

## KEMIJA

SUPSTRAT obuhvaća sve karakteristike materijala – svojstva mase (bulk), kao što su fleksibilnost ili prigušivanje vibracija, kao i površinska svojstva, poput otpornosti na habanje ili teksture.

U većini slučajeva, pojmovi „supstrat“ i „površina“ su zamjenjivi u kontekstu spajanja i odnose se na specifični dio na koji se adheziv zapravo nanosi – odnosno na mjesto kontakta adheziva i materijala

Termin površine (ili slobodne površine) odnose se na čiste tvari u kontaktu s vakuumom

U praksi većina površina je u kontaktu s zrakom, oksidansima, uljima i drugim nečistoćama – posljedica – na površini polimera u kontaktu s okolinom stvara se međufaza (weak bonding layer- WBL)

Kemijske razlike: - zbog oksidacijskih procesa na površini materijala

- nečistoće na površini
- difuzije molekula niskomolekulnih aditiva (plastifikatora) na površinu
- dijelova lanaca blok kopolimera

Fizikalne razlike:

- orijentacija polimernih lanaca na površini je gotovo uvijek različita od one unutrašnjosti materijala

3 primjera u kojima se površina supstrata ponaša vrlo različito od mase (unutrašnjosti):



Lakirano drvo

Neobrađeno drvo je jednostavno drvo, ali ako je drvo lakirano, tada se ljepilo zapravo prijanja na lakiranu površinu



Hrđavo željezo

U slučaju hrđavog željeza, ljepilo se djelomično veže za željezo, a djelomično za željezov oksid; omjer ovisi o količini hrđe i stupnju pripreme površine

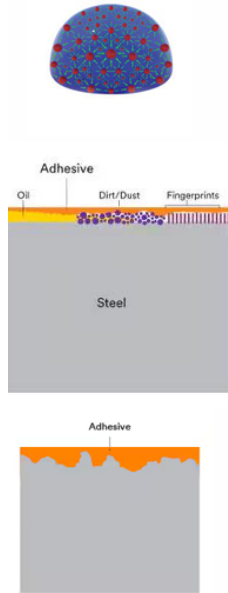


Industrijski plastični dijelovi

Mnogi plastični dijelovi proizvode se uz upotrebu sredstava za odvajanje iz kalupa radi lakšeg vađenja iz kalupa. Ako se sredstvo za odvajanje ne ukloni prije lijepjenja, ljepilo mora biti sposobno prijanjati upravo na to sredstvo.

- Ljepila stvaraju vezu koja spaja dva materijala.
- Za pravilno spajanje ključno je da se ljepilo može uspostaviti kontakt s površinom svakog materijala
- Tri svojstva navedena u nastavku (površinska energija, čistoća i hrapavost) najvažniji su čimbenici za uspostavljanje kontakta

- VAŽNOST POVRŠINSKOG KONTAKTA



#### Površinska energija

Materijali s niskim vrijednostima površinske energije otežavaju protok adheziva, sprječavajući uspostavu intimnog kontakta. Materijali s visokom površinskom energijom podržavaju protok adheziva, omogućujući dobar kontakt. Adheziv se može uskladiti s površinskom energijom supstrata, ili se površinska energija supstrata može modificirati primjenom primera, graviranjem ili drugim metodama.

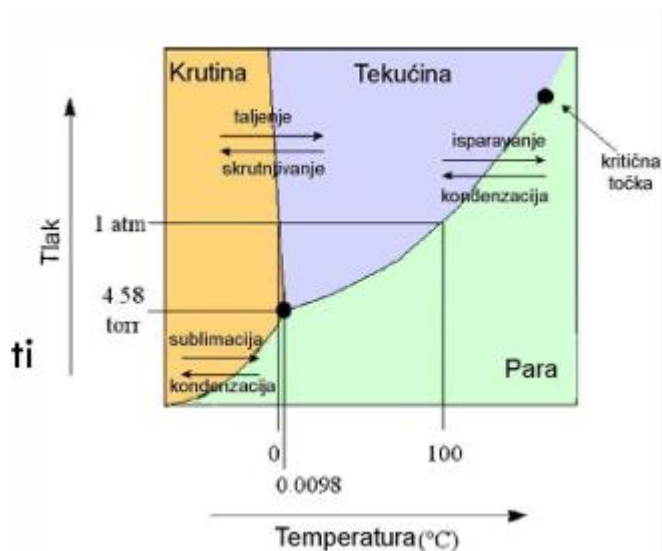
#### Čistoća

Prljavnost i kontaminanti mogu spriječiti pravilno prijanjanje adheziva na supstrat. Prljavnost, ulje, mast ili prašina mogu formirati sloj koji onemogućuje adhezivu da uspostavi pravi kontakt s površinom materijala. Kontaminacija površine može se kontrolirati na dva načina: površina se može očistiti od svih kontaminanata ili se može koristiti adheziv koje je formuliran da bude kompatibilan s određenom razinom kontaminacije.

#### Hrapavost površine

Hrapavost može povećati ukupnu površinu dostupnu za vezu, što omogućuje jači spoj. Međutim, pretjerana hrapavost može otežati protok adheziva po površini. Površinska hrapavost može se uskladiti s adhezivom modificiranjem površine ili odabirom prikladnijeg adheziva.

- Faza tvari je oblik materije koji je ujednačen po kemijskom sastavu i fizičkom stanju
- faze materije: kruta, tekuća i plinovita
- faze koje koegzistiraju: u ravnotežnim ili neravnotežnim uvjetima
- Fazni dijagrami - metoda predstavljanja područja stabilnosti krute, tekuće i plinovite faze pod različitim uvjetima temperature i tlaka
- Međufaza je fizička granica između dvije susjedne faze, debljine najmanje jednog molekularnog promjera kako bi se konstruirao molekularni model
- Površina- definira fizičku granicu samo jedne faze, kao što su čvrsta površina i tekuća površina

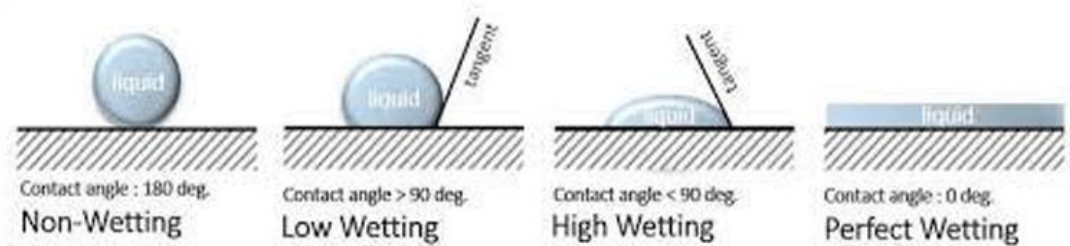
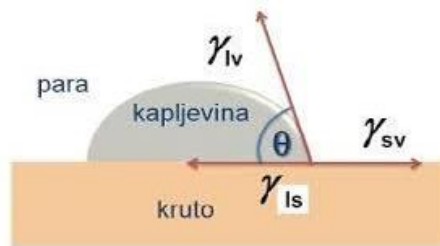


- Molekule koje se nalaze na granicama faza (između čvrste i plinovite, čvrste i tekuće, tekuće i plinovite faze, i između dvije tekuće faze) ponašaju se drugačije u odnosu na molekule u masi (unutrašnjosti) faze
- Površinom se smatra samo gornji monolayer atoma i molekula, koji je neposredni međufazni sloj u kontaktu s drugim fazama
- međuslojnom zonom između mase (bulk) i površinske strukture, dok se tek nakon 100 nm može smatrati da sloj ima svojstva mase čvrstog tijela

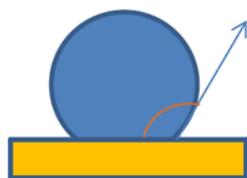


- **POVRŠINSKI SLOJ**
  - vanjski sloj materijala,
  - ograničen površinom,
  - područje prostora od površine do unutrašnjosti
  - razlikuje se svojstvima od unutrašnjosti materijala
- **MEĐUFAZA** – površina materijala u kontaktu s okolinom (drugom fazom)
- **POJAVE NA GRANIČNIM POVRŠINAMA**

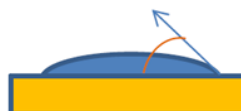
- U međufazi - kontaktom krutine i kapljevine – polimera i tekućine (tiskovne podloge i tiskarske boje)
  - njihova površinska svojstva određuju jakost međudjelovanja kruto – kapljevito
  - MEĐUDJELOVANJE– rezultat slobodne površinske energije krutine i napetosti površine kapljevine
  - *ZNAČAJNE POVRŠINSKE POJAVE MOČENJE KAPILARNOST ADSORPCIJA, APSORPCIJA MEĐUFAZNA NAPETOST SLOBODNA POVRŠINSKA ENERGIJA, ADHEZIJA*
  - Idealna čvrsta površina je atomski ravna i kemijski homogena
  - Čvrste površine su vrlo složene: na njihovim površinama prisutne su brojne male pukotine, agregati malih kristala i razbijenih komadića u svim mogućim orijentacijama, s određenom količinom amornog materijala u međuprostorima
- 
- POVRŠINSKA ENERGIJA ( $\gamma$ )
  - svojstvo materijala: ona mjeri koliko su molekule materijala međusobno privučene, kao i koliko su privučene molekulama drugih materijala
  - Površinska energija je dobar pokazatelj koliko je površina laka ili teška za prijanjanje
  - „dinama“ 1 dyn/cm jednak je 1 mJ/m<sup>2</sup>
  - Koliko je lako ili teško adhezivu da moći površinu materijala ovisi o površinskoj energiji tog materijala
  - Najčešće se površinska energija mjeri pomoću vode
- 
- MOČENJE
  - Močenje se događa kada se tekućina razlijeva ili širi po površini čvrstog materijala
  - Ono omogućuje adhezivu da uspostavi kontakt s površinom materijala s kojim se spaja
  - Ovisno o površinskoj energiji materijala, adheziv će se prirodno razlijevati i širiti po površini ili će imati tendenciju da se skuplja u kapljice
  - Močenje je nužan preduvjet za stvaranje ljepljenog spoja
  - močenje čvrste površine predstavlja karakteristično svojstvo materijala i uvelike ovisi o površinskoj energiji koja proizlazi iz kemijske strukture površine te hrapavosti površine
  - Određivanje stupnja močenja važno je u procesima ljepljenja, pranja, podmazivanja, trenja, nanošenja premaza, flotacije, katalize
  - Najčešće korišteni parametar za karakterizaciju močenja tekućine na čvrstoj površini je kontaktni kut ( $\theta$ )



- **KONTAKTNI KUT**
- Kontaktni kut je kut koji se javlja na granici triju faza: krutina, tekućina i plin (para)
- To je kut između tangentne ravnine na graničnoj površini tekućine i plina te tangentne ravnine na graničnoj površini krutine i tekućine u točki sjecišta triju faza
- Kontaktni kut je kvantitativna mjera moćenja krutine tekućinom



Loše močenje



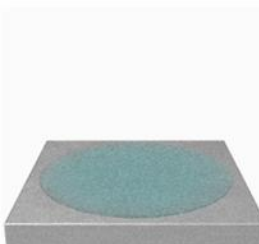
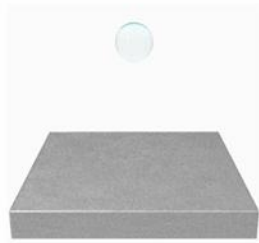
Dobro močenje

- Tiskarska boja se može razliti po površini ili ostati na njoj u obliku kapljice
- Razlijevanje tiskarske boje znak je potpunog moćenja tiskovne podloge
- Ako boja ostaje u obliku kapljice, razina moćenja određuje se kontaktnim kutom, tj. kutom koji kapljica zatvara s površinom supstrata
- Površinska napetost tiskarske boje i njezin utjecaj na močenje tiskovne podloge i otiskivanje
- Površinska napetost tiskarske boje utječe na moćenje supstrata (tiskovne podloge) i mogućnost tiska

- Polarne tekućine karakteriziraju visoke vrijednosti površinske napetosti, dok nepolarne imaju nisku površinsku napetost
- tiskarske boje u kojima se kao otapalo koristi voda (73 mN/m) imatiće veće vrijednosti površinske napetosti, dok će one koje sadrže etil alkohol (24 mN/m) ili druga nepolarne otapala imati niže vrijednosti
- površinska napetost fleksografskih boja na bazi vode kreće se od 34 do 38 mN/m, dok je za one na bazi otapala raspon od 28 do 32 mN/m
- Vrijednosti za inkjet boje su raznovrsnije i kreću se od 22 do 45 mN/m
- Offset i litografske boje imaju površinsku napetost oko 37 mN/m
- boja na bazi otapala, s nižom površinskom napetošću, bolje moči material

- KONTAKTNI KUT

- Visoka površinska energija
- Mnogi metali i staklo imaju visoke površinske energije od 100 ili 1000 dyn/cm. Molekule na površini se međusobno toliko snažno privlače da će vrlo rado biti privučene i molekulama tekućine
- Kao rezultat toga, ovi se materijali relativno lako se moče i, zauzvrat, lijepe
- Materijali visoke površinske energije imaju površinsku energiju reda veličine 100 ili 1000 dyn/cm i uključuju mnoge metale i staklo



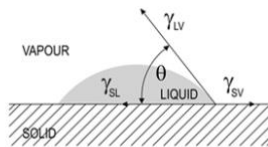
- Srednja površinska energija
- Sintetički plastični materijali i prirodni materijali imaju površinsku energiju od 30 do 300 dyn/cm
- Negdje između potpuno razlivenih filmova i savršeno sferičnih oblika, prirodni materijali poput drva, kamena ili betona



- Niska površinska energija
- Materijali s niskom površinskom energijom (ispod 36 dyn/cm) vrlo se teško lijepe
- Materijali s površinskom energijom ispod 36 dyn/cm smatraju se niskom površinskom energijom i vrlo ih je teško spojiti
- To uključuje poliolefinsku plastiku kao što je polipropilen i polietilen kao i "neljepljive" površine kao što je politetrafluoretilen (PTFE) To uključuje poliolefinsku plastiku kao što je polipropilen i polietilen kao i "neljepljive" površine kao što je politetrafluoretilen (PTFE)



- $\gamma_K$ - slobodna površinska energija krutine
- $\gamma_T$ - napetost površine tekućine
- $\gamma_{KT}$  - međufazna napetost između krutine i tekućine (slobodna energija granične površine krutina/tekućina)



$$\gamma_{SV} - \gamma_{SL} = \gamma_{LV} \cos \Theta$$

$$\cos \theta = \frac{\gamma_K - \gamma_{KT}}{\gamma_T}$$

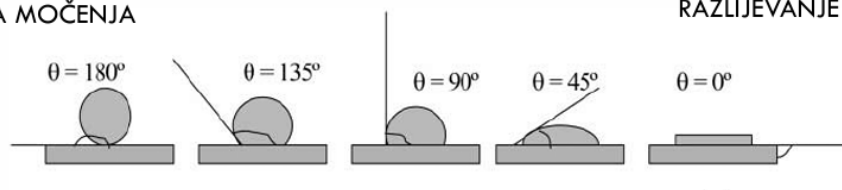
- Na krutini male površinske energije  $\gamma_K$ , molekule u tekućini koje se nalaze odmah do površine krutine, gurane su jače u unutrašnjost tekućine nego što su privučene sa strane krutine; molekule tekućine su odvojene od krutine
- Postoji velika slobodna energija na granici faza krutina/tekućina ili velika međufazna napetost ( $\gamma_{KT}$ )
- Postoji velika napetost u međufaznom sloju, međufazna napetost  $\gamma_{KT}$
- U slučaju dobrog močenja međufazna napetost je mala

$\Theta = 0^\circ$   $\cos \Theta = 1$  kada je  $\gamma_T = \gamma_K - \gamma_{KT}$   
 → veća slobodna površinska energija krutine i mala međupovršinska napetost ( $\gamma_{KT}$ ) → Adhezija će biti spontana samo ako je slobodna površinska energija krutine  $\gamma_K$  veća od površinske napetosti tekućine  $\gamma_T$

$$\Theta = 90^\circ \cos \Theta = 0 \quad \gamma_{KT} = \gamma_K$$

$\Theta = 180^\circ \cos \Theta = -1 \quad \gamma_T = \gamma_{KT} \rightarrow$  Manja slobodna površinska energija krutine ( $\gamma_K$ ), veća međupovršinska napetost ( $\gamma_{KT}$ ) →  $\gamma_T > \gamma_K$

NEMA MOČENJA

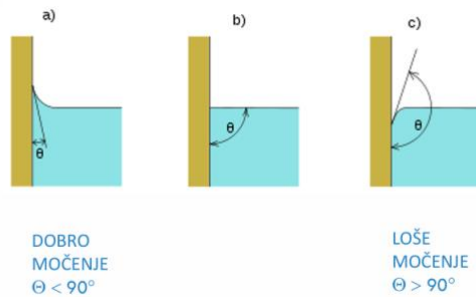


RAZLIJEVANJE

- Npr. ako je kontaktni kut vode na nekoj površini veći od  $90^\circ$  površina krutine, to znači da je hidrofobna i voda neznatno moči tu krutinu. Ako je kontaktni kut vode manji od  $90^\circ$ , to znači da voda dobro moči tu površinu i da je ta površina hidrofilna

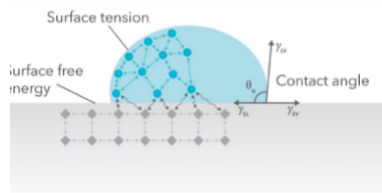


U kapilari:



- Određivanje kontaktnog kuta Metoda viseće kapi (engl. Sessile drop method), instrument za mjerenje kontaktnog kuta = optički goniometer
- Kontaktni kut je kvantitativna mjera močenja krutine tekućinom
- Adhezija će biti spontana samo ako je slobodna površinska energija Krutine napetosti tekućine  $\gamma$   $\gamma_K$  veća od površinske
- SLOBODNA POVRŠINSKA ENERGIJA (SFE,  $\gamma$ )
- Što materijal ima veću slobodnu površinsku energiju to će njegove jedinice na površini imati veću težnju da stupe u interakcije s jedinkama u drugoj fazi i da tako smanje površinsku energiju
- DEFINICIJA PREMA FOWKESU  $\gamma = \gamma_d + \gamma_i + \gamma_p + \gamma_h + \gamma_\pi + \gamma_{ad} + \gamma_e + \dots$
- Metode određivanje slobodne površinske energije krutina – indirektne metode Zasnivaju se na mjerenju kontaktnih kuteva referentnih tekućina (poznatih površinskih napetosti) na površinama krutina
- Određivanje kritične površinske energije prema Zismanu (1964)
- Određivanje površinske energije prema Owens Wendt Metodi

Indirektne metode -Određivanjem kontaktnog kuta između krutine i tekućine poznate  $\gamma$



YOUNGOVA JEDNADŽBA (1805) –  
ravnoteža sila u trajnoj točki

$$\gamma_K = \gamma_{KT} + \gamma_T \cos \Theta \quad (2)$$

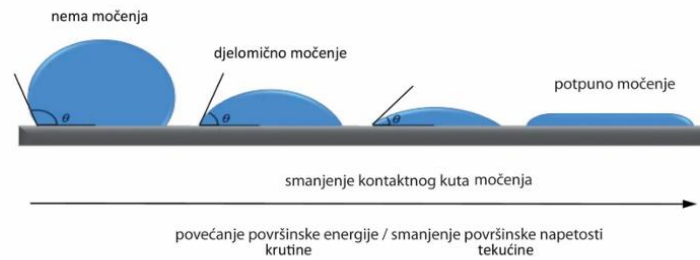
$$\cos \Theta = \frac{\gamma_K - \gamma_{KT}}{\gamma_T} \quad (3)$$

$\gamma_K$  – slobodna površinska energija krutine

$\gamma_T$  – slobodna površinska energija (ili napetost površine,  $\gamma$ ) tekućine

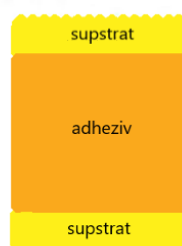
$\gamma_{KT}$  – međufazna napetost između krutine i tekućine

#### Određivanje kontaktnog kuta između krutine i tekućine poznate $\gamma$



- Određivanje kritične površinske energije prema Zismanu
- Model pretpostavlja da je SFE krutine jednaka maksimalnoj površinskoj napetosti tekućine  $\gamma_c$  koja će dati kut močenja  $\theta$  jednak nuli
- Određivanje površinske energije prema Owens Wendt metodi
- slobodna energija površina tekućina i krutine sastoji se od dviju komponenta: disperzijske (d) i polarne (p):  $\gamma = \gamma_d + \gamma_p$
- $\gamma$  – slobodna površinska energija  $\gamma_p$  – polarna komponenta slobodne površinske energije  $\gamma_d$  – disperzijska komponenta slobodne površinske energije
- ADHEZIJSKI SPOJ
- spajanje dva materijala uz istovremeno podnošenje naprezanja kojima će ti materijali biti izloženi tijekom upotrebe
- Adhezijska čvrstoća je sila potrebna za odvajanje dvaju lijepljenih dijelova na međupovršini
- ADHEZIJSKO VEZIVANJE – Metoda kojom se materijali spajaju i tvore cjelinu
- ABHEZIJA- uvjeti minimalne adhezije, tj. nepostojanja adhezije

presjek adhezijskog spoja



- Osnovne faze spajanja (stvaranja adhezijskog spoja) su:
  1. Izbor i priprema adheziva.
  2. Priprema površine supstrata.
  3. Nanošenje adheziva.

4. Sastavljanje spoja.
5. Post kondicioniranje.
6. Kontrola kvalitete, lijepljenog spoja

## NANOŠENJE ADHEZIVA

- Obuhvaća niz postupaka.
  - Ovisno o postupku prilagođava se viskoznosti adheziva.
  - Optimizira se debljina sloja adheziva i dr.
- **Nanošenje adheziva.**
  - Pomoću ručnog alata - Kistovi četke, lopatice, noževi.
  - Nedostatak ove metode je nejednolična debljina sloja.
- Taljivi adhezivi se nanose posebnim pištoljima s patronama adheziva, grijačima i štapovima za istiskivanje stlačenim zrakom.

## SASTAVLJANJE SPOJA

- Sastavljanje spoja ovisi o vrsti adheziva i materijala koji se spajaju.
    - Obuhvaća različite operacije
  - Nakon nanošenja adheziva, spoj se mora fugirati i fiksirati unutar odgovarajućeg vremena pod tlakom.
    - U tu svrhu upotrebljavaju se preše, tlačni valjci, stegе i slično
  - Za toplinske operacije očvršćivanja adheziva upotrebljavaju se peći s cirkulacijom vrućeg zraka, uređaji za radijacijsko ili kontaktno grijanje.
  - Grijane preše se upotrebljavaju za termičko očvršćivanje polikondenzacijskih adheziva.
- Čvrstoća adhezijskog spoja ovisi o:

mehaničkim svojstvima materijala pojedinih komponenata slijepljenog spoja (Adheziva i supstrata), Veličini međupovršinskog kontakta, Radu adhezije, odnosno energiji površine i moćenju intermolekularnim interakcijama na međupovršini (adheziv/supstrat), geometriji slijepljenog spoja, načinu djelovanja vanjskog opterećenja , o viskoelastičnim svojstvima adheziva, Zaostalom naprezanju u slijepljenom spoju

Čvrstoća adhezijskog spoja može se opisati izrazom

$$\sigma = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{\xi}{\beta} - s \right)$$

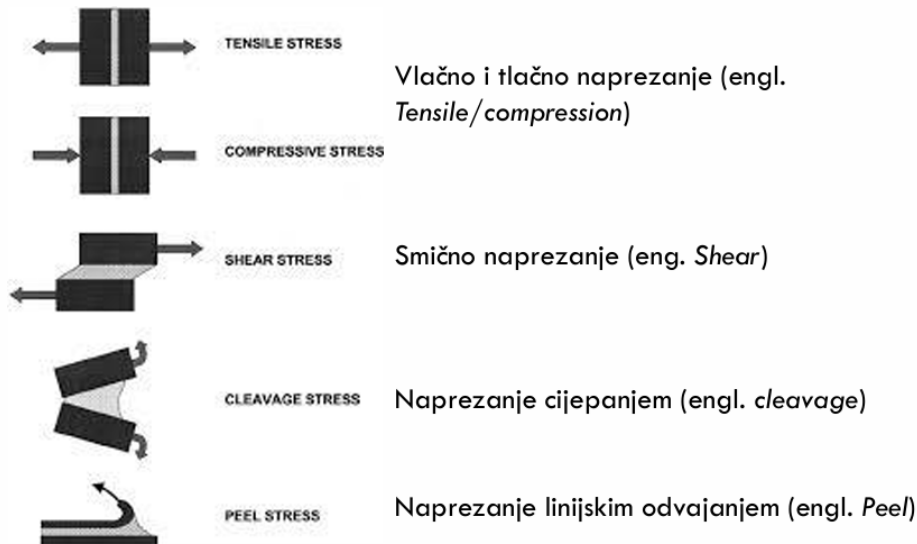
$\sigma$  - naprezanje pri lomu

$\alpha$  - faktor naprezanja slijepljivog spoja nastalog zbog razlike mehaničkih svojstava supstrata i adheziva

$\xi$  - kohezijska čvrstoća spoja (rastezna čvrstoća)

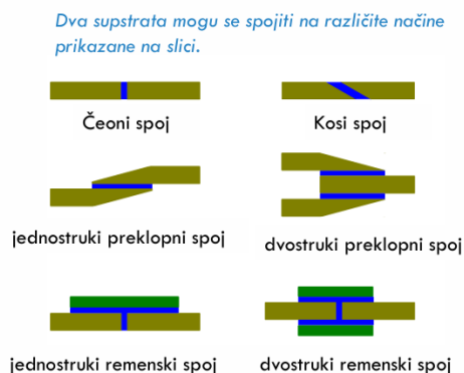
$\beta$  - Analogijski faktor koji označava heterogenost krutih tvari spoja (10 -100 ovisno o uvjetima)

$s$  - naprezanje zbog stezanja adheziv očvršćavanjem



- Smično naprezanje (eng. *Shear* )
- Najpovoljnije naprezanje adhezijskog spoja
- Sile djeluju u ravnini adheziva koji se pokušava odvojiti od supstrata
- Čitava površina spoja doprinosi čvrstoći spoja čvrstoća
- Naprezanje linijskim odvajanjem (engl. *Peel* )
- Najnepovoljnije naprezanje adhezijskog spoja
- Ukoliko je jedan od supstrata savitljivi materijal
- Sile djeluju na usku graničnu zonu spoja
- Naprezanje nije jednoliko raspoređeno duž zone spoja
- Vlačno i tlačno naprezanje (engl. *Tensile / compression* )
- nastaje kada se na liniju spoja primijeni gotovo jednoliko naprezanje
- U tom stanju, sloj ljepila nije izložen nikakvom momentu savijanja
- Naprezanje cijepanjem (engl. Vlačno i tlačno naprezanje (engl. *Tensile / compression* )

- nastaje kada se na liniju spoja primijeni gotovo jednoliko naprezanje kao što je prikazano na slici
- U tom stanju, sloj ljepila nije izložen nikakvom momentu savijanja cleavage )
- nastaje zbog primijenjenog momenta savijanja, koji se obično generira u spoju s debelim podlogama.
- ovo stanje opterećenja uzrokuje nejednoliku raspodjelu naprezanja duž linije spoja.
- Značajna koncentracija naprezanja tada se stvara na rubovima preklapanja
- spoj treba biti projektiran na način da se izbjegnu naprezanja cijepanja



Preklopni i trakasti (remenski) spojevi pružaju maksimalnu čvrstoću lijepljenja.

- Čeoní spoj – nepovoljno    Kosi spoj – vrlo povoljno    Dvostruki preklopni spoj – povoljno
- Test smične čvrstoće (Shear test)
- Dva materijala se lijepe jedan uz drugi, a zatim se izlažu silama koje djeluju paralelno s površinom spoja
- Test linijskog odvajanja ili ljuštenja (engl. Peel )
- Ovim testom mjeri se sila potrebna da se jedan materijal „odlijepi“ od drugog, povlačenjem pod određenim kutom (najčešće 90° ili 180°). Jedan dio uzorka ostaje čvrsto pričvršćen, dok se drugi dio podiže
- Koristi se kod tankih materijala kao što su folije, trake i laminati, posebno u ambalaži, tekstilu i elektronici
- Test čeonog spoja (Butt joint test)
- Dva uzorka se lijepe krajevima (okomito jedan na drugi), a zatim se sila primjenjuje duž osi spoja kako bi se testirala čvrstoća na zatezanje

- Potrebno je utvrditi na kojem mjestu dolazi do POPUŠTANJA

- **POPUŠTANJE U LJEPLJENOM SPOJU**

- ADHEZIJSKO
- KOHEZIJSKO
- ILI KOMBINACIJA OBA
- MATERIJALA



ADHEZIJSKO  
POPUŠTANJE



KOHEZIJSKO  
POPUŠTANJE

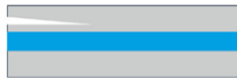
**ADHEZIJSKO POPUŠTANJE** (u sustavi s niskim interakcijama) – **međupovršina je slabo mjesto**

- Delaminacija i odvajanje dvaju različitih materijala
- Npr. odvajanje između boje i podloge, ili između ljeplila i jedne od dviju podloga koje ono međusobno spaja

**KOHEZIJSKO POPUŠTANJE** (u unutrašnjosti adheziva) – **jake interakcije na međupovršini** supstrat /adheziv

- Npr. unutar samog ljeplila ili unutar sloja premaza

### STRUKTURNO POPUŠTANJE ili POPUŠTANJE PODLOGE



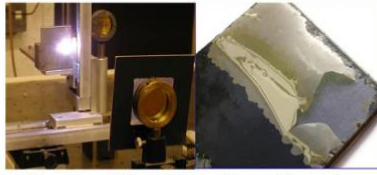
nije izravno povezano s procesom lijepljenja,  
već je problem u samoj podlozi

- Osnovna zadaća adheziva: Močiti površinu – mora se razljevati i stvarati kontakt s površinom na koju je nanesen, Mora se stvrdnuti – stvaranje trajnih stabilnih veza na međupovršini (Tvorba kohezivno čvrstog tijela kemijskom reakcijom, isparavanjem otapala, ili hlađenjem (hot melt))
- POSTOJANOST ADHEZIJSKE VEZE određene je stupnjevima
  1. Močenja površine i razlijevanja
  2. Očvršćivanjem
  3. Područjem djelovanja
- glavna komponenta adheziva je organski polimer, ili jedna ili više (obično dvije) tvari koje kemijskom reakcijom mogu tvoriti polimer
- U trenutku nanošenja, adheziv mora biti u tekućem stanju, jer mu to omogućuje da ostvari molekularni kontakt s podlogama; drugim riječima, mora dobro močiti površine. Nakon toga mora očvršnuti (očvršnuti ili umrežiti se) u kohezivnu krutinu (iznimka su ljepila osjetljiva na pritisak, koja ne očvršćuju, već ostaju trajno ljepljiva)
- ADHEZIVI SE klasificiraju prema načinu na koji očvršćuju (isparavanje otapala, gubitka vode, hlađenjem ili kemijskom reakcijom)
- OSNOVNA SVOJSTVA ADHEZIVA
  1. Staklište (temperatura staklastog prijelaza)
  2. Umrežavanje (engl. crosslinking)
  3. Kristalizacija

- STAKLIŠTE (TEMPERATURA STAKLASTOG PRIJELAZA) (  $T_g$  )
- Na niskim temperaturama - polimeri su u staklastom stanju → relativno tvrdi i nefleksibilni
- Na određenoj temperaturi, karakterističnoj za svaki polimer, materijal postaje mekan i fleksibilan te prelazi u gumasto ili kožasto stanje → PRIJELAZ se naziva staklastim prijelazom, a događa se na temperaturi staklastog prijelaza ( $T_g$ )
- staklasti prijelaz je svojstvo amorfne faze
  
- UMREŽAVANJE
- Linearni kondenzacijski polimeri nastaju iz dvofunkcionalnih monomera, a dodatak monomera s tri ili više funkcionalnih skupina uzrokuje umrežavanje (npr. epoksidi)
  
- KRISTALIZACIJA
- djelomično kristalični adhezivi: osjetljivi na toplinu (kao što su poliamidi i kopolimeri etilen-vinil acetata), zatim polikloropren, poliestere i poli(etere uretane)
- Da bi polimer mogao kristalizirati, mora imati molekularnu simetriju
- STVRDNJAVANJE
- proces tijekom kojeg tekuće ljepilo prelazi u čvrsto stanje, stvarajući trajnu vezu
- ADHEZIVI KOJI OČVRŠĆUJU ISPARAVANJEM OTAPALA: Kontaktna ljepila, ljepila na bazi otapala
- ADHEZIVI KOJI OČVRŠĆUJU GUBITKOM VODE: Lateks-ljepila: najvažnija skupina ljepila na bazi vode, sadrže vodotopive tvari potrebne za proizvodnju i stabilizaciju lateksa, koje nakon sušenja ostaju u ljepilu, Vodene otopine i paste (škrob, kukuruz, kukuruzna krupica)
- ADHEZIVI KOJI OČVRŠĆUJU HLAĐENJEM: Ljepila osjetljiva na toplinu (hot melt)
- ADHEZIVI KOJI OČVRŠĆUJU KEMIJSKOM REAKCIJOM: KONDENZACIJSKA POLIMERIZACIJA, ADICIJSKA POLIMERIZACIJA (Epoksidi, Fenolna ljepila za metale, Strukturna akrilna ljepila, Adhezivi za visoke temperature, Adhezivi na bazi kondenzata formaldehida za drvo)
- ADHEZIVI OSJETLJIVI NA PRITISAK - Široko se koriste u raznim primjenama poput etiketa, pakiranja i sastavljanja proizvoda

### PRIPREMA POVRŠINE METALA

- Za uspješnu adheziju najvažnija je pravilna priprema površine, odabir odgovarajućih kemijskih ili mehaničkih metoda te razumijevanje specifičnosti pojedinog metala → osigurava se čvrst, dugotrajan i pouzdan spoj



(Lijeva strana) Laboratorijski uređaj za plazma čišćenje kontaminirane niklove podloge i (desna strana) odvajanje filma uzrokovano laserskom ablacijom

### PRIPREMA POVRŠINE POLIMERA

- niska površinska energija otežava proces adhezije
- Prethodna obrada polimerne površine (npr. prije lijepljenja, bojanja, tiska, metalizacije itd.) provodi se kako bi se uklonila površinska kontaminacija (surfaktant, plastifikator itd.), povećala površinska energija plastike (početna nepolarna hidrofobna površina), smanjio kontaktni kut, poboljšalo močenje i povećao rad adhezije.
- Aktivacija površine uvođenjem funkcionalnih skupina poboljšat će adheziju. „Čiste“ glatke plastične površine teško je održavati u industrijskim procesima i u okolišu – kontaminanti stvaraju slabe granične slojeve (WBL) koje treba ukloniti s površine.

### PRIPREMA POVRŠINE POLIMERA

- **Primjeri modifikacije površine polimera**
- **Poliolefini (npr. Polietilen niske gustoće - LDPE)**
- Koristi se kao ambalažni materijal.
- Površina se funkcionalizira radi poboljšanja prijanjanja tiskarske boje.
- Metode: plamena obrada, korona pražnjenje (CDT), tretman kromnom kiselinom, plazma tretman.



### PRIPREMA POVRŠINE STAKLA

- Čiste staklene površine imaju visoku površinsku slobodnu energiju, što olakšava prijanjanje
- Kontaktni kut vode na čistom staklu je nizak što znači da je površina vrlo močiva
- Staklo je često kontaminirano organskim tvarima, pa je čišćenje presudno za dobru adheziju.
- Najjednostavnije metode čišćenja su upotreba deterdženata ili organskih otapala.
  - takve metode mogu dati dobru početnu adheziju, ali lošu otpornost spoja na vlagu

### PRIPREMA POVRŠINE STAKLA

#### PLAZMA PREDOBRAĐA



- učinkovito čisti staklene površine i povećava njihovu aktivnost (površinska energija oko  $70 \text{ mJ/m}^2$ ).
- Kombinacijom s i prethodnim tretmanom deioniziranom vodom dodatno poboljšava adheziju
- Plazma proces zagrijava površinu stakla do cca  $200^\circ\text{C}$ , što može smanjiti broj reaktivnih  $-\text{OH}$  skupina na površini.
- Prethodni tretman deioniziranom vodom nadoknađuje taj gubitak stvaranjem dodatnih reaktivnih skupina.