### Uslojavanje (plastifikacija)

Plastični film se stavlja na površinu komada, zatim se zagreva i pritisa valjkom, pri čemu se stvarju veze između prevlake i osnove. Može više slojeva materijala da se odjedanput postavi. Pogodno je za automatizaciju i brzo uslojavanje. Nije potreban poseban ateziv.

Postoji prevlačenje skstruzijom i tada je tečni materijal termoplastika koja se greje i kroz koju prolazi substrat.