

**SLOBODNA POVRŠINSKA
ENERGIJA**

ADHEZIJA

TEORIJE ADHEZIJE

Ak. god.:
2024./25

POVRŠINSKI I ADHEZIJSKI FENOMENI

Površinski i adhezijski fenomeni osnovni su koncepti za razumijevanje procesa na graničnim slojevima polimera, definicija međufaze/međufaze, međufaznih polimernih slojeva, modifikacija i identifikacija površina, polimernih materijala gdje međufaza igra ključnu ulogu u određivanju svojstava kao i ponašanja ljepila, polimernih kompozita i nanosustava.

Ponašanje polimera na međupovršinama je od temeljne važnosti u širokom rasponu tehnologija i primjena:

Industrijski procesi podrazumijevaju površinski aktivne komponente poput katalizatora, koloida, surfaktanata, ljepila, premaza.

Razvoj različitih proizvoda temelji se na jedinstvenim svojstvima međupovršina (fotografski filmovi, ljepila, membrane, kompoziti itd.).

Drugačija priroda površine polimera, nego u rasutom stanju, posljedica je različite molekularne težine

ADHEZIJA I KOHEZIJA

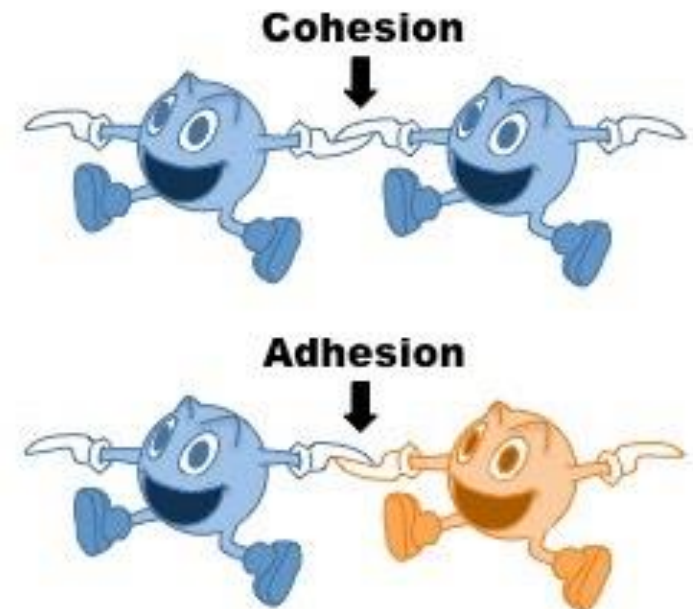
Kohezija

međusobno privlačenje između molekula iste tvari, npr. molekula vode koje se drže zajedno zahvaljujući vodikovim vezama

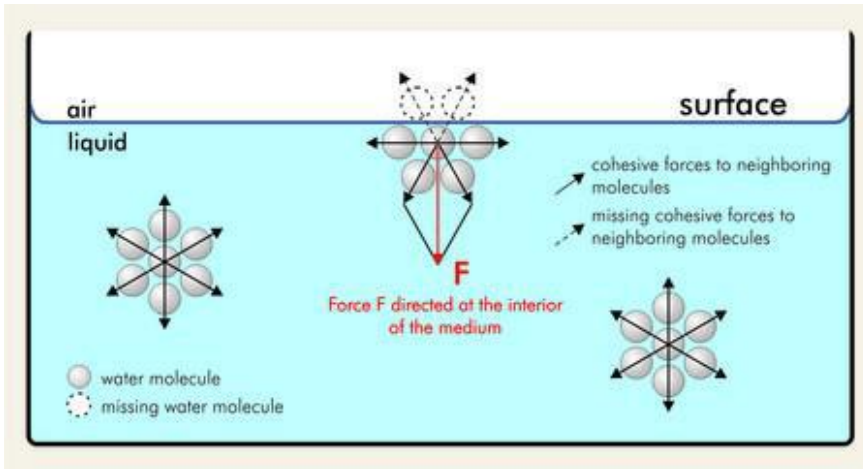
Što su jače kohezijske interakcije (sile) to je materijal čvršći.

Adhezija

privlačenje između molekula različitih tvari — između molekule vode i površine stakla ili biljke

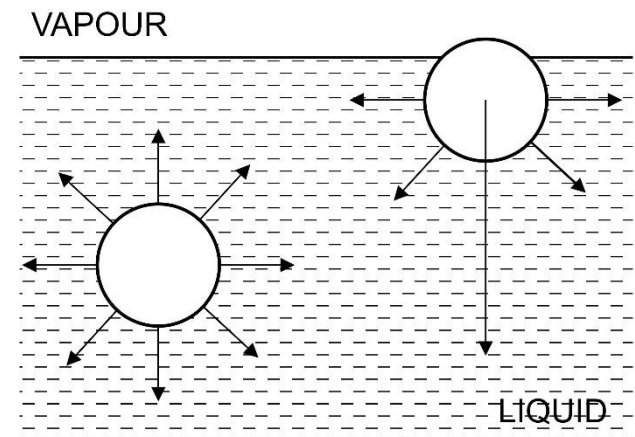


POVRŠINSKA NAPETOST (*ENGL. SURFACE TENSION*)



Rezultantna sila adhezijskih i kohezijskih sila na granici faza naziva se napetost površine. Ta sila djeluje okomito na jedinicu duljine površine tekućine.

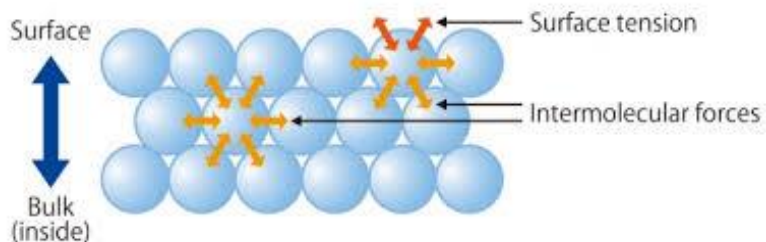
Pošto su kohezijske sile unutar tekućine jače u odnosu na adhezijske, molekule tekućine na graničnoj površini podliježu privlačenju sa strane molekula u Unutrašnjosti tekućine.



POVRŠINSKA NAPETOST KRUTINA

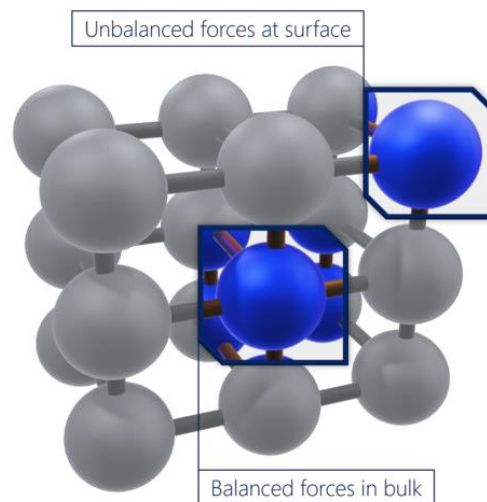
(ENGL. SURFACE FREE ENERGY)

Napetost površine također postoji i u krutinama (granica faza krutina/zrak), unutarnje privlačenje na površinske atome (ili molekule, funkcijske skupine, ione...) zbog kohezije je uvijek prisutno, isto kao i kod tekućina



Pošto su u krutinama jake kohezijske sile, napetost površine krutina je velika.

Neuravnotežene sile na površini



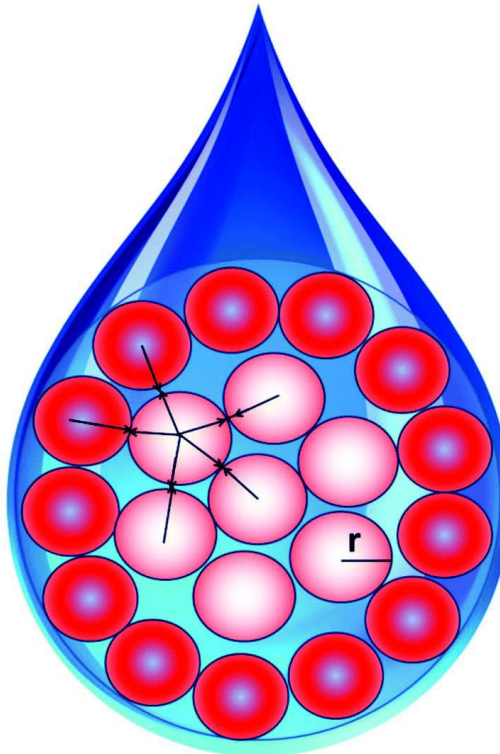
Uravnotežene sile u unutrašnjosti

POVRŠINSKA NAPETOST KRUTINA

(ENGL. SURFACE FREE ENERGY)

Za razliku od krutina, zbog velike pokretljivosti molekula tekućine, površine tekućine imaju ravnotežnu konfiguraciju (minimalnu energiju svi prirodni procesi teže smanjenju energije)

S druge strane, za razliku od tekućina, građevne jedinice krutine su u fiksnom položaju, mogu samo vibrirati, nisu u stanju da poprime minimalnu energiju (ravnotežnu konfiguraciju)



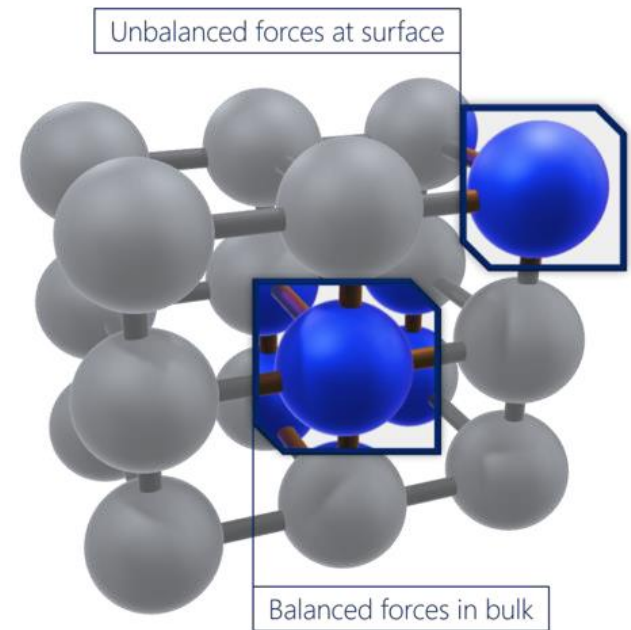
Promjene oblika krutih površina koje su posljedica napetosti površine su mnogo sporije nego u tekućinama i bilo bi potrebno znatno vrijeme (čak i beskonačno) da građevne jedinice dođu u njihove ravnotežne položaje

Zbog toga je mjerenje napetosti krutih površina vrlo teško, upotrebljavaju se indirektne metode. Napetost površine tekućina može se eksperimentalno odrediti (direktno stalagmometar)

POVRŠINSKA NAPETOST KRUTINA

(ENGL. SURFACE FREE ENERGY)

- Međumolekulske interakcije smanjuju energiju molekula. Zato molekule krutine u unutrašnjosti imaju manju energiju u odnosu na molekule na granici faza krutina/zrak.
- Molekule na površini krutine (granica faza krutina/zrak) podliježu manjem broju interakcija u odnosu na molekule u unutrašnjosti
- Razlika energije molekula na površini i u unutrašnjosti zove se slobodna energija površine
- Na površini postoje neuravnotežene sile
- U unutrašnjosti su uravnotežene
- Molekule na površini teže smanjiti višak slobodne energije na način da stupe u interakcije s nekim drugim molekulama (najčešće s tekućinama)



POVRŠINSKA NAPETOST KRUTINA

(ENGL. SURFACE FREE ENERGY)

Na površini (krute tvari ili tekućine) postoji višak energije i korelacija između veličine površinske energije i čvrstoće veza koje treba prekinuti (disperzija, vodik, metal itd.).

Energija potrebna za prekid tih veza je površinska energija.

Površinska energija, γ , treba se smatrati zbrojem energije potrebne za prekid svih veza koje treba prekinuti.

Fowkes je predložio jednadžbu (1):

$$\gamma = \gamma^d + \gamma^p + \gamma^h + \dots$$

Superskripti se odnose na disperzijske sile (d), polarne sile (p), vodikove veze (h) i druge.

Površina je uvijek dio međufaze (čak i ako je druga faza vakuum). Izraz 'površinska energija' primjenjuje se isključivo na tvar u kontaktu s vakuumom - u praksi je površina u kontaktu sa zrakom ili parom.

Površinska napetost je koncept povezan s površinskom energijom. Molekule i/ili atomi na površini su, zbog privlačenja iz mase, u stanju veće površinske napetosti, kao rezultat intermolekularnih sila koje nastoje razdvojiti broj molekula na površini. S druge strane, veća površinska energija rezultat je intermolekularnih udaljenosti jer je potreban dodatni rad za zadržavanje molekula na površini.

POVRŠINSKA NAPETOST KRUTINA

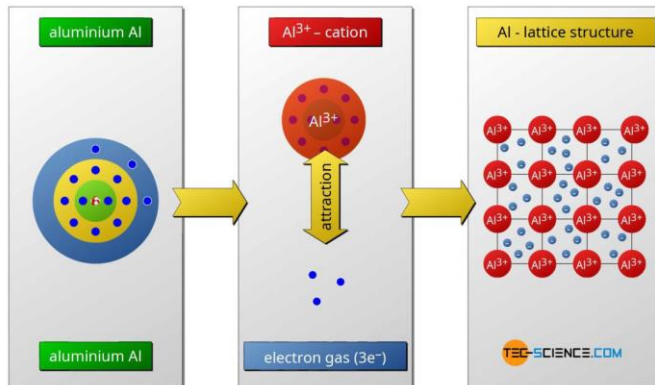
(ENGL. SURFACE FREE ENERGY)

- 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
- Drugi način objašnjenja slobodne površinske energije je da se poveže s radom potrebnim za rezanje krutine stvarajući dvije površine
- Što je veća energija potrebna za rezanje to znači da materijal ima veću energiju površine
- To pak znači da su u materijalu prisutne jače kohezijske sile
- Zato materijali s jakim kohezijskim silama imaju najveće slobodne površinske energije

POVRŠINSKA NAPETOST KRUTINA

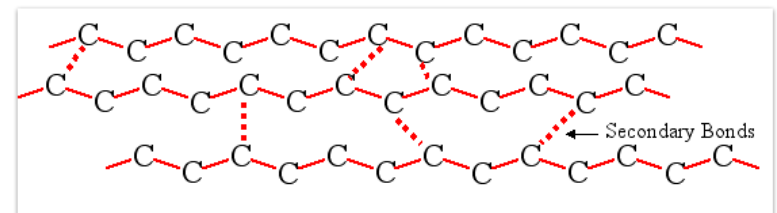
(ENGL. SURFACE FREE ENERGY)

- U slučaju metala, slobodna površinska energija je velika zbog jakih metalnih veza između kationa metala.
- U polimerima, molekularne interakcije su obično mnogo slabije i stoga je slobodna površinska energija mala.



Metalna veza

Slobodni elektroni struje između pozitivnih iona, koji su nastali oslobađanjem valentnih elektrona, prema određenim zakonitostima. Oni također međusobno privlače i povezuju pozitivne ione zbog djelovanja Coulonovih sila.



Sekundarne veze u polimerima:
dipol - dipol, vodikove,
disperzijske

POVRŠINSKA NAPETOST KRUTINA

(ENGL. SURFACE FREE ENERGY)

Površinska napetost tekućina i slobodna površinska energija krutina važni su jer nam govore o tome koliko su jaka privlačenja između molekula. Krutine velike slobodne površinske energije i tekućine velike površinske napetosti imaju visoka tališta odnosno vrelišta: jaka intermolekularna privlačenja.

Primjer: boja na papiru. Želimo da se boja raširi (spread) i prihvati na površinu papira kada se nanosi putem pisača ili čak kemijske olovke. Ako su molekule u boji jako privučene jedna drugoj (pokazuju veliku površinsku napetost) kad dođu u dodir s površinom papira neće se htjeti raširiti i prihvatiti za površinu papira. S druge strane, molekule u tekućini male površinske napetosti nisu jako privučene jedna drugoj; umjesto toga će se raširiti i prihvatiti na površinu na kojoj se želi pisati.



Slika. Premaz boje se lako skida prije vremena zbog slabe adhezije. Slaba adhezija premaza boje rezultira ljuštenjem.

POVRŠINSKA NAPETOST KRUTINA

(ENGL. SURFACE FREE ENERGY)

Boja male površinske napetosti će se širiti i prijanjati na površinu papira jer privlačne sile molekula na površini papira povlače molekule boje.

Sile adhezije moraju nadvladati sile kohezije unutar tekućine!

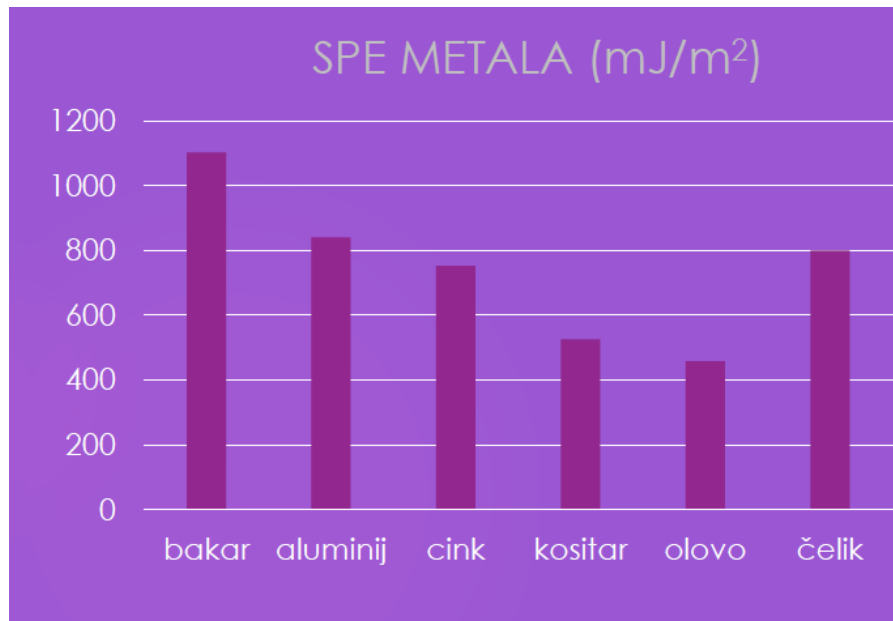
Informacija o tome kako tekućine reagiraju na čvrste površine jedan je od razloga zašto površinska napetost i slobodna površinska energija imaju vrlo stvarne implikacije u proizvodnim procesima. Razumijevanje ovog odnosa i kemijskih procesa koji se odvijaju na sučelju površina može imati veliki utjecaj na optimizaciju procesa i kontrolu procesa.



POVRŠINSKA NAPETOST KRUTINA

(ENGL. SURFACE FREE ENERGY)

Krute površine velikih slobodnih površinskih energija
(High Surface Energy) -METALI

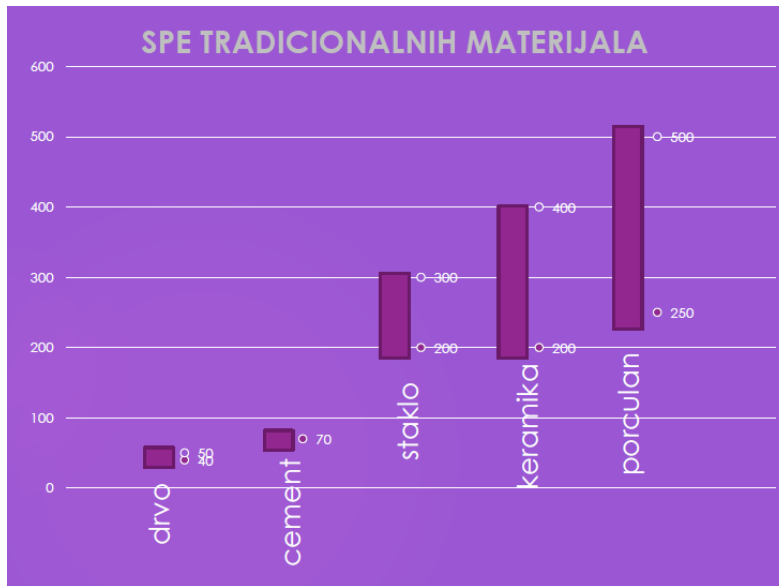


Imaju vrlo velike slobodne površinske energije i zato se vrlo lako može s različitim tekućinama.

POVRŠINSKA NAPETOST KRUTINA

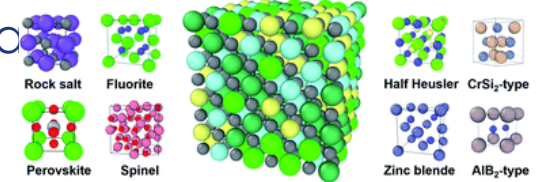
(ENGL. SURFACE FREE ENERGY)

Krute površine srednjih slobodnih površinskih energija (Medium Surface Energy): drvo, kamen, beton, ...

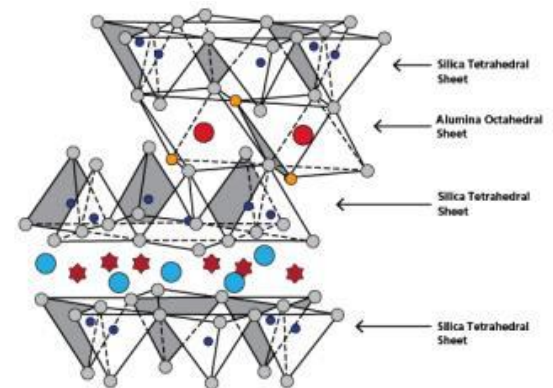


Ovo je široka i raznolika skupina: u osnovi uključuje materijale koji imaju veće površinske energije od plastike, a manje od metala. Uključuje staklo, keramiku, beton, drvo, kožu i tkanine. Tradicionalne materijale je relativno lako povezati, ali svaki od njih ima svoja razmatranja.

Structural diversity of High Entropy Ceramics



Slika. Najčešće keramike imaju kristalnu ionsku strukturu.



Slika. Struktura porculana

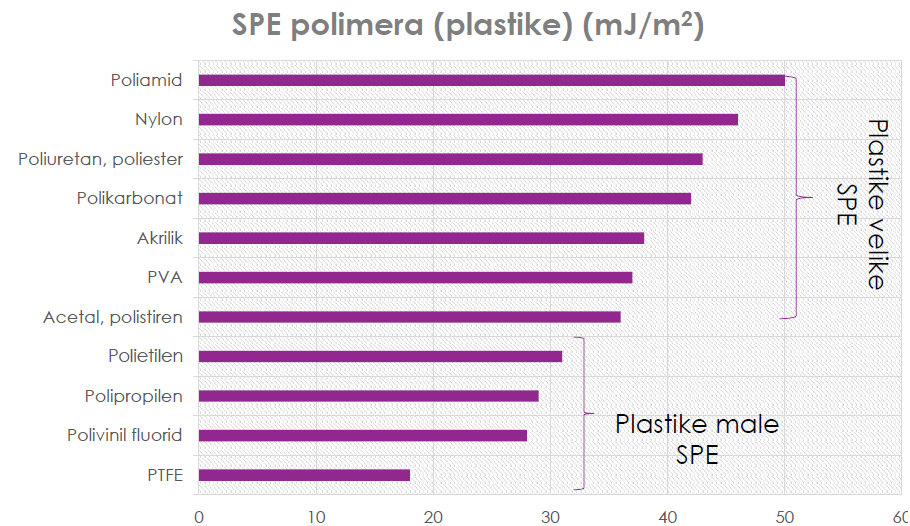
POVRŠINSKA NAPETOST KRUTINA

(ENGL. SURFACE FREE ENERGY)

Krute površine malih slobodnih površinskih energija (LowSurface Energy): polimeri

Polimeri male SPE je uglavnom mekana, male gustoće i ima nisku točku taljenja. Hidrofobni materijali u kojima su molekule povezane disperzijskim interakcijama.

Mogu stupati samo u disperzijske interakcije s Polimeri velike SPE su hidrofilniji. Osim disperzijskim interakcijama mogu stupati i u slabe elektrostatske interakcije (dipol dipol te vodikove interakcije) s drugim molekulama



POVRŠINSKA NAPETOST KRUTINA

(ENGL. SURFACE FREE ENERGY)

Slobodna površinska energija (γ) i površinska napetost imaju iste dimenzijske vrijednosti (SI jedinica slobodne površinske energije : $\text{Jm}^{-2} = \text{N m m}^{-2} \text{ N m}^{-1}$)

Međufazna napetost (energija međufaze) između faza A i B povezana je s površinskom energijom faza. Međufaza između faza je stabilna kada:

$$\gamma_{AB} < \gamma_A + \gamma_B$$

$$\gamma_{AB} = \gamma_A + \gamma_B - \Delta$$

Površina ne može postojati sama za sebe – ona je dio granice između dvije faze (A i B) (čak i ako je jedna faza vakuum).

POVRŠINSKA NAPETOST KRUTINA

(ENGL. SURFACE FREE ENERGY)

Površinska energija (γ), a time i rad adhezije (W_A), predstavlja zbroj komponenti povezanih s vrstama vezivanja u skladu s kemijskom prirodom materijala.

$$\gamma = \gamma^d + \gamma^p + \gamma^h + \gamma^{ab} + \dots$$

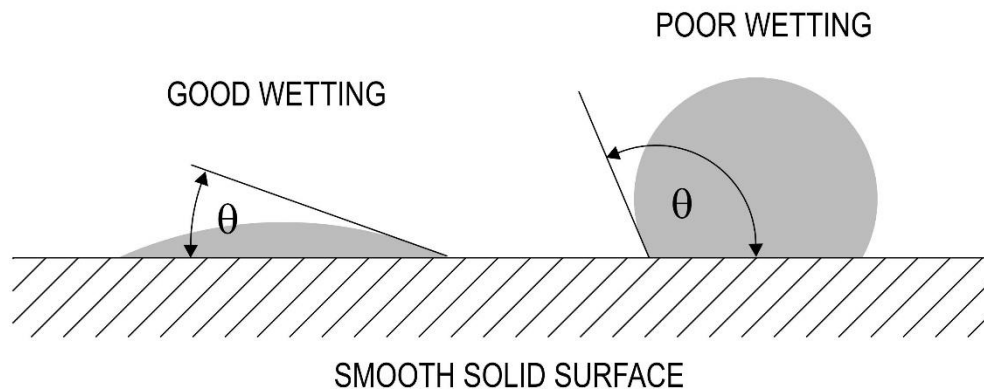
$$W_A = W_A^d + W_A^p + W_A^h + W_A^{ab} + \dots$$

gdje se gornji indeksi odnose na disperzijsku silu (d), polarnu silu (p), vodikovu vezu (h), kiselinsko-bazne interakcije (ab) itd.

POVRŠINSKA NAPETOST KRUTINA

(ENGL. SURFACE FREE ENERGY)

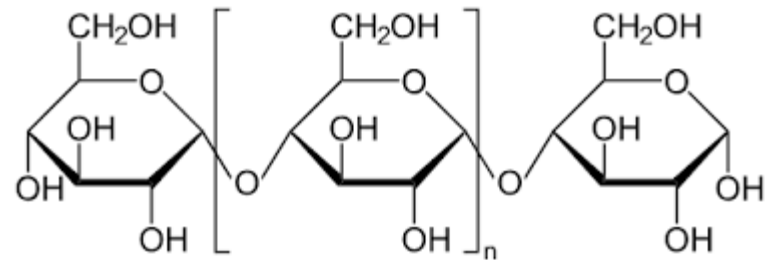
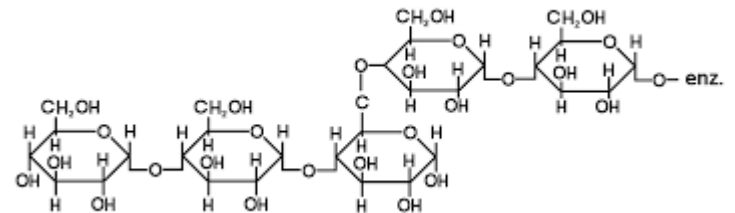
Dobar eksperimentalni primjer važnosti površinske kemije je kontaktni kut vode (ili drugih tekućina) na plastičnoj površini. Niski kontaktni kut ukazuje na međusobno privlačenje koje smanjuje međupovršinsku energiju, a visoki kontaktni kut sugerira suprotno.



ADHEZIVI



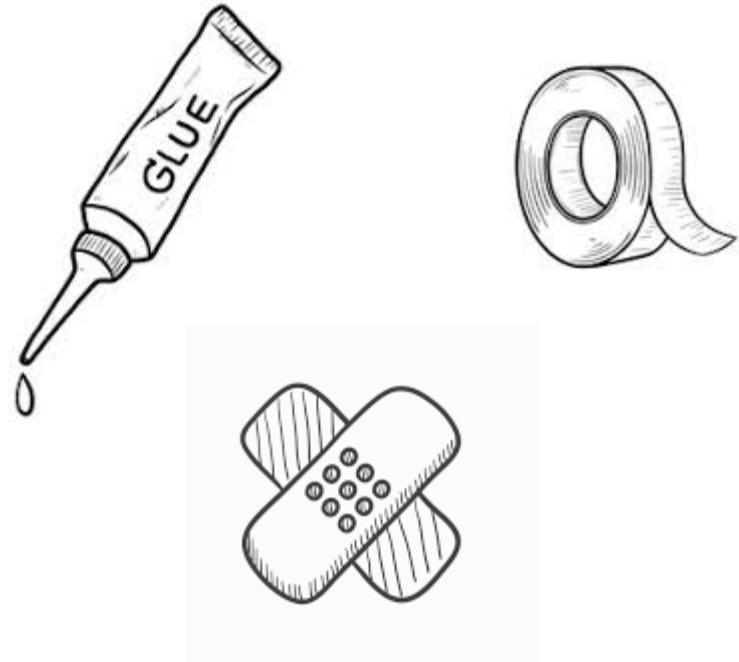
- Ljepila – doba Egipćana
 - Iz biljaka i životinja
- 20 stoljeće – sintetička ljepila
- Adhezivi životinjskog porijekla : kolagen (protein)
- Adhezivi biljnog porijekla: polisaharidi (škrob i dekstrin) iz kukuruza, pšenice, rajčice i riže



ADHEZIVI

Danas u primjeni

- Ambalaža
- Knjigoveštvo (hot melt adhezivi)
- Obuća
- Zrakoplovstvo
- Dentalna medicina



- **ADHEZIVI NISU SAMO MATERIJALI KOJI SLUŽE KAKO BI SE DVIJE RAZLIČITE STVARI SPOJILE, VEĆ SU ADHEZIVI I ADHEZIJA BITNI I U TISKU I DRUGIM POVRŠINSKIM PREMAZIMA, TE NA GRANICAMA FAZA U KOMPOZITNIM MATERIJALIMA**

ADHEZIJA

- Glavni zahtjev adhezijskog spoja je spajanje dvaju materijala uz istovremeno podnošenje naprezanja kojima će biti izloženi tijekom upotrebe.
- multidisciplinarno područje koje zahtijeva znanje kemije i fizike, mehanike i reologije, dizajna i inženjerstva.
- Znanost o adheziji, ili proučavanje adhezije, sastoji se od tri jednako bitna dijela koji zajedno čine osnovu odabira adheziva i adherenta



ZNANOST O ADHEZIJI



Znanost o površinama (inženjerstvo površina)

Kemijski sastav površine određuje hoće li adheziv uspostaviti odgovarajući kontakt, omogućujući lijepljenje. Jedinstveni čimbenici poput čistoće i teksture površine utječu na performanse adheziva. Znanost o površinama ispituje ove i druge karakteristike koje utječu na površinu podloge.

Kemijska svojstva adheziva

Jedinstvena kemija adheziva djelomično će odrediti njegovu prikladnost za određenu primjenu lijepljenja. Različita kemijska svojstva će utjecati na različito reagirati na naprezanja – opterećenja, temperature ili okolinu.

Geometrija lijepljenog spoja

Geometrija spoja, ili oblik veze, utjecat će na performanse lijepljive veze, kao i smjer i intenzitet naprezanja. Adhezivi reagiraju na naprezanje drugačije od mehaničkih ili toplinskih pričvršćivača, ali također i različite podloge i kemijski sastavi adheziva reagiraju drugačije.

ADHEZIJSKI SPOJ ILI LIJEPLJENJE

- Lijepljenje je metoda kojom se dva materijala spajaju u jedinstven sklop.
- Lijepljenje može zamijeniti ili se koristiti uz tradicionalne toplinske ili mehaničke metode pričvršćivanja poput zavora, vijaka ili zakovica.
- Glavni zahtjev lijepljenja je spajanje dva materijala uz istovremeno podnošenje naprezanja kojima će ti materijali biti izloženi tijekom upotrebe.
- Lijepljenje je sofisticiran proces u kojem nekoliko čimbenika međusobno djeluje kako bi doprinijelo uspjehu.

presjek adhezijskog spoja



ADHEZIJSKI SPOJ ILI LIJEPLJENJE

ČVRSTOĆA LJEPLJIVE VEZE

- čvrstoća ljepljive veze – utvrđivanje njezine sposobnost da izdrži naprezanja primjene. Za razumijevanje čvrstoće ljepljive veze korisno je razumjeti rad adhezije na ljepljenom spoju.
- Najčešći način mjerenja je razdvajanje ljepljive veze.
- Sila potrebna za razdvajanje veze omogućuje inženjerima da razumiju kako će se ljepilo ponašati u primjeni.



ZNANOST O ADHEZIJI

OSNOVNA SVOJSTVA

Adheziv – materijali koji, kada se nanesu na površinu drugog materijala, mogu ih spojiti i spriječiti njihovo odvajanje

SUPSTRAT ILI ADHERENT – materijal koji se spaja adhezivom

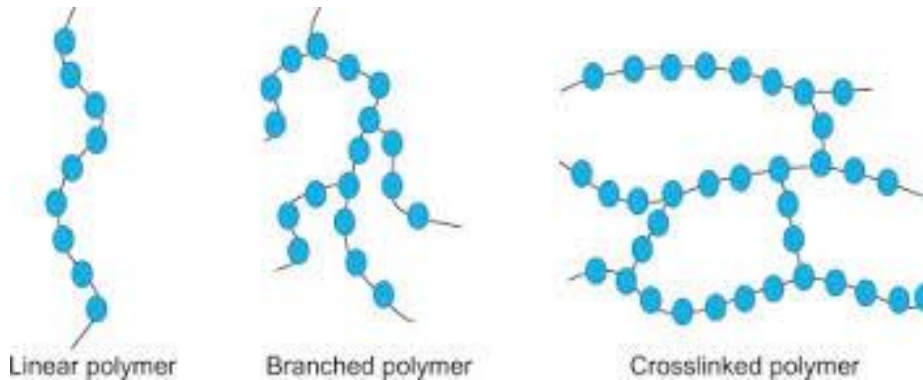
Zadaća adheziva:

- Močiti površinu – mora se širiti i stvarati kontakt s površinom na koju je nanesen
- Mora se stvrdnuti - tvoriti kohezivno čvrsto tijelo kemijskom reakcijom, isparavanjem otapala, hlađenjem (hot melt)

ZNANOST O ADHEZIJI

OSNOVNA KEMIJSKA SVOJSTVA

- Sadržava polimer, ili se polimer stvara tijekom stvrdnjavanja, odnosno tvorbom adhezijskog spoja
 - Daju adhezivima kohezijsku čvrstoću
- Stvrdnjavanje ili sušenje – upućuju na isti pojam
- Polimeri mogu biti linearni, razgranati ili umreženi



KAKO FUNKCIONIRA ADHEZIJA?

TEORIJE ADHEZIJE

- **ADHEZIJA** - stanje u kojem su dvije površine držane zajedno međupovršinskim silama, koje mogu biti valentne sile ili sile međusobnog spajanja ili oboje.
- **Specifična adhezija** (npr. lijepljenje poroznih podloga, glatkih površina, električno nabijenih površina, inertnih polimernih površina itd.) osnova je za izgradnju različitih teorijskih modela (teorija adhezije).
- Proučavanje **poželjne adhezije** bavi se procesnim ili materijalnim varijablama koje utječu na međupovršinu kako bi se optimizirale varijable i područje međupovršine između dvije faze, a suprotno - adhezija može biti neželjeni događaj - npr. kod injekcijskog prešanja koje zahtijeva sredstvo za odvajanje itd.
- Znanost o adheziji - interakcije koje se moraju uzeti u obzir ako želimo u potpunosti razumjeti odgovor sustava u kojem adhezija igra važnu ulogu.
- Na molekularnoj razini - način na koji ADHERENT može reagirati sa SUPSTRATOM

KAKO FUNKCIONIRA ADHEZIJA?

Adhezija je osnova za površinske pojave kao što su kvašenje i širenje, energija međupovršine, rad adhezije, mehanizmi loma, interakcije između punila, vlakana itd. s matricom i predtretmanima površine te karakterizacijama površine.

Adhezija je također osnova za objašnjenje lijepljenih spojeva, lijepljivih materijala (ljepila, premaza, brtvila, bojila itd.), punjenih polimernih kompozita i mješavina te nanomaterijala.

KAKO FUNKCIONIRA ADHEZIJA?

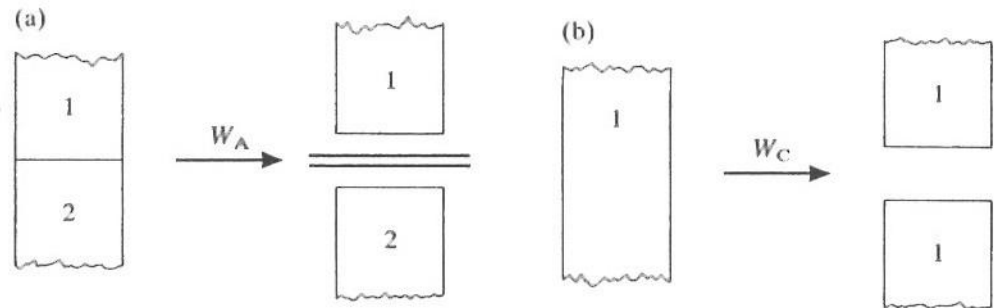
FUNDAMENTALNA I PRAKTIČNA ADHEZIJA

Fundamentalna adhezija odnosi se na sile između atoma na granici dodira. Teorije adhezije primijenjene na određenu granicu dodira izražene su u smislu sila (Nm^{-1}) ili u smislu energija (mJm^{-1}) izračunatih iz teorijskog modela.

Termodinamički rad adhezije, W_A , kao „fundamentalna“ mjera adhezije, definiran je kao promjena slobodne energije potrebna za odvajanje različitih faza 1 i 2 i/ili za odvajanje istih faza kao i rad kohezije, W_C

$$W_A = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{12}$$

$$W_C = 2\gamma_1$$



Rad adhezije

rad kohezije

KAKO FUNKCIONIRA ADHEZIJA?

FUNDAMENTALNA I PRAKTIČNA ADHEZIJA

Fundamentalna adhezija odnosi se na sile između atoma na granici faza.
Koeficijent močenja za fazu 1 i 2 u kontaktu na granici faza.

$$S = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{12} \quad (\Theta = 0) \quad S = W_A - W_C$$

Što je veća vrijednost koeficijenta močenja između pojedinih faza 1 (podloga) i 2 (adheziv), to je veći termodinamički rad adhezije, W_A , u usporedbi s kohezijskom energijom adhezije, W_C , tj. visoka vrijednost S pogodovat će kohezijskom lomu unutar ljepljiva i pouzdanijem adhezijskom spoju.

KAKO FUNKCIONIRA ADHEZIJA?

FUNDAMENTALNA I PRAKTIČNA ADHEZIJA

Praktična adhezija odnosi se na rezultate različitih testova adhezije ljepljivog spoja, premaza ili kompozita, kao što su vrijednosti za smicanje, ljuštenje ili vlačnu čvrstoću, dobivene iz povezanih testova.

Numerički rezultati pojedinog testa ovise o operativnim varijablama (dimenzije ispitnog uzorka, brzina opterećenja itd.).

Prema tome, adhezija odražava temeljnu adheziju na granici kao i mehanički odziv ljepila, podloge i područja granice površine

Praktična adhezija = f (Temeljna adhezija, drugi čimbenici)

TEORIJE ADHEZIJE

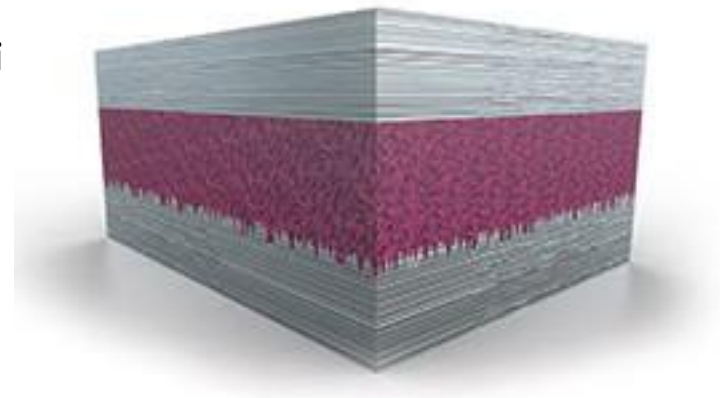
- Prvi uvjet za uspješnu vezu između dviju faza je uspostavljanje kontakta na molekularnoj ili atomskoj razini (npr. podloga i gornji sloj kao što je metal i ljepilo ili premaz, ili polimer na polimer itd.).
- Potencijalna razina adhezije ovisi o mogućim interakcijama koje se mogu dogoditi, tj. o potencijalnim mehanizmima adhezije.
- ne postoje jedinstveni mehanizmi adhezije primjenjivi na sve slučajeve adhezije.

TEORIJE ADHEZIJE

MEHANIČKO SPAJANJE

- *Engl. Mechanical interlocking*
- Mehaničko prijanjanje nastaje kada ljepilo prodire u pore na površini podloge.
- Međusobno prijanjanje stvara fizičku prepreku širenju pukotina na spoju.
- Također služi za povećanje površine, povećavajući ukupni kontakt između adheziva i podloge.
- Tekući adhezivi lako moće površinu nakon nanošenja na podlogu prije sušenja ili stvrdnjavanja.
- Adheziv nastavlja polako teći tijekom vremena, gradeći čvrstoću.

Čvrstoća lijepljenja, trajnost veze i srodni parametri proporcionalni su hrapavosti površine.

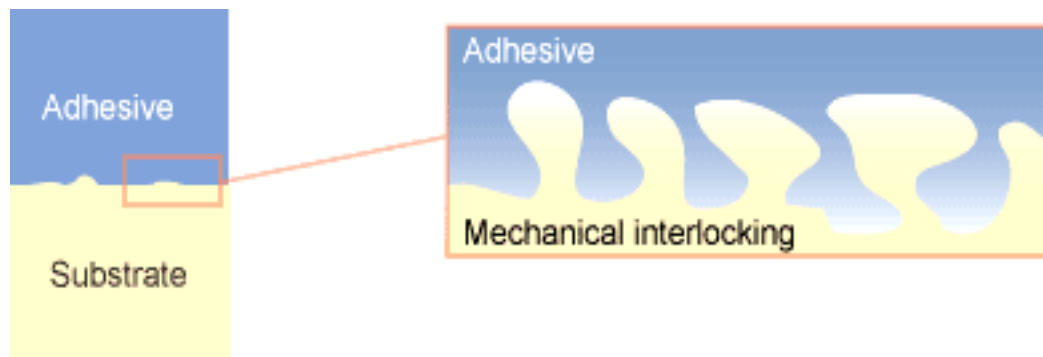


TEORIJE ADHEZIJE

MEHANIČKO SPAJANJE

- Teorija uključuje međusobno povezivanje stvrdnutog ljepljiva s hrapavošću i nepravilnostima površine (npr. vrijedi na makro razini)
- Stvaranje spojeva na poroznim materijalima (papir, tekstil i drvo)

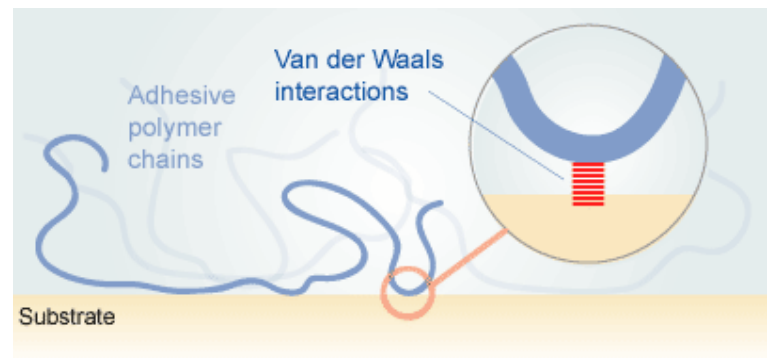
Povećana hrapavost pruža veću površinu na kojoj se mogu formirati veze, ali mehaničko prijanjanje je vrlo rijetko i jedini je uključen mehanizam.



TEORIJE ADHEZIJE

TEORIJA ADSORPCIJE ILI FIZIKALNA ADHEZIJA

- Teorija adsorpcije najrelevantnija je za adheziju između anorganskih i organskih sustava.
- Bliski kontakt na granici faza neophodan je za osiguranje adhezije putem intermolekularnih sila koje postoje između atoma, molekula i iona dviju faza.
- Adhezija ovisi o energiji veze (kJ/mol), na primjer ionska (600-1100), kovalentna (60-700), metalna (110-350), Bronsteadova kiselinско-bazna (do 1000), vodikova (do 40), van der Waalsova (4-20) itd.
- Vrste veza mogu se klasificirati u primarne veze (ionske, kovalentne, metalne) i sekundarne veze (van der Waalsova itd.) na temelju veličine energije veze.



TEORIJE ADHEZIJE

TEORIJA ADSORPCIJE ILI FIZIKALNA ADHEZIJA

- Za kvantitativnu procjenu međupovršinskih veza potrebno je biti u mogućnosti procijeniti slobodnu međupovršinsku energiju, γ_{ab} između anorganske (a) i organske komponente (b) u kontaktu na granici faza kako bi se izračunao rad adhezije, W_A

$$W_A = \gamma_a + \gamma_b - \gamma_{ab}$$

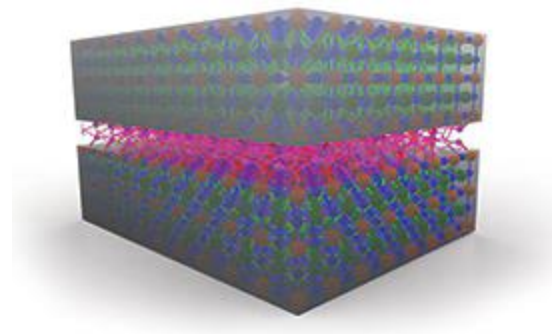
$$\gamma_{ab} = \gamma_a + \gamma_b - 2\phi(\gamma_a \gamma_b)^{1/2}$$

$$W_A = 2(\gamma_a^d \gamma_b^d)^{1/2} + 2(\gamma_a^p \gamma_b^p)^{1/2}$$

TEORIJE ADHEZIJE

KEMIJSKA ADHEZIJA

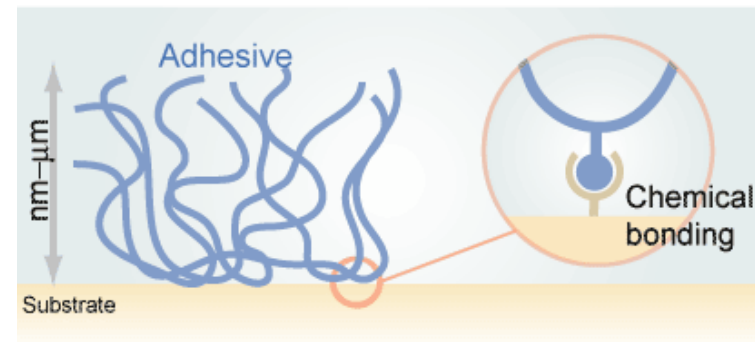
- Kemijska adhezija događa se putem molekularnog kontakta na površini podloge.
- To je najjači mehanizam adhezije, s vezama koje se javljaju između funkcionalnih skupina u ljepilu i atoma/molekula na površini podloge.
- Ovaj mehanizam doprinosi strukturnoj čvrstoći mnogih ljepila poput epoksidnih smola koje lijepe aluminij.



TEORIJE ADHEZIJE

KEMIJSKA ADHEZIJA

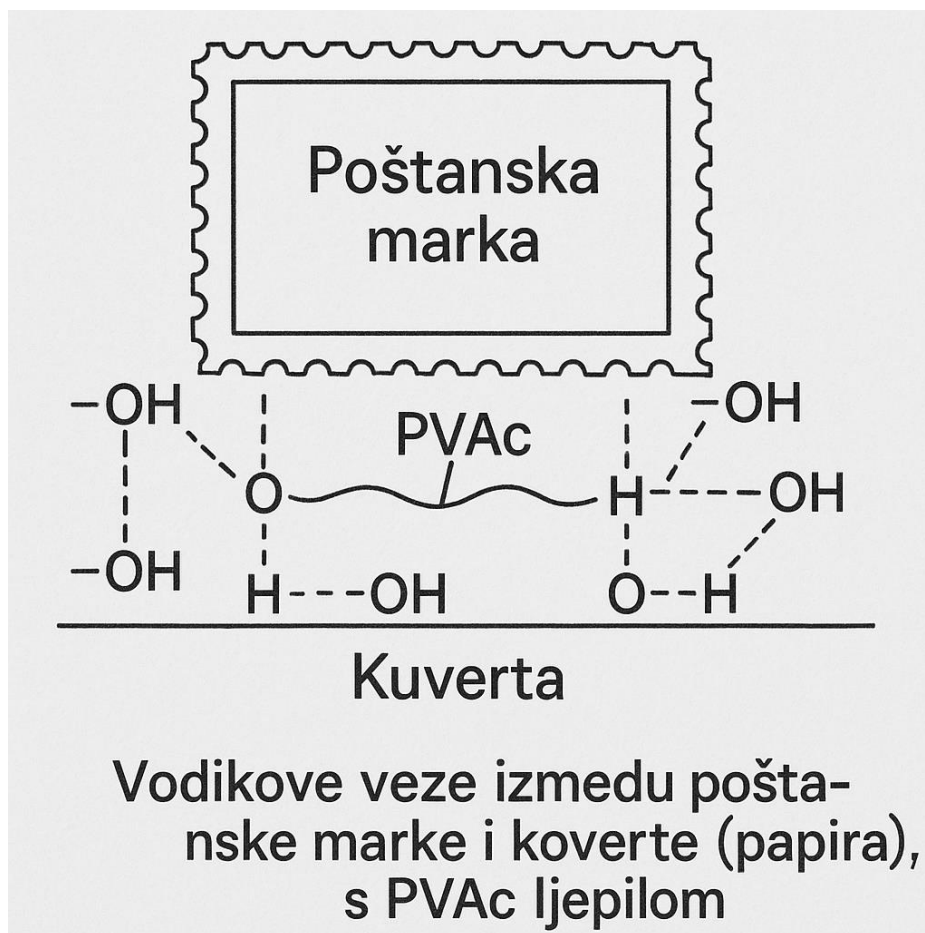
- Kemijska teorija uključuje primarne kemijske veze (kovalentne ili ionskog karaktera) koje daju zaseban doprinos adhezivnoj vezi (uz disperzijske sile)
- Sofisticirane tehnike površinske analize, dostupne u posljednja dva desetljeća, potrebne su za prepoznavanje kemijskih veza na površini identificiranjem fragmenata veznih spojeva unutar frakturiranih površina prekinutih veza.



Važno za povećanu čvrstoću lijepljenja je umrežavanje korištenjem druge komponente (učvršćivača).

TEORIJE ADHEZIJE

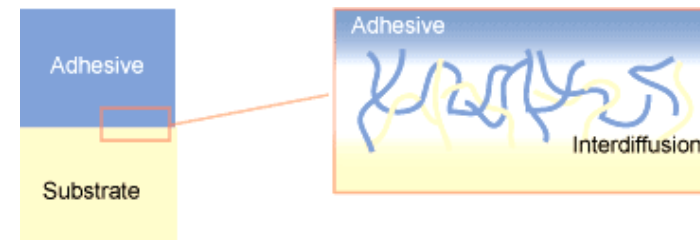
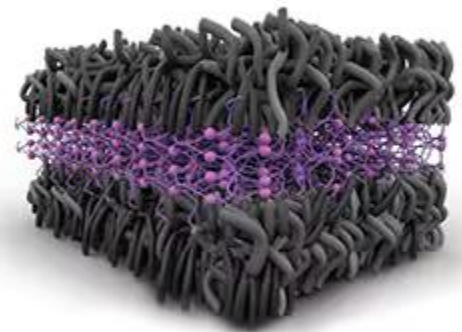
KEMIJSKA ADHEZIJA



TEORIJE ADHEZIJE

TEORIJA DIFUZIJE

- Difuzija se događa kada je adhezivni polimer sposoban **prodrijeti i ispreplesti se s polimernom podlogom**.
- Stvara se **međupovršina s isprepletenim polimernim lancima** koji povezuju adheziv i podlogu.
- Ovaj mehanizam je uobičajen u sklopovima s teško lijepljivim materijalima niske površinske energije poput polipropilena.
- U specifičnom slučaju dvaju sličnih polimera **u kontaktu ispod točke staklišta** može doći do interakcije putem difuzije krajeva ili segmenata polimernog lanca preko granice površine.



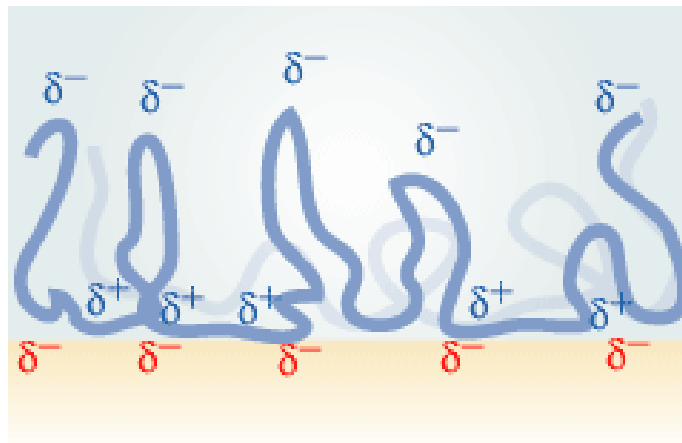
Međusobna difuzija dvaju polimera zahtijeva određeni stupanj pokretljivosti lanca i međusobne topljivosti s obje faze u amorfnom stanju

STAKLIŠTE : termodinamički prijelaz u polimernim materijalima (ili amorfnim krutinama) gdje materijal prelazi iz krutog, krhkog (staklastog) stanja u mekše, elastično stanje kako temperatura raste.

TEORIJE ADHEZIJE

ELEKTROSTATSKA TEORIJA

- temelji se na postojanju električnog dvostrukog sloja na granici faza (npr. između metala i polimera).
- Kontakt između dva metala – prijenos elektrona s jednog na drugi materijal
- Dovoljno blizak kontakt između dva materijala s različitim strukturama pojaseva omogućuje određeni prijenos elektrona



TEORIJE ADHEZIJE

OSTALE TEORIJE ADHEZIJE

- Teorija slabog graničnog sloja (*engl. Weak boundary layer*) objašnjava prerano oštećenje ADHEZIJSKOG SPOJA zbog postojanja slabog graničnog sloja na površini (npr. mast, onečišćujuće tvari, segregacija specifičnih komponenti na granici, nepravilan postupak prethodne obrade, izloženost okolišu, uključeni zrak zbog nepravilnog vlaženja itd.).
- Prianjanje osjetljivo na pritisak, na primjer traka, ovisi o kontinuiranoj prisutnosti sloja vrlo viskozne tekućine između trake i površine. Ova viskozna tekućina (ljepilo) se širi u vrlo tankom sloju. Potrebna je znatna sila za uklanjanje trake s površine sve dok ljepilo ostaje viskozna tekućina.

TEORIJE ADHEZIJE

Teorija	ZA (podržava adheziju)	PROTIV (ograničava adheziju)
Mehanička	Porozna, hrapava površina – zahtijeva jetkanje (papir, tekstil, drvo)	Ravna, neporozna površina (staklo, metal, keramika)
Adsorpcijska	Bliski kontakt, kvašenje – potrebne molekularne veze (metal, keramika)	Površine s inkluzijama poput zraka ili kontaminacije
Difuzijska	Termoplasti – potrebna kompatibilnost, kinetička pokretljivost iznad temperature staklaste tranzicije (T_g) (staklišta)	Umreženi materijali, vezani polimer–metal, polimer–staklo
Elektrostatska	Staklo - PVC	Nekompatibilni materijali itd.

HVALA NA PAŽNJI