

# Priprema površine za lijepljenje pri spajanju raznorodnih materijala

---

Vibovec, Fran

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:917134>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-23**

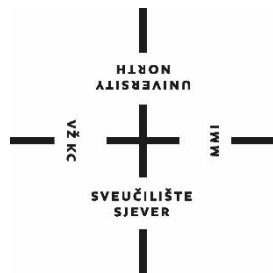


Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



Diplomski rad br.066/STR/2022

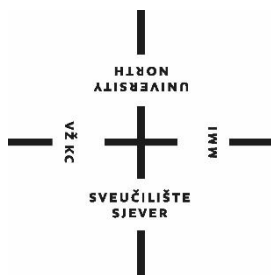
**Priprema površine za lijepljenje pri  
spajanju raznorodnih materijala**

Fran Vibovec

Varaždin, rujan 2022.



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Studij Proizvodnog strojarstva**



Diplomski rad br. 066/STR/2022

**Priprema površine za lijepljenje pri  
spajanju raznorodnih materijala**

Student:

Fran Vibovec, 2094/336

Mentor:

doc. dr. sc. Matija Bušić

Varaždin, rujan 2022.

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za strojarstvo		
STUDIJ	diplomski sveučilišni studij Strojarstvo		
PRISTUPNIK	Fran Vibovec	IMBAG	0336021375
DATUM	29.08.2022.	KOLEGIJ	Suvremene proizvodne tehnologije
NASLOV RADA	Priprema površine za lijepljenje pri spajanju raznorodnih materijala		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Surface preparation prior the bonding of different materials		

MENTOR	dr. sc. Matija Bušić	ZVANJE	docent
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. izv. prof. dr. sc. Sanja Šolić predsjednica povjerenstva		
	2. doc. dr. sc. Matija Bušić, mentor, član povjerenstva		
	3. doc. dr. sc. Tanja Tomić, član povjerenstva		
	4. doc.dr.sc. Tomislav Veliki, zamjenski član povjerenstva		
	5. _____		

## Zadatak diplomskog rada

BR./ 066/STR/2022

OPIS

U diplomskom radu potrebno je, na temelju dostupne literature, objasniti tehnologiju lijepljenja u proizvodnji različitih proizvoda. Definirati postupak lijepljenja, vrste sila koje se pojavljuju pri stvaranju lijepljenog spoja, te najčešće vrste ljepila koje se primjenjuju u proizvodnji. Navesti prednosti i nedostatke primjene lijepljenih spojeva te parametre koji utječu na postupak. Opisati najčešću primjenu ljepila u industriji. Opisati postupke pripreme površina elemenata u spoju prije lijepljenja.

U eksperimentalnom dijelu rada izraditi lijepljene spojeve između limova aluminija i bakra sa pripremljenim različitim hrapavostima površina prije lijepljenja. Za lijepljenje koristiti poznato dvokomponentno ljepilo sa garantiranim mehaničkim svojstvima spoja. Ispitati zalijepljene spojeve na smicanje te dobivene rezultate usporediti sa garantiranim svojstvima od proizvođača. Na kraju donijeti zaključak o utjecaju hrapavosti površina na mjerena mehanička svojstva spoja. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu te eventualno dobivenu pomoć.

ZADATAK URUČEN

09.09.2022.

POTPIS MENTORA

M. Bušić



## **Predgovor**

Izjavljujem da sam ovaj rad napisao samostalno, koristeći znanja i vještine koje sam stekao tijekom studija te navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svima koji su mi pomogli prilikom pisanja ovog rada i studiranja, a posebno mentoru doc. dr. sc. Matiji Bušiću na pomoći i razumijevanju tijekom izrade ovog rada te na trudu i savjetima koji su pridonijeli izradi rada.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na pruženoj potpori te razumijevanju tijekom cjelokupnog obrazovanja.

## **Sažetak**

Cilj ovog diplomskog rada bilo je određivanje smične čvrstoće ljepila. U prvom dijelu rada opisana je sama tehnologija lijepljenja. Zatim su opisane razlike između tehnologije zavarivanja i lijepljenja. Kroz osnovne procese ostvarivanja spoja pri lijepljenju objašnjeni su mehanizmi lijepljenja. Jedan od sastavih dijelova oblikovanja lijepljenog spoja je priprema površine. Opisani su procesi pripreme površine i pripreme ljepila. Nakon toga napravljena je podjela ljepila prema kemijskom sastavu i mehanizmu očvršćivanja. Na samom kraju teorijskog dijela opisani su prednosti i nedostaci te primjena tehnologije lijepljenja. U eksperimentalnom dijelu lijepili su se limovi od bakra i aluminijski prethodno obrađeni brusnim papirom različite granulacije. Nakon dva tjedna kidanjem su se ispitivale epruvete, odnosno mjerila se smična čvrstoća ljepila.

**Ključne riječi:** lijepljenje, priprema površine, adhezija, kohezija, hrapavost, smična čvrstoća

## **Abstract**

The aim of this thesis was to determine the shear strength of the adhesive. In the first part of the thesis, the gluing technology itself is described. Then the differences between welding and gluing technology are described. The mechanisms of gluing are explained through the basic processes of creating a joint during gluing. One of the components of shaping the glued joint is the preparation of the surface. Surface preparation and adhesive preparation processes are described. After that, the adhesive was divided according to its chemical composition and hardening mechanism. At the end of the theoretical part, the advantages and disadvantages and application of gluing technology are described. In the experimental part, copper and aluminum sheets pretreated with sandpaper of different grits were glued. After two weeks, the test tubes were tested by tearing, that is, the shear strength of the glue was measured.

**Key words:** bonding, surface preparation, adhesion, cohesion, roughness, shear strength



## Popis oznaka

Oznaka	Opis	Jedinica
$R_a$	srednje aritmetičko odstupanje profila	$\mu\text{m}$
$\sigma_\tau$	smična čvrstoća	MPa
$l$	duljina lijepljenog spoja	mm
$h$	visina lijepljenog spoja	mm
$A_0$	površina lijepljenja	$\text{mm}^2$
$F$	sila	N
$F_{\max}$	maksimalna sila razvlačenja	N
$A$	istezljivost	%
$\sigma$	naprezanje	MPa
$T$	temperatura	K
$v$	brzina razvlačenja	MPa/s

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Tehnologija lijepljenja .....	3
2.1. Općenito o lijepljenju .....	3
2.2. Usporedba tehnologije lijepljenja s tehnologijom zavarivanja .....	4
2.3. Osnovni procesi ostvarivanja spoja pri lijepljenju .....	7
2.3.1. Principi adhezije .....	7
2.3.2. Principi kohezije.....	11
2.4. Priprema površine za lijepljenje .....	12
2.4.1. Površinska napetost .....	14
2.4.2. Močenje površine .....	14
2.5. Priprema ljepila .....	15
2.5.1. Miješanje ljepila .....	15
2.5.2. Nanošenje ljepila .....	16
2.5.3. Sušenje ljepila .....	18
3. Podjela ljepila.....	19
3.1. Podjela prema kemijskom sastavu .....	19
3.2. Podjela prema mehanizmu očvršćivanja .....	20
4. Prednosti i nedostaci tehnologije lijepljenja .....	22
5. Primjena tehnologije lijepljenja .....	24
6. Eksperimentalni dio .....	28
6.1. Opis eksperimenta .....	28
6.2. Priprema površine lijepljenih spojeva .....	28
6.3. Mjerenje hrapavosti .....	29
6.4. Vrsta ljepila i lijepljenje limova .....	30
6.5. Ispitivanje čvrstoće.....	33
6.6. Rezultati eksperimenta .....	36

7. Analiza rezultata ispitivanja.....	39
8. Zaključak.....	40
Literatura .....	41
Popis slika .....	44
Popis tablica .....	46

## 1. Uvod

Gotovo svi proizvodi u industriji se spajaju raznim metodama: lemljenjem, zavarivanjem, lijepljenjem, vijčanim vezom i sličnim tehnologijama. Povećanjem kompliciranosti proizvoda javila se potreba za ekonomski prihvatljivijim i jednostavnijim načinima spajanja dijelova od različitih materijala i različitih geometrijskih karakteristika. Spajanje se ostvaruje na puno načina, pa se spojevi dijele u dvije skupine: rastavljive (omogućuju rastavljanje i sastavljanje spojenih dijelova bez razaranja) i nerastavljive (nakon spajanja se više ne mogu rastaviti bez razaranja spojenih dijelova).

Lijepljenje je izuzetno složen kemijski proces i spada u nerastavljive spojeve. Opisuje se kao spajanje dijelova iz istih ili različitih materijala prijanjanjem pomoću ljepila. Ljepila se nanose u tankom sloju na jednu ili obje površine koje se sljepljuju. Adhezijska veza ostvaruje se sušenjem ljepila i nakon određenog vremena postiže se maksimalna čvrstoća lijepljenoga spoja. Sušenje se odvija zbog hlapljenja medija u kojem se ljepilo primjenjuje (organsko otapalo ili voda) ili kemijskom reakcijom tvari sadržanih u ljepilu.

Jedan od najstarijih načina spajanja materijala je upravo lijepljenje. Postoje pretpostavke da se ljepilo koristi već stotinama tisuća godina. Najranije dokumentirano korištenje ljepila datira u razdoblje drevnog Egipta i Sumerske civilizacije. Za lijepljenje su se tada koristile različite prirodne tvari poput lateks kaučuka, borove smole, a u hladnijim krajevima led. Također, rano su se počeli upotrebljavati kazein i glina. U srednjem vijeku počela su se upotrebljavati neka novootkrivena ljepila koja su bila na bazi životinjskih bjelančevina. [1]

U Europi ljepilo nije korišteno sve do 16. stoljeća. Od tada pa sve do danas, povećava se njegova upotreba. Tek od prošlog stoljeća razvoj sintetičkih ljepila se naglo ubrzao, a inovacije na tom području nastavljaju se i danas. Razvoj tehnologije lijepljenja u 20. stoljeću odgovara brzom razvoju industrije. U industriji su se najprije počela koristiti ljepila na bazi čistih, pa kasnije i modificiranih makromolekularnih prirodnih spojeva kao što su životinjske bjelančevine, ugljikovodici biljnog porijekla (prirodni kaučuk, škrob, dekstrin, nitroceluloza, acetilceluloza). Istovremeno se razvija primjena različitih anorganskih ljepila u industriji, naročito različitih tipova cementa i vodenog stakla. Između dva svjetska rata počeo je brzi razvoj proizvodnje umjetnih polimera, a istovremeno i upotreba polimera kao sastavnih tvari ljepila. Prvo su to bile fenolformaldehidne smole, a kasnije i poliesterske, polimetakrilne, epoksidne, aminske i poliuretanske smole. Nakon Drugog svjetskog rata razvila se teorija lijepljenja, a time je tehnologija lijepljenja dobila na dodatnoj važnosti.

Lijepljenje se danas u mnogim aspektima smatra prihvatljivijim postupkom od mnogih klasičnih načina spajanja (zavarivanja, lemljenja, spajanja zakovicama i vijcima) zbog širokog asortimana ljepila i postupaka primjene. Lijepljeni spojevi također zauzimaju manje prostora u konstrukciji i lakši su. Naprezanja na lijepljenom spoju jednolično se raspoređuju, spojevi su otporni na koroziju, nepropusni i imaju sposobnost prigušenja vibracija. U odnosu na ostale tehnologije lijepljenje je efikasnije, ekonomičnije i brže. Jednakom brzinom, lijepljenje se može obaviti u proizvodnji i na terenu. Zatim kod lijepljenja nema unosa topline u osnovni materijal stoga ne dolazi do promjene u mehaničkim svojstvima osnovnog materijala i mikrostrukтури što je još jedna bitna prednost lijepljenja. Uz prednosti lijepljeni spojevi imaju i nedostatke. Najvažniji nedostatak je vijek trajanja lijepljenog spoja i nemogućnost preciznog određivanja istog. Nakon nekog vremena lijepljeni spojevi počinju gubiti mehanička svojstva (ponajviše čvrstoću) pa ih je potrebno zamijeniti ili obnoviti. Lijepljeni spojevi posjeduju manju čvrstoću spoja u odnosu na druge postupke spajanja (zavarivanje, lemljenje, zakivanje) i potrebna je složena priprema površine. Lijepljeni spojevi se najčešće primjenjuju kod brtvljenja, spajanja tankih limova, spona krila zrakoplova i krila ventilatora, limenih posuda, okvira mopeda, u autoindustriji i sl.

## 2. Tehnologija lijepljenja

### 2.1. Općenito o lijepljenju

Lijepljenje je tehnika spajanja koja se koristi u proizvodnji i popravku širokog spektra proizvoda. Uz zavarivanje i lemljenje, lijepljenje je jedan od osnovnih procesa spajanja. U ovoj tehnici komponente se međusobno spajaju pomoću ljepila. Širok raspon dostupnih vrsta ljepila omogućuje spajanje brojnih materijala u različite proizvode poput vozila, mobilnih telefona, proizvoda za osobnu njegu, zgrada, računala i medicinskih uređaja.

Prema normi „HRN EN 923:2016“, ljepila su nemetalne tvari sposobne spajati materijale površinskim lijepljenjem (adhezija), s vezom koja ima odgovarajuću unutarnju čvrstoću (koheziju). [2]

Ljepilo je bilo koja nemetalna tvar nanescna na jednu ili obje površine dvaju zasebnih predmeta koja ih povezuje i odupire se njihovom razdvajanju.[3]

Osnova lijepljenja je kvašenje površina ljepilom te naknadno očvršćivanje lijepljenoga spoja. Kvašenje površine ovisi o napetosti površine i ravnotežnom kontaktnom kutu uspostavljenom između čvrste površine materijala, tekućega ljepila i zraka. Postupak lijepljenja je vrlo složen zbog činjenice da u njemu sudjeluje mnoštvo čimbenika koji se odnose na svojstva površina koje se lijepe (hidrofilnost ili hidrofobnost, hrapavost površine, kemijska aktivnost, čistoća, homogenost), na svojstva ljepila (viskoznost, površinska napetost, polarnost, brzina sušenja, kiselost ili bazičnost) te mehanička i fizikalna svojstva stvorenoga veznoga filma. Ljepila u obliku viskozne tekućine se nanose u tankom sloju na jednu ili na obje površine koje se sljepljuju, ponekad se za lijepljenje koristi povišeni pritisak. Adhezijska veza ostvaruje se sušenjem ljepila i postiže se maksimalna čvrstoća lijepljenoga spoja. Sušenje se odvija zbog hlapljenja medija u kojem se ljepilo primjenjuje (organsko otapalo ili voda) ili kemijskom reakcijom tvari sadržanih u ljepilu.

Očvršćivanje ljepila traje određeno vrijeme (vrijeme očvršćivanja). Ljepilo spaja dijelove nakon završetka jednog od ovih procesa: [4]

- kad iz ljepila ishlapi ili ispari otapalo pa se ljepilo skrutne (fizikalna promjena)
- kada ljepilo prijeđe iz rastaljenog u kruto agregatno stanje (fizikalna promjena)
- kada se u ljepilu dogode kemijski procesi pa se ljepilo skrutne (kemijska i fizikalna promjena).

## 2.2. Usporedba tehnologije lijepljenja s tehnologijom zavarivanja

Tehnologije lijepljenja i zavarivanja su veoma slične. Obadvije spadaju u spajanje nerastavljivom vezom, ali svaka od tehnologija se koristi u različitim slučajevima i ima različitu primjenu u praksi. Iako postoji mnoštvo ograničenja što se tiče upotrebe tehnologije lijepljenja, ona u nekim aspektima nadilazi ostale tehnologije spajanja.

Jedno od najvećih ograničenja tehnologije lijepljenja je nepoznavanje eksploatacijskih utjecaja na čvrstoću lijepljenog spoja. U laboratorijima razvijenih zemalja vršena su mnogobrojna istraživanja o utjecaju eksploatacijskih uvjeta na čvrstoću lijepljenih spojeva, no do sad znanstvenici nisu uspjeli iznijeti teoriju koja bi na zadovoljavajući način opisivala ponašanje lijepljenog spoja za vrijeme uporabe. Rezultati istraživanja samo su djelomično razjasnili slabljenje adhezijskih veza lijepljenih spojeva tijekom uporabe.

Tehnologija lijepljenja se također rjeđe koristi zbog niskih vrijednosti čvrstoće spoja. Poznato je da lijepljeni spoj uvijek ima lošija mehanička svojstva od osnovnog materijala. To nije slučaj kod zavarenih spojeva, kod njih zavar uvijek mora imati bolja mehanička svojstva od osnovnog materijala. Osim zbog slabijih mehaničkih svojstava, konstruktori vrlo često izbjegavaju lijepljenje spojeve zbog teškog određivanja dopuštenih naprezanja i sila kojima će lijepljeni spoj biti opterećen.

S druge strane, tehnologija zavarivanja nema nijedan od tih problema. Čvrstoća se kod zavarenih spojeva može vrlo lako izračunati, a dobivene vrijednosti se u većini slučajeva poklapaju s izmjerenim podacima u eksperimentu.

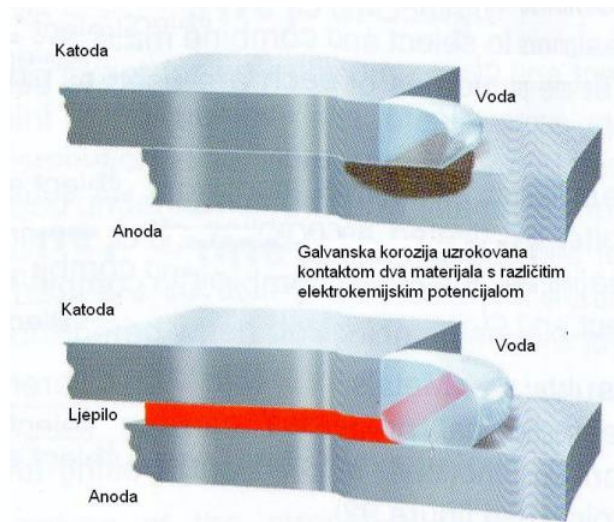
Međutim, bez korištenja tehnologije lijepljenja nije moguće napraviti kvalitetan proizvod usprkos nedostacima koje nosi sa sobom. U tablici 1 je prikazana usporedba dviju tehnologija spajanja.

Tablica 1. Usporedba tehnologije lijepljenja i zavarivanja [1]

<b>Lijepljenje</b>	<b>Zavarivanje</b>
Neprecizan i složen izračun čvrstoće	Precizan i jednostavan izračun čvrstoće
Jednostavna primjena bez obzira na broj različitih materijala koji se spajaju u jednom spoju	Nemogućnost ili velika složenost primjene kod spajanja više različitih materijala u jednom spoju
Mala čvrstoća spoja (tehnologija lijepljenja ograničena)	Velika čvrstoća spoja (tehnologija zavarivanja rasprostranjena u svim granama industrije)
Odlična svojstva kod brtvljenja, odlična antikorozivna svojstva	Čest uzrok korozije (interkristalna korozija, korozija u procijepu), vodikova bolest
Nema unošenja topline (eventualno malo unošenje) → nema nepoželjnih promjena u mikrostrukturi	Veliko unošenje topline, promjene u mikrostrukturi (martenzit), unošenje nečistoća u osnovni materijal
Pogodan za primjenu kod laganih i tankih konstrukcija	Nepogodan za tanke limove i materijale
Prigušuje vibracije	Prenosi vibracije
Nakon određenog vremena gubi mehanička svojstva → potrebna reparatura	Zadržava mehanička svojstva (bez obzira na vrijeme provedeno u eksploataciji)
Nije pogodno za korištenje u morskoj atmosferi	Pogodno za korištenje u morskoj atmosferi
Nije pogodno za korištenje na visokim temperaturama	Pogodno za korištenje na visokim temperaturama

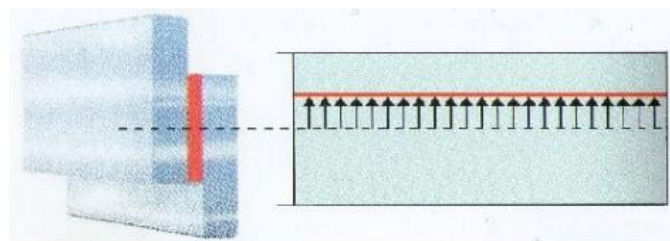


Na slici 1 prikazana je galvanska korozija kod zavarenih, zakovicama ili vijcima spojenih konstrukcija, te zaštita od galvanske korozije upotrebom ljepila. Galvanska korozija nastaje prilikom kontakta dva metala različitog elektrokemijskog potencijala, što se najčešće događa kod vijčanih i zakovičnih spojeva. U tome slučaju neplemenitiji metal se ponaša kao anoda i počinje se trošiti (otapati). Kod lijepljenih spojeva ne dolazi do galvanske korozije jer je između dva različita metala sloj ljepila koji onemogućuje kontakt metala.[1]

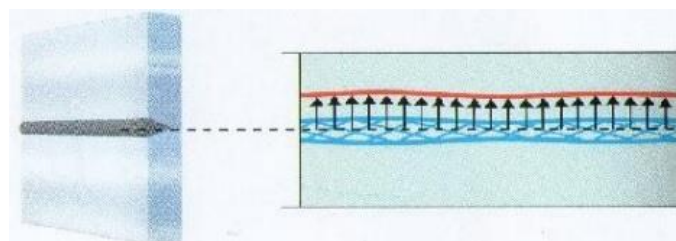


*Slika 1. Galvanska korozija kod spojeva [5]*

Na slikama 2 i 3 prikazana je razlika između rasporeda napreznja kod lijepljenog spoja te kod zavarenog spoja. Vidi se da je kod lijepljenog spoja napreznje jednoliko raspoređeno po cijeloj dužini spajanja, dok je kod zavarenog spoja neravnomjeran raspored napreznja po dužini zbog nemogućnosti izrade savršenog zavara.



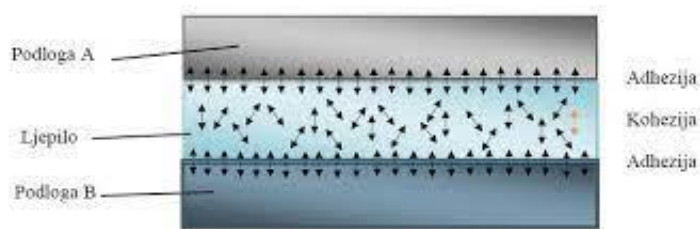
*Slika 2. Raspored napreznja kod lijepljenog spoja [5]*



*Slika 3. Raspored napreznja kod zavarenih spojeva [5]*

### 2.3. Osnovni procesi ostvarivanja spoja pri lijepljenju

Osnovni procesi ostvarivanja spoja pri lijepljenju temelje se na međusobnim fizikalnim i kemijskim djelovanjima između molekula ljepila i molekula na površini za lijepljenje. Za stvaranje prijanjajućih sila važno je djelovanje adhezije, a pritom se stvaranjem energijski povoljnih uvjeta povezivanja u sloju ljepila mora postići što veća kohezijska čvrstoća (slika 4.). Da bi se stvorile potrebne prijanjajuće sile, površinu za lijepljenje treba unaprijed dobro pripremiti, a za stvaranje kohezijskih sila odgovoran je proces polireakcije i/ili umreživanja i/ili hlađenja ljepila [6].



Slika 4. Prikaz djelovanja sila u lijepljenom spoju [6]

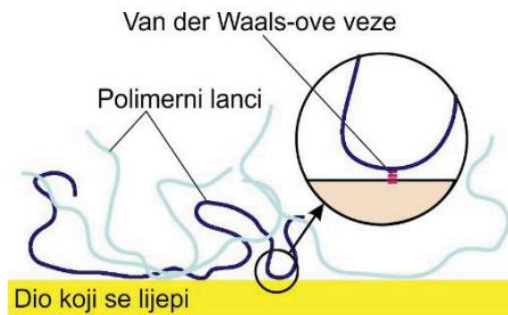
Adhezija je stanje u kojem se dvije raznovrsne površine iz različitih materijala zajedno drže međusobnim djelovanjem privlačnih sila zbog interakcije molekula, atoma ili iona. Kohezija ili unutarnja čvrstoća je djelovanje između dviju površina istovrsnih materijala, tj. privlačnih sila istovrsnih atoma ili molekula. Kohezijska čvrstoća ovisi o materijalu i temperaturi. Najveću kohezijsku čvrstoću imaju metali, a najmanju tekućine i plinovi. Molekularna masa polimera je važan čimbenik koji određuje kohezijsku čvrstoću ljepila. Potrebno je dvostruko djelovanje optimalne adhezije i kohezije da bi se povezale sile i da bi se postigla optimalna čvrstoća lijepljenog spoja. Kada se već u pripremi materijala za lijepljenje postignu optimalne adhezijske sile, tada je kohezijska čvrstoća lijepljenog spoja odlučujući kriterij za njegovu čvrstoću [6].

#### 2.3.1. Principi adhezije

Posljednjih nekoliko godina mehanizmi adhezije se ubrzano istražuju. Znanstvenici su ih pokušali objasniti na mnogo načina, ali nijedan način u potpunosti ne objašnjava principe adhezije. Zaključeno je da je prijanjanje ljepila na površinu dijela koji se lijepi rezultat fizikalnih, kemijskih i mehaničkih sila koje se preklapaju i utječu jedna na drugu.

### 2.3.1.1. Adsorpcija

Najvažniji mehanizam za ostvarivanje adhezije je adsorpcija. Na slici 5 prikazane su Van der Waalove sile. To su površinske sile koje se najčešće javljaju pri adsorpciji .

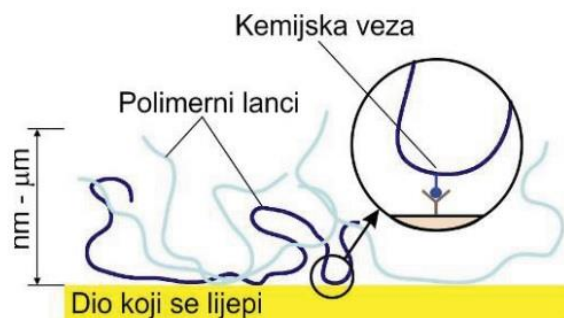


Slika 5. Van der Waalove sile [6]

Močenje je prvi uvjet za dobru izvedbu lijepljenog spoja. Močenje je potrebno promatrati kao ostvarenje kontakta dodirnih površina dijelova koji se lijepe i ljepila. Uspješnost močenja iskazuje se kao omjer ostvarenog broja dodira među molekulama dodirnih površina i ljepila prema maksimalno mogućem broju. Zbog nemogućnosti mjerenja broja ostvarenih dodira, uspješnost močenja se ocjenjuje na temelju kuta močenja.

### 2.3.1.2. Kemijsko povezivanje

Stvaranjem primarnih kemijskih veza duž površine dodira ostvaruje se kemijsko povezivanje ljepila i površine dijelova (slika 6.). Kemijske veze uvelike doprinose adheziji. Npr., za razliku od sekundarnih veza koje imaju energiju veze 0,08-5 kJ/mol, primarne kemijske veze imaju znatno veću energiju veze (60-1100 kJ/mol).



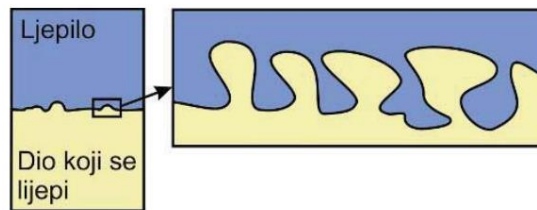
Slika 6. Kemijsko povezivanje [6]

### 2.3.1.3. Mehaničko sidrenje

Mehaničkim sidrenjem postiže se mehaničko povezivanje ljepila i površine tijela ulaskom ljepila u sve nepravilnosti koje se nalaze na površinama dijelova koji se lijepe (slika 7.).

Da bi došlo do mehaničkog sidrenja, moraju biti zadovoljena dva uvjeta: [6]

- ljepilo mora dobro močiti površinu dijela
- ljepilo mora biti dovoljno niske viskoznosti da može lagano popuniti šupljine i iz njih istisnuti zrak.

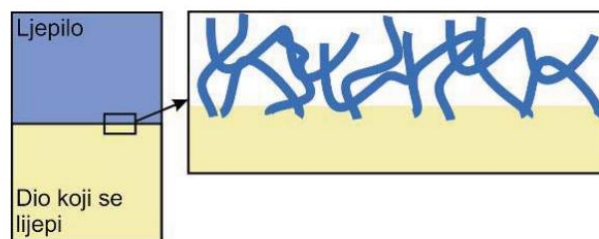


Slika 7. Mehaničko sidrenje [6]

Mehaničkim sidrenjem objašnjava se povezivanje gume i tekstilne ili papirnate podloge (postupak prevlačenja). Uz sve prednosti mehaničkog povezivanja, ono ne objašnjava način povezivanja glatke površine i ljepila koje je također moguće.[6]

### 2.3.1.4. Difuzija

Ostvarivanje veze difuzijom molekula polimera u površinu dijelova koji se zaljepljuju prikazano je na slici 8. Difuzija molekula zahtijeva gibanje polimernih lanaca ljepila i mora biti osigurana kompatibilnost ljepila i materijala dijela koji se lijepe.[6]



Slika 8. Difuzija [6]

Na difuziju utječe:

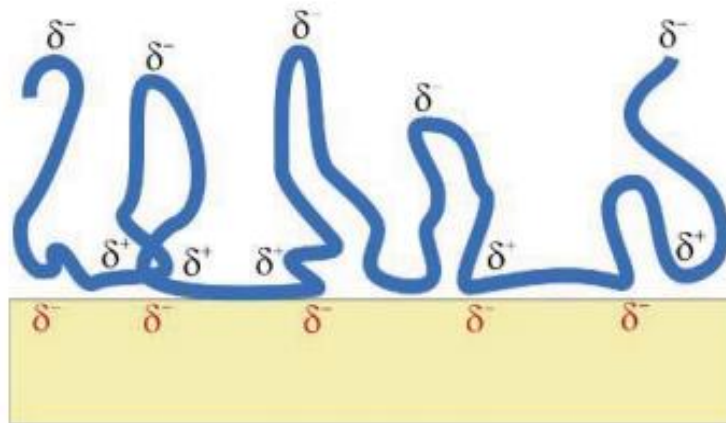
- vrijeme dodira
- temperatura
- molekularna masa ljepila
- stanje ljepila.

Difuziju nije moguće ostvariti u slučajevima:

- kad ne postoji kompatibilnost ljepila i materijala dijela koji se lijepi
- kad je gibanje molekularnih lanaca ograničeno ili onemogućeno (npr. gusto umrežena struktura).

### 2.3.1.5. Elektrostatičko povezivanje

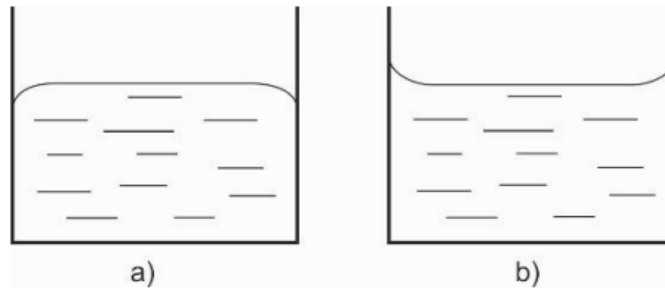
Zbog razlike u elektronegativnosti (slika 9) između ljepila i materijala dijela koji se lijepi dolazi do stvaranja elektrostatičkih sila koje svojim djelovanjem doprinose čvrstoći lijepljenog spoja. Npr., pri spoju organskog polimera i metala dolazi do prijenosa elektrona iz metala u polimer i do stvaranja tzv. duplog električnog sloja – electrical double layer.[6]



Slika 9. Elektrostatičko povezivanje [6]

### 2.3.2. Principi kohezije

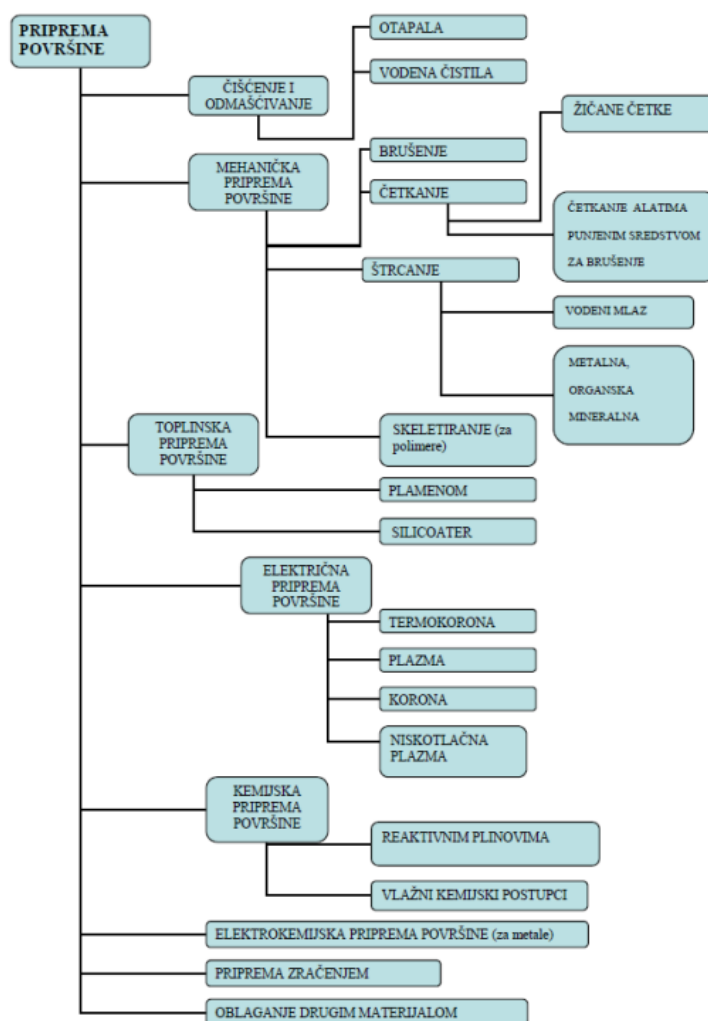
Molekule su u kapljevina pod utjecajem jakih međumolekularnih sila, a ako međumolekularne sile djeluju između istovrsnih molekula one se zovu kohezijske sile. Tako npr. kohezijske sile zadržavaju kap vode na okupu. Na slici 10 prikazano je djelovanje kohezijskih i adhezijskih sila. Slika 10 a) prikazuje slučaj kad su kohezijske sile veće od adhezijskih pa dolazi do spuštavanja kapljevine niz stijenke posude. Slika 10 b) prikazuje slučaj kad su adhezijske sile veće od kohezijskih sila pa dolazi do penjanja kapljevine uz stijenku posude.



*Slika 10. Odnos kohezijskih i adhezijskih sila: a) kohezijske sile veće od adhezijskih; b) adhezijske sile veće od kohezijskih [6]*

## 2.4. Priprema površine za lijepljenje

Priprema površine sastavni je dio u tehnološkom oblikovanju lijepljenih spojeva. Izvodi se s ciljem povećanja prijanjajućih sila između površine zalijepljenih dijelova i sloja ljepila. Za to su potrebna aktivna središta na površini na kojima se dobro mogu odvijati fizikalne i kemijske reakcije potrebne za stvaranje prijanjajućih sila. Takva središta se mogu sastojati od nakupina naboja ili razlika u morfologiji površine. Pripremom površine povećavaju se međumolekularne sile u graničnom sloju između ljepila i površine zalijepljenih dijelova te se površina sloja ljepila dovodi u željeno stanje, poboljšava se otpornost lijepljenog spoja na atmosferske promjene, kemijska postojanost kao i otpornost prema različitim vrstama opterećenja.[7]



Slika 11. Prikaz postupaka pripreme površine za lijepljenje [8]

Stanje površina koje se lijepe iznimno je važno za izdržljivost spoja. Adhezijske sile mogu djelovati samo ako je površina prijanjanja dobro pripremljena (čista, odmašćena i ohrapavljena). Masne tvari, korozivni produkti, čađa i prašina uklanjaju se čišćenjem podloge, a tražena hrapavost odnosno kakvoća podloge se osigurava kondicioniranjem.

Ako je spoj mastan, hrđav ili na sebi ima druge prljavštine, osnovni materijal i ljepilo se ne mogu povezati na adekvatan način. Čvrstoća spoja je znatno manja nego kod ispravno očišćenog lijepljenog spoja jer se adhezijske veze ne mogu formirati. U ovom će slučaju vrlo vjerojatno doći do adhezijskog loma što je nedopustiva greška, odnosno dio ili cijela strana lijepljenog spoja će se odlijepiti u potpunosti.

Povećavanjem hrapavosti povećava se površina prijanjanja stvaranjem udubljenja i uzvišenja.[9]

Površine metala ohrapavljuje se brušenjem, finim četkanjem, pjeskarenjem ili sačmarenjem. Čiste se i odmašćuju perkloretilenom, trikloretilenom ili ugljičnim tetrakloridom (izložene djelovanju pare ili uronjene u paru), te acetonom ili lužinama (uronjeno).[10] Ručno čišćenje se koristi se samo kod mjesta nedostupnih za strojno čišćenje. Može se čistiti brusnim papirom, žičanim četkama, lopaticama i sl. što je vrlo sporo i nema zadovoljavajući stupanj čistoće površine. Strojno se čišćenje provodi pomoću rotirajućih čeličnih četki, bruseva itd. Ono u odnosu na ručno čišćenje omogućuje bolje pripremljenu površinu i veću brzinu rada. Mehaničko čišćenje se također obavlja i mlazom abraziva (čelične sačme, korund, kremenij pijesak i sl.). Pjeskarenjem se dobiva vrlo prikladna površina za lijepljenje, koja u praksi daje jako dobre rezultate kod ispitivanja čvrstoće spoja. Pijesak promjera 0,15 do 0,25 mm izbacuje se pomoću komprimiranog zraka velikim brzinama (80-100 m/s). Uudara o površinu obratka pri čemu se uklanjaju nečistoće, hrđa te se postiže ujednačena hrapavost površine. Često se primjenjuje i vlažno pjeskarenje, odnosno obrada mlazom vodene emulzije kremenog pijeska. Ponekad se za pripremu polimera koristi vodeni mlaz, a prednost ovog postupka je neškodljivost za okolinu.[10] Nedostatak postupka mehaničkog čišćenja su skupa oprema i zanemarivo povećanje adhezivnih sila.

Kako bi se postigle veće adhezivne sile, materijal je potrebno kemijski obraditi kako bi se postigla bolja kemijska svojstva. Svrha kemijske obrade je uklanjanje pasivnog filma s podloge (najčešće se nalaze na visokolegiranom ili nehrđajućem čeliku). Pasivni film je tanka nakupina oksida koja štiti materijal od korozije. Oksidi se proizvode legirajućim elementima koji se dodaju čeliku, poput kroma ili titana. Kada govorimo o kemijskoj pripremi površine razlikujemo obradu reaktivnim plinovima (obrada ozonom, fluoriranje) i vlažne kemijske postupke. Najčešće se određena kemikalija, lužina ili njihova mješavina stavlja u kadu. Nakon toga slijedi zagrijavanje mješavine na zadovoljavajuću temperaturu i uranjanje metala u kade. Nakon određenog vremena u kadi, kemijski obrađen metal vadi se iz kade, ispire i suši u posebnim pećima. [11]



Elektrokemijska priprema površine primjenjuje se kod lijepljenih spojeva za koje se očekuje da će u eksploataciji biti pod vrlo velikim opterećenjem, npr. u zrakoplovnoj industriji. Priprema površine zračenjem podrazumijeva obradu  $\gamma$  - zračenjem, UV - zračenjem, laserskim ili elektronskim zračenjem. Ukoliko nije moguće obaviti lijepljenje odmah nakon pripreme površine uslijed određenih uvjeta proizvodnje, u obzir se mogu uzeti sljedeće mjere: [8]

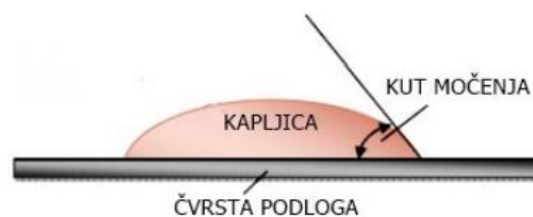
- klimatizacija- na taj način se izbjegavaju reakcije površine s vlagom iz atmosfere. Temperatura dijelova za lijepljenje mora biti jednaka okolišnoj, kako bi se izbjegla kondenzacija vodene pare na površini
- nanošenje sredstava za pojačavanje prijanjanja- služi povećanju čvrstoće lijepljenog spoja i otpornosti prema atmosferskim promjenama
- konzervacija površina za lijepljenje- može se provesti primjenom primera.

#### 2.4.1. Površinska napetost

Ovisno o površinskoj napetosti određuje se hoće li se neki materijal lakše ili teže zalijepiti. Površinska napetost je nastojanje kapljevine ili čvrstog tijela da postigne što povoljnije energetske stanje smanjenjem slobodne površine. Molekule koje se nalaze u unutrašnjosti kapljevine ili čvrstog tijela privlače molekule s površine svojim privlačnim silama, smanjujući tako broj onih molekula koje ostaju na površini. Oko molekula s površine se stvara dodatni prostor pa tako postižu veću energiju. Količina energije koju sadrže molekule na površini ovisi o tome hoće li sposobnost nekog tijela za lijepljenje biti mala ili velika. Da bi se ostvarilo uspješno lijepljenje, slobodna energija lijepljenog materijala mora biti veća ili jednaka slobodnoj energiji ljepila.[12]

#### 2.4.2. Močenje površine

Sposobnost za ostvarivanjem potpunog dodira ljepila s površinama koje se lijepe, a ujedno i prvi uvjet za dobro lijepljenje naziva se močenje površine. Pri močenju se ostvaruje dodir između molekula ljepila i površine prema maksimalnom mogućem broju. Učinkovitost postupka ocjenjuje se na osnovu kuta močenja prikazanog na slici 12.



Slika 12. Kut močenja [12]

## 2.5. Priprema ljepila

Ljepilo je prije nanošenja potrebno pripremiti na adekvatan način. Ljepila koja kemijski reagiraju se u pravilu miješaju po sustavu podređenih komponenti, dok se ljepila koja očvršćuju na fizikalan način homogeniziraju. Za proizvodnju i ponašanje lijepljenih spojeva kod pripreme bitna su reološka svojstva ljepila. Ona definiraju sposobnost ravnomjernog raspoređivanja ljepila po površini ovisno o vremenu.

Viskoznost je presudni kriterij za sposobnost močenja površine za lijepljenje. Viskoznost ljepila se temelji na molekularnom sastavu, odnosno na duljini lanaca i polarnih skupina. Kako bi postigli ravnomjernu debljinu ljepila i kontinuitet nanesenog sloja ljepila važno je poznavati viskozno ponašanje. Viskoznost može varirati pa se stoga u slučaju premale viskoznosti mogu dodati sredstva za zgušnjavanje, a u slučaju prevelike viskoznosti odgovarajuća otapala s ciljem smanjenja viskoznosti.

### 2.5.1. Miješanje ljepila

Pri miješanju ljepila važno je ostvariti dva cilja:[8]

- promjena fizikalnih svojstava ljepila, što se ostvaruje dodavanjem punila i/ili otapala.  
Pri tome bi trebalo:
  1. izbjegavati zračne mjehuriće kod ljepila visoke viskoznosti
  2. izabrati odgovarajuće otapalo pogodno za određeni sustav
  3. pripaziti na činjenicu da se otapala (reakcijska ljepila visoke viskoznosti) koje su prije polimerizirana ne mogu ponovo učiniti upotrebljivim.
- uvođenje kemijske reakcije do učvršćivanja, pri čemu se razlikuju dva osnovna tipa reakcijskih ljepila:
  1. reakcija do kojih dolazi dodavanjem učvršćivača (ubrzivača, katalizatora) koji se u manjim količinama dodaju osnovnom monomeru
  2. reakcija do kojih dovode dvije komponente osnovnih monomera. Najvažnije je da su te dvije pri uporabi ljepila ravnomjerno i homogeno raspoređene.  
Prema reaktivnosti komponenti koje se miješaju, dolazi do oslobađanja topline.  
Pri tome vrijede sljedeće zakonitosti:
    - a. sustavi koji očvršćuju na hladnom, imaju kraće vrijeme očvršćivanja (sekunde, minute, sati)
    - b. sustavi koji očvršćuju na toplom, imaju duže vrijeme očvršćivanja

(sati, dani, tjedni)

c. hlađenjem se produljuje vrijeme očvršćivanja.

### 2.5.2. Nanošenje ljepila

Ovisno o konstrukciji dijelova koji se lijepe, viskoznosti ljepila i stupnju automatizacije proizvodnog procesa ljepilo se može nanositi na sljedeće načine: prskanjem, umakanjem, nanošenje valjkom, lijevanjem, nanošenje kistom, nanošenje lopaticom, pečaćenjem, mazanjem, polaganjem, topljenjem i umetanjem.

Bez obzira na način nanošenja ljepila, potrebno je uzeti u obzir sljedeće: [8]

- ljepilo treba nanijeti neposredno nakon površinske obrade
- izbjegavati kondenzirane slojeve vlage na površini dijelova za lijepljenje
- održavati ravnomjernu debljinu ljepila izborom parametara, pritiska i temperature
- nanositi ljepilo na oba dijela za lijepljenje, što omogućava ravnomjerno močenje i stvaranje graničnih slojeva
- ljepila sa otapalom koja se brzo suše treba nanositi na oba dijela za lijepljenje
- pri nanošenju taljivih ljepila treba osigurati odgovarajuće prethodno zagrijavanje dijelova za lijepljenje
- ako ljepila sadrže otapalo potrebno je predvidjeti najkraće vrijeme sušenja
- nakon nanošenja ljepila potrebno je osigurati nepokretnost lijepljenih spojeva pomoću naprava.

Jedan od najstarijih načina nanošenja ljepila je nanošenje kistom ili četkom. Prednosti ručnog nanošenja su niski troškovi, mogućnost dobrog utrljavanja, dobro prijanjanje ljepila i nepotrebna kvalificirana radna snaga. Nedostatak je nemogućnost jednolikog nanošenja sloja ljepila.

Nanošenje ljepila valjkom rijetko se primjenjuje zbog lošijeg utrljavanja ljepila u podlogu.

Često se koristi nanošenje ljepila mlaznicom, prikladno je za serijsku proizvodnju i osigurava veću brzinu rada. Najvažniji dio uređaja je pištolj za nanošenje ljepila, kroz njegovu se mlaznicu pomoću komprimiranog zraka potiskuje ljepilo. Na slici 13 prikazan je pištolj za nanošenje ljepila.



*Slika 13. Pištolj za nanošenje ljepila [13]*

Također postoje posebni uređaji za štrcanje dvokomponentnih i višekomponentnih ljepila koji na izlazu iz pištolja omogućuju miješanje ljepila. Ti uređaji omogućavaju rad s ljepilima koja imaju kratko vrijeme od miješanja komponenti od otvrdnjavanja. Kod tih uređaja se materijal ekonomičnije troši i uređaj se lako očisti.

Nanošenje valjcima je moderan i visoko automatiziran proces koji nanosi jednoličan sloj ljepila. Debljina sloja ljepila prilagođava se brzinom vrtnje ili razmakom valjaka.

Zavjesno nanošenje ljepila je postupak nanošenja ljepila na ravne površine ili na pomične trake jednostavnom tehnikom ispuštanja ljepila iz posuda s procjepom.[12]

Roboti, poluautomatska i automatska oprema za nanošenje ljepila (slika 14) razvijena je da bi se omogućilo precizno nanošenje ljepila, a time i ujednačena svojstva lijepljenog spoja. Automatska oprema ima ugrađen precizni regulator pritiska koji osigurava konstantni pritisak te digitalni softver koji mjeri vrijeme i temperaturu. Također ima mogućnost različitih načina za nanašanje ljepila gdje može koristiti način u kojem se nanose kapljice ljepila, isprekidane linije ljepila ili kontinuirana linije.

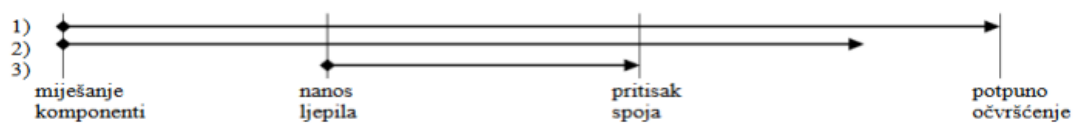


*Slika 14. Poluautomatski uređaj i robot za nanošenje ljepila [5]*

### 2.5.3. Sušenje ljepila

Ovisno o vrsti ljepila i vrsti materijala koji se lijepe, za učvršćivanje ljepila je potrebno određeno vrijeme:[14]

- 1) vrijeme očvršćivanja ljepila (od trenutka miješanja komponenti do trenutka potpunog očvršćivanja)
- 2) radno vrijeme (vrijeme tijekom kojeg su pomiješane komponente ljepila još uporabljive)
- 3) otvoreno vrijeme (vrijeme nanošenja ljepila do stavljanja spoja pod tlak).



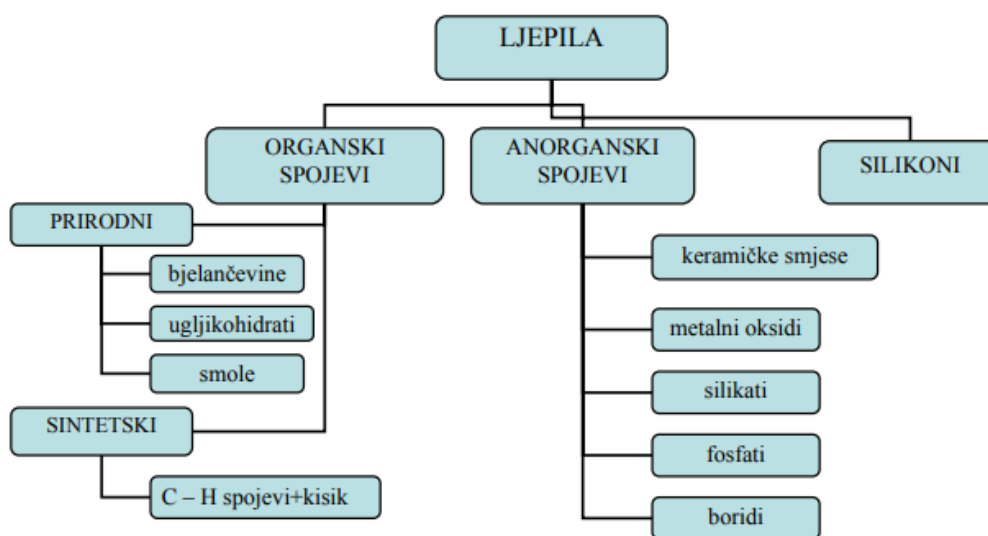
Slika 15. Vrijeme sušenja ljepila [14]

### 3. Podjela ljepila

Ljepila možemo klasificirati po različitim kriterijima, npr. prema agregatnom stanju, prema sastavu, namjeni, temperaturi pripreme itd. Kemijski sastav i mehanizam očvršćivanja ljepila dva su najvažnija kriterija prema kojima možemo podijeliti ljepila.

#### 3.1. Podjela prema kemijskom sastavu

Ljepila prema kemijskom sastavu možemo podijeliti u dvije osnovne skupine. Prva skupina obuhvaća organske spojeve, dok druga obuhvaća anorganske. Na slici 16 prikazana je opća podjela ljepila prema njihovom kemijskom sastavu.



Slika 16. Podjela ljepila prema kemijskom sastavu[8]

Ljepila na organskoj osnovi najstarija su poznata ljepila, ali se zbog svojih slabijih svojstava sve rjeđe koriste. Slabo su postojana na starenje, imaju nisku čvrstoću i nisu pogodna za lijepljenje metala. Najčešće se koriste za lijepljenje poroznih materijala kao što su karton, papir i drvo. Takva organska ljepila se nazivaju tutkalo. Tutkalo se sastoji od životinjskih, biljnih ili sintetičkih osnovnih tvari i vode kao otapala.

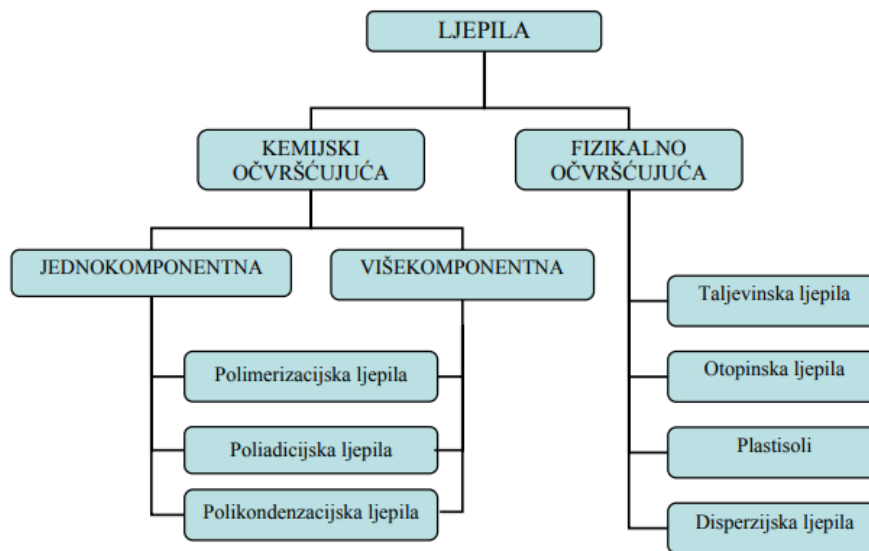
Prema porijeklu životinjskih tutkala, razlikuje se tutkalo od kostiju i krvi, riblje tutkalo i tutkalo od kože. Osnovni sastojci biljnih ljepila su škrob, dekstrin i celuloza. Tako se razlikuju celulozni nitrat, celulozno tutkalo, dekstrinsko tutkalo, guma arabicum (ljepila od krutih biljnih sokova) i škrobno tutkalo.[8]

Ljepila na anorganskoj osnovi su za razliku od onih na organskoj osnovi postojana na povišene temperature. Poznatija su kao glaslote ili anorganska stakla. To su mješavine borne kiseline,

silicijevog dioksida, natrijevog karbonata, aluminijevog oksida s metalnim dijelovima, niklom, željezom i bakrom.

### 3.2. Podjela prema mehanizmu očvršćivanja

Prema mehanizmu očvršćivanja ljepila dijelimo na kemijski i fizikalno očvršćujuća. Na slici 17 prikazana je podjela prema mehanizmu očvršćivanja.



Slika 17. Podjela ljepila prema mehanizmu očvršćivanja [8]

Cijanoakrilatna ljepila, anaerobna ljepila i ljepila koja očvršćuju pod utjecajem zračenja su najpoznatija ljepila među polimerizacijskim jednokomponentnim kemijski očvršćujućim ljepilima. Karakteristično za njih je da početne monomerne tvari posjeduju barem jednu dvostruku vezu koja za razliku od jednostruke veze ima veću količinu energije.

Tijekom reakcije s površinom za lijepljenje cijanoakrilatna ljepila se umrežuju i trenutno očvršćuju. Zalijepljeni dijelovi mogu se koristiti nekoliko sekundi nakon lijepljenja. Takva ljepila su kruta i krhka te pogodna za lijepljenje manjih plastomernih površina i guma. Ova ljepila mogu se koristiti do temperature od 100 °C.

Anaerobna ljepila se umrežuju kada se eliminira dovod zraka. Sve dok su u kontaktu s kisikom nalaze se u kapljevitom stanju, što im je velika prednost pred ostalim ljepilima. Višak ljepila koji iscure moguće je vrlo lako odstraniti jer se zbog dodira s kisikom još uvijek nalazi u kapljevitom stanju. Zbog otpornosti lijepljenih spojeva na udarce i prigušenja vibracija koriste se za lijepljenje sigurnosnih dijelova.

Polimerizacija zračenjem očvršćujućih ljepila odvija se pod utjecajem fotoinicijatora, a tu ulogu najčešće imaju dušični spojevi.[8]

Najpoznatija polimerizacijski dvokomponentno kemijski očvršćujuća ljepljiva su metakrilati. Njihova prednost je brzo očvršćivanje i jednostavna primjena. Nisu osjetljiva na masnoću površine i prikladna su za lijepljenje krutih materijala (keramika, metal, staklo) i materijala različite toplinske rastezljivosti (npr. metal-staklo).

Kod poliadiacijskih kemijski očvršćujućih ljepljiva najpoznatija su epoksidna i poliuretanska ljepljiva. Epoksidna se ljepljiva sastoje od umreživala i epoksidne smole. Ovim ljepljivima se postižu čvrsti i trajni spojevi. Povišenom temperaturom je moguće ubrzati njihovo očvršćivanje. Postoje jednokomponentna i dvokomponentna ljepljiva. Temperatura primjene ovih ljepljiva je do 120 °C. Poliuretanska kemijski očvršćujuća ljepljiva su elastična i žilava. Koriste se za veće površine i zračnosti spojeva. Dobro prijanjaju na različite površine, dobro su postojana pri povišenim temperaturama, a posebno se ističe fleksibilnost spojeva pri nižim temperaturama.

Polikondenzacijska kemijski očvršćujuća ljepljiva se razlikuju od polimerizacijskih i poliadiacijskih ljepljiva u tome što do povezivanja dviju monomernih molekula u polimer dolazi usljed cijepanja jedne jednostavne molekule kao što je voda ili alkohol. Pri tome je važno ukloniti nusprodukt koji pri toj reakciji nastaje. Najpoznatija polikondenzacijska ljepljiva su: formaldehidi, poliamidi, poliesteri, silikoni, polibenzimidazoli i polisulfoni.[8]

Najpoznatija fizikalno učvršćujuća ljepljiva su taljevinska ljepljiva koja ne sadrže hlapljive monomere i otapala i očvršćuju vrlo brzo. Ona su ekološki prihvatljiva i jamče sigurnost u radu. Nedostatak taljevinskih ljepljiva je sklonost deformacijama pri povišenim temperaturama.

Druga skupina fizikalno očvršćujućih ljepljiva su otopinska ljepljiva. Za njihovu je obradu potrebno hlapljivo organsko otapalo koje ne ulazi u sloj ljepljiva. U ova ljepljiva spadaju vlažna ljepljiva, kontaktna ljepljiva, prijanjajuća ljepljiva i vruća pečatna ljepljiva.

Plastisoli su bezotopinska ljepljiva koja očvršćuju na temperaturama između 150 i 180 °C. Vrlo su fleksibilna, teško se ljušte i ne posjeduju visoku čvrstoću.[8]

Disperzijska fizikalno očvršćujuća ljepljiva nastaju isparavanjem kapljevite faze iz vodenih disperzijskih sredstava u kojima se nalaze čvrste čestice polimera koje nakon toga i stvaraju ljepljivi sloj.[8]



## 4. Prednosti i nedostaci tehnologije lijepljenja

### Prednosti

Velika većina materijala može se lijepiti na isti materijal ili druge materijale.

Sposobnost lijepljenja različitih materijala koji mogu biti različitog modula i debljine. Tanki materijali mogu se lijepiti tamo gdje bi druge metode spajanja uzrokovale izobličenje.

Lijepljenje je jednako prikladno za male i za velike dijelove. Tako je u mikroelektronici potrebno samo nekoliko mikrograma ljepila po komponenti, dok je u proizvodnji lopatica rotora za vjetroturbine potrebno nekoliko stotina kilograma po komponenti. [15]

Izrada složenih oblika gdje druge metode spajanja nisu izvedive. Izgled gotovog proizvoda poboljšan je glatkim vanjskim spojnim površinama i konturama, a ujedno se uklanjaju šupljine, praznine i izbočenja spojnih elemenata kao što su zakovice, vijci itd.

Zbog površinskog prijenosa sile postiže se ujednačena raspodjela naprezanja na cijelom području vezivanja. Time se optimalno koriste svojstva podloge.

Odabirom odgovarajuće velike površine vezivanja, relativno visoke sile mogu se prenositi i između tankih podloga, što je posebno povoljno za primjene u lakim konstrukcijama.

Smanjenje težine često se može postići upotrebom ljepila umjesto vijaka ili zakovica.

Vežanje je povezano s nultim ili samo neznatnim toplinskim opterećenjem, tako da se uvelike izbjegavaju toplinska distorzija, toplinska naprezanja ili promjene u mikrostrukturi i posljedično promjena mehaničkih svojstava podloge.

Osim prijenosa snage, mogu se ugraditi i dodatna svojstva, kao što su:

- brtvljenje spoja
- akustično prigušivanje i odvajanje
- električna izolacija
- električna vodljivost
- toplinska izolacija
- toplinska vodljivost.

## **Nedostatci**

Dostupne su mnoge vrste ljepila i često se razvijaju s posebnom namjenom. Kao rezultat toga, ono što bi se moglo smatrati nedostatkom određene vrste ljepila u nekim aplikacijama može biti njegova prednost u drugoj. Stoga je bitno koristiti ljepilo koje je prikladno za primjenu.

Proces lijepljenja može biti kompliciran, stoga je potrebna dobra priprema površine prije spajanja i održavanje komponenti čistima. Ovisno o uvjetima temperature/tlaka, vlažnosti obrade i relativno dugom vremenu stvrdnjavanja potrebna je prikladna priprema i prikladno nanošenje ljepila.

Ovisno o kemijskoj osnovi, neke vrste ljepila imaju ograničenu toplinsku i kemijsku otpornost, a mehanička svojstva veze ovise o temperaturi. Stoga odaberite vrstu ljepila koja je razvijena da ima dobru toplinsku i kemijsku otpornost, kao što su reaktivna vruća taljiva ljepila. [15]

Neka ljepila mogu pokazivati blagu sklonost puzanju. Ako je to važno za vašu primjenu, odaberite ljepilo koje neće puzati.

Dugoročna stabilnost veze podložna je procesima starenja pa bi trebalo pripaziti da odaberete ljepilo s životnim vijekom primjerenim vašoj primjeni.

Zajedno s drugim tehnikama lijepljenja, neka ljepila i srodni materijali potrebni za proces lijepljenja (kao što su otapala za čišćenje, temeljni premazi itd.) su opasne tvari i zahtijevaju odgovarajuće mjere opreza pri rukovanju.

Ispitivanje ne može u potpunosti postići nerazornim metodama.

Temperaturna ograničenja ograničavaju upotrebu spojene strukture na određene radne temperature, dok su zakovani, zavareni ili lemljeni spojevi zadovoljavajući pri višim temperaturama.

Keramička ljepila podložna su toplinskom i mehaničkom udaru.

Loša električna i toplinska vodljivost mnogih ljepila, osim ako nisu modificirana punilima.

Poteškoće pri demontaži vezanih konstrukcija za popravak. Određene se vrste ljepila ne mogu ukloniti bez oštećenja barem jedne podloge dok je druge lakše ukloniti.

Moguća degradacija veze toplinom, hladnoćom, biološkim propadanjem, kemijskim agensima, plastifikatorima, zračenjem i drugim uvjetima rada.

## 5. Primjena tehnologije lijepljenja

Moderna ljepila postala su nezamjenjiva u današnjem svijetu. Mogu se naći u svakodnevnim i specijaliziranim proizvodima. Evo nekoliko primjera iz različitih područja:

### Automobilska industrija

Današnja vjetrobranska stakla izrađena su od laminiranog sigurnosnog stakla, koje se sastoji od dva ili više komada stakla zalijepljenih na viskozni, prozirni ljepljivi film otporan na trganje. Ovaj film između ostalog osigurava da vjetrobran ostane netaknut kao cjelina nakon loma, čime se smanjuje rizik od ozljeda od krhotina stakla. Nadalje, dok su vjetrobranska stakla prije bila pričvršćena na karoseriju pomoću gumene brtve, danas su čvrsto zalijepljena i čine sastavni dio karoserije. To je moguće samo korištenjem ljepila s ispravnim mehaničkim svojstvima za primjenu; s jedne strane, ljepilo nudi dovoljnu čvrstoću za pričvršćivanje vjetrobrana na karoseriju, a s druge strane, dovoljno je elastično da kompenzira relativne pomake između karoserije i vjetrobrana tijekom vožnje, čime se sprječava lomljenje. Budući da zalijepljeno vjetrobransko staklo doprinosi krutosti vozila, na određenim mjestima se mogu koristiti tanji limovi, čime se smanjuje težina vozila i u konačnici njegova potrošnja energije (slika 18).



Slika 18. Primjer lijepljenja vjetrobranskog stakla [16]

Pojava sve više elektronike u motornim vozilima, od sustava upravljanja motorom, sigurnosnih komponenti kao što su ABS i ESP i sustava pomoći vozaču, do značajki koje povećavaju udobnost, ne bi bilo moguće bez modernih ljepila. Zbog male veličine upravljačkih uređaja, senzora, kamera itd., mogućnosti konvencionalnih tehnologija spajanja ubrzo su premašene. Stoga se komponente koje se danas koriste pretežno lijepe pomoću ljepila. Kako bi se osiguralo ispravno funkcioniranje upravljačkih jedinica i pripadajućih senzora, elektronika mora biti sigurno zaštićena od vanjskih utjecaja, kao što su vlaga, sol, gorivo i druge automobilske tekućine. Mnogi senzori su stoga kapsulirani ili zaštićeni sigurnim kućištem. U oba slučaja

koriste se ljepila. U slučaju lijevanja komponenti mora se postići zalijevanje bez mjehurića, a stvrdnuti materijal za zalijevanje mora imati određenu mehaničku stabilnost kako bi izdržao abrazivni udar pijeska i šljunka tijekom vožnje. S druge strane, mora imati dovoljnu elastičnost kako bi se izbjeglo kruženje topline poput šoka zbog različitog ponašanja elektroničkih komponenti pri toplinskom širenju, što bi moglo dovesti do curenja ili puknuća lemljenih spojeva i time do kvara.

### **Medicina i medicinska tehnologija**

U medicini i medicinskoj tehnologiji ljepila imaju sve važniju ulogu. Gips, na primjer, mora imati dobro prijanjanje na različite tipove kože, ali i biti što bezbolniji za uklanjanje. Osim toga, transdermalni flasteri isporučuju lijekove kroz dulje vrijeme kroz kožu u krvotok, drugi se koriste za dugotrajno pričvršćivanje senzora koji se koriste na primjer za kontinuirano mjerenje razine šećera u krvi. Ovi flasteri moraju se čvrsto držati do 14 dana, ponekad u ekstremnim uvjetima, na primjer, kada se tuširate, plivate, vježbate ili u sauni. Podrazumijeva se da ova ljepila moraju biti pogodna za kožu. Ljepila koja se koriste su posebna ljepila osjetljiva na pritisak na bazi akrilata ili sintetičke gume.

U kirurgiji se ljepila koriste u liječenju određenih kirurških rana (slika 19). Ta se ljepila obično temelje na fibrinu, prirodnoj ljepljivoj tvari koja uzrokuje zgrušavanje krvi prilikom krvarenja. Budući da se fibrin prirodno pojavljuje u tijelu, prednost ima to što tijelo ne odbacuje ljepilo. Osim toga, s vremenom se prirodno razgrađuje, što eliminira potrebu za detaljnim naknadnim tretmanom kao što je uklanjanje šavova. Ovo svojstvo posebno je važno za operacije na srcu ili gastrointestinalnom traktu.



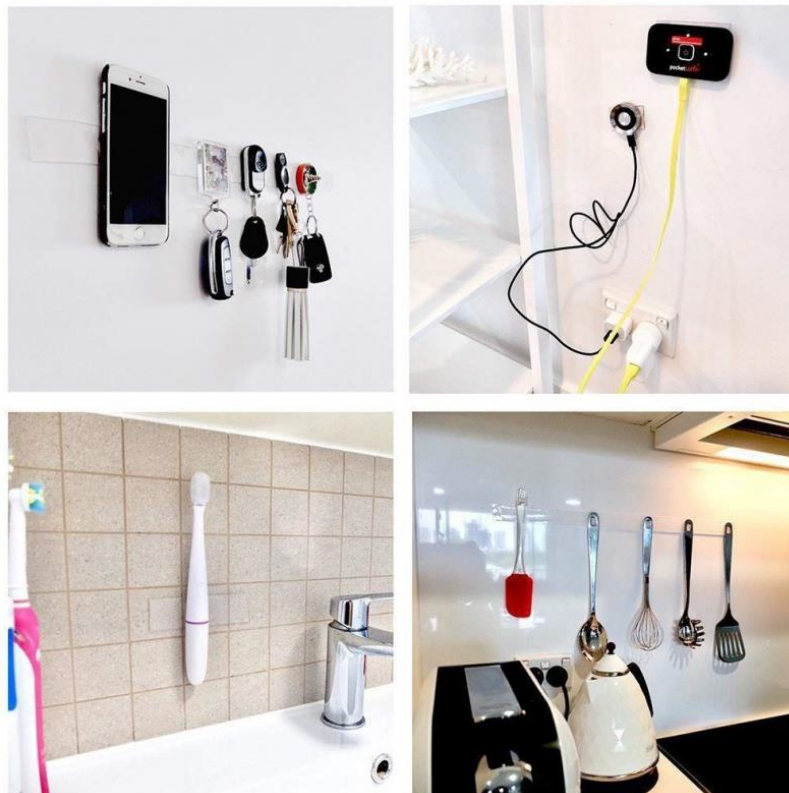
*Slika 19. Primjer korištenja kirurškog ljepila za zatvaranje rana [17]*

Inovativna ljepila koriste se i u stomatologiji. Ne samo da se koriste za punjenje karijesa i izradu proteza nego su od neprocjenjive važnosti u ortodontici. Nosači kroz koje se provlače žice

aparatića pričvršćuju se na zube pomoću posebnih ljepila. S jedne strane, bravice bi se trebale čvrsto držati u vlažnom, toplom okruženju u ustima, ali se kasnije moći ukloniti bez ostatka.

### Industrija kućanskih aparata

Ljepila se također široko koriste u proizvodnji kućanskih aparata, ispunjavajući niz različitih zahtjeva za lijepljenjem. Na primjer, temperaturno stabilna silikonska ljepila koriste se u proizvodnji keramičkih ploča za kuhanje ili za brtvljenje prozora na vratima pećnice. Spojevi moraju biti sposobni izdržati temperature do 250 °C i, naravno, nikada ne smiju ispuštati onečišćujuće tvari. S druge strane, membranske tipkovnice upravljačkih ploča kao i pločice s oznakama za konvencionalne upravljačke ploče pričvršćene su na uređaje kao što su pećnice, hladnjaci, perilice i sušilice rublja pomoću dvostranih ljepljivih traka (slika 20).



Slika 20. Primjeri korištenja dvostranih ljepljivih traka u kućanstvu [18]

Osim toga, proizvodnja višenamjenskih uređaja, poput onih koji olakšavaju kuhanje, miješanje, gnječenje, miješanje i mljevenje, bila bi nemoguća u sadašnjem obliku bez modernih ljepila. Srce takvih uređaja često je iznimno snažan elektromotor bez četkica. S jedne strane trebaju velike brzine za mljevenje na primjer orašastih plodova, a s druge strane trebaju velike mogućnosti zakretnog momenta pri malim brzinama za miješanje tijesta. Budući da su neki od ovih uređaja prikladni za kuhanje, potrebna je odgovarajuća temperaturna otpornost. Ljepila koja stvrdnjavaju svjetlo osiguravaju da rotor i stator, dvije glavne komponente motora, tvore

robusnu jedinicu. Stvrđavanje ljepila odvija se u vrlo kratkom vremenu, tako da se velike količine uređaja mogu proizvesti isplativo.

### **Industrija pakiranja**

Većina ambalaže za smrznutu hranu i hranu za mikrovalnu pećnicu sastoji se od biorazgradivih filmskih kompozita. Naravno, ljepila koja se koriste za izradu ovih filmskih kompozita također moraju biti biorazgradiva. To se postiže korištenjem molekula prirodnih polimera, kao što su celuloza i škrob, koji se pomoću enzima mogu razgraditi do vode, ugljičnog dioksida i biomase.

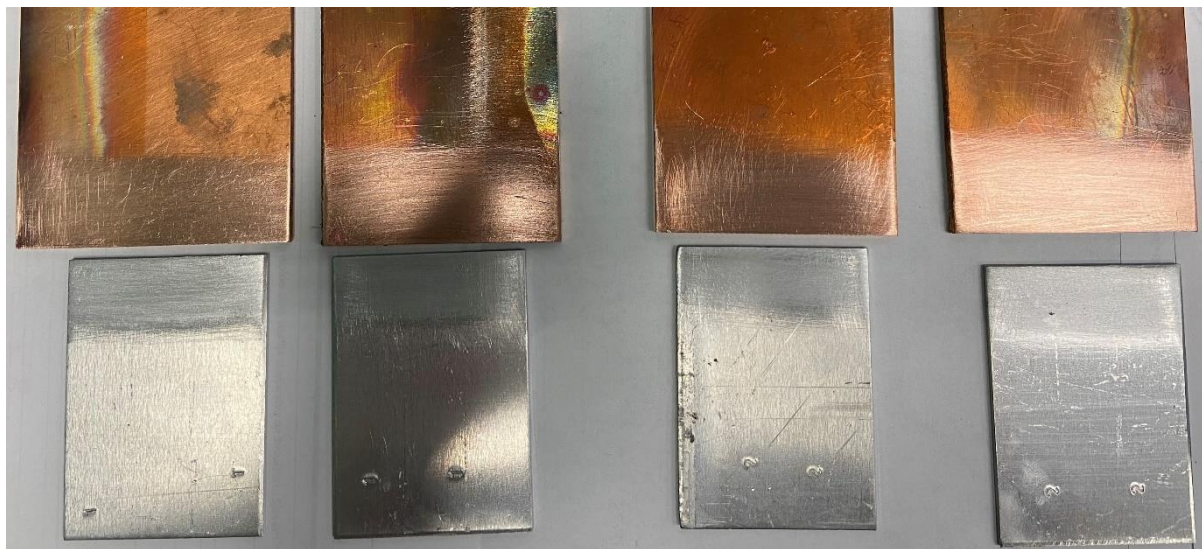
## 6. Eksperimentalni dio

### 6.1. Opis eksperimenta

Cilj eksperimenta bio je odrediti kako hrapavost površine utječe na smičnu čvrstoću lijepljenog spoja. Pripremljeno je osam uzoraka, po dva za svaku granulaciju brusnog papira. Nakon brušenja, svi su uzorci očišćeni etanolom. Dvokomponentnim epoksidnim ljepilo lijepili su se limovi od bakra (Cu-ETP) debljine 3 mm i aluminijski (Al EN AW-6061) 2 mm. Dva tjedna nakon lijepljenja, na uzorcima je mjerena smična čvrstoća lijepljenog spoja.

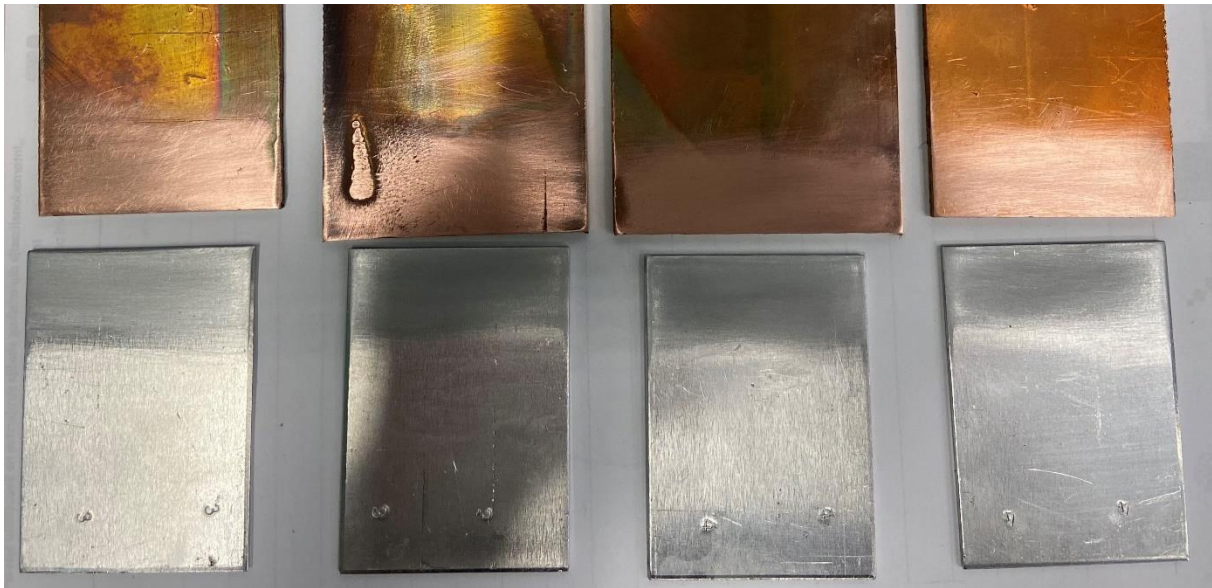
### 6.2. Priprema površine

Površine prvih dvaju uzoraka (uzorci 1.1 i 1.2) pripremljene su brusnim papirom granulacije 180, a druga dva uzorka (uzorci 2.1 i 2.2) brusnim papirom granulacije 240 (slika 21).



Slika 21. Uzorci 1.1 i 1.2 (lijevo), te 2.1 i 2.2 (desno)

Za površine uzoraka 3.1 i 3.2 korišten je brusni papir granulacije 400, dok je za uzorke 4.1 i 4.2 korišten brusni papir granulacije 600 (slika 22).



Slika 22. Uzorci 3.1 i 3.2 (lijevo), te 4.1 i 4.2 (desno)

### 6.3. Mjerenje hrapavosti

Za mjerenje hrapavosti korišten je uređaj Surtronic S-116 proizvođača Taylor Hobson (slika 23). Širina mjerenja hrapavosti ticalom je 5 mm, dok mu je mjerna amplituda 100 mm. Hrapavost je na svakom uzorku mjerena dva puta, te je na kraju izračunata aritmetička sredina hrapavosti za svaki uzorak. Iz rezultata je vidljivo da hrapavost pada sa smanjenjem granulacije brusnog papira.



Slika 23. Uređaj za mjerenje hrapavosti Surtronic S-116 [21]



Tablica 2. Vrijednosti izmjerene hrapavosti

		Uzorak 1.1	Uzorak 1.2	Uzorak 2.1	Uzorak 2.2	Uzorak 3.1	Uzorak 3.2	Uzorak 4.1	Uzorak 4.2
$R_a$ [ $\mu m$ ]	1.mjerenje	0,98	0,74	0,78	0,86	0,42	0,44	0,28	0,34
	2.mjerenje	1,02	1,08	0,8	0,76	0,44	0,42	0,32	0,30
	Aritmetička sredina	1	0,91	0,79	0,81	0,43	0,43	0,3	0,32

#### 6.4. Vrsta ljepila i lijepljenje limova

Nakon pripreme površine, limovi su lijepljeni dvokomponentnim epoksidnim ljepilom Bison Epoxy Universal (slika 24). To je višenamjensko, neprozirno ljepilo srednje viskoznosti, otporno na vodu i kemikalije, te ima mogućnost bojenja. Otporno na temperature od -40 do +100 °C. Koristi se za popravke metala, porculana, stakla i mnogih vrsta plastike što ga čini nezamjenjivim u domaćinstvu. Proizvođač je na pakiranju naveo da je nosivost ljepila do 17 MPa, što znači da bi za našu površinu od 500 mm<sup>2</sup> ljepilo moglo izdržati maksimalnu silu od 8500 N ili 850 kg. U tablici 3 prikazane su tehničke specifikacije epoksidnog ljepila Bison Epoxy Universal.



Slika 24. Ljepilo Bison Epoxy Universal [19]

Tablica 3. Tehničke specifikacije ljepila Bison Epoxy Universal [20]

TEHNIČKE SPECIFIKACIJE	
Tehnika lijepljenja:	Jednostrano nanošenje
Kemijska baza:	Epoksidna smola
Otpornost na kemikalije:	Water, oil, grease, solvents, diluted acids and alkalis
Boja:	Opaque, honey coloured
Konzistencija:	Tekuća
Gustoća pribl.:	1,1 g/cm <sup>3</sup>
Kapacitet ispunjavanja:	Vrlo dobro
Konačna snaga sveze (Aluminij):	19 N/mm <sup>2</sup>
Konačna snaga sveze nakon:	24 sata
Vrijeme rukovanja:	6 sata
Minimum temperature resistance:	-40 °C
Maksimalna otpornost na temperaturu:	100 °C
Otpornost na vlagu:	Dobro
Omjer smjese:	1:1
Mogućnost bojenja:	Da
Radno vrijeme:	90 minuta
Otapalo besplatno:	Da
Otpornost na UV zračenje:	Vrlo dobro
Viskoznost:	Srednje viskozno
Viskoznost pribl.:	35000 mPa·s
Otpornost na vodu:	Dobro
Topiv u vodi:	Ne

Na slici 25 prikazano je istisnuto ljepilo prije miješanja, dok je na slici 26 prikazano promiješano ljepilo spremno za nanošenja.

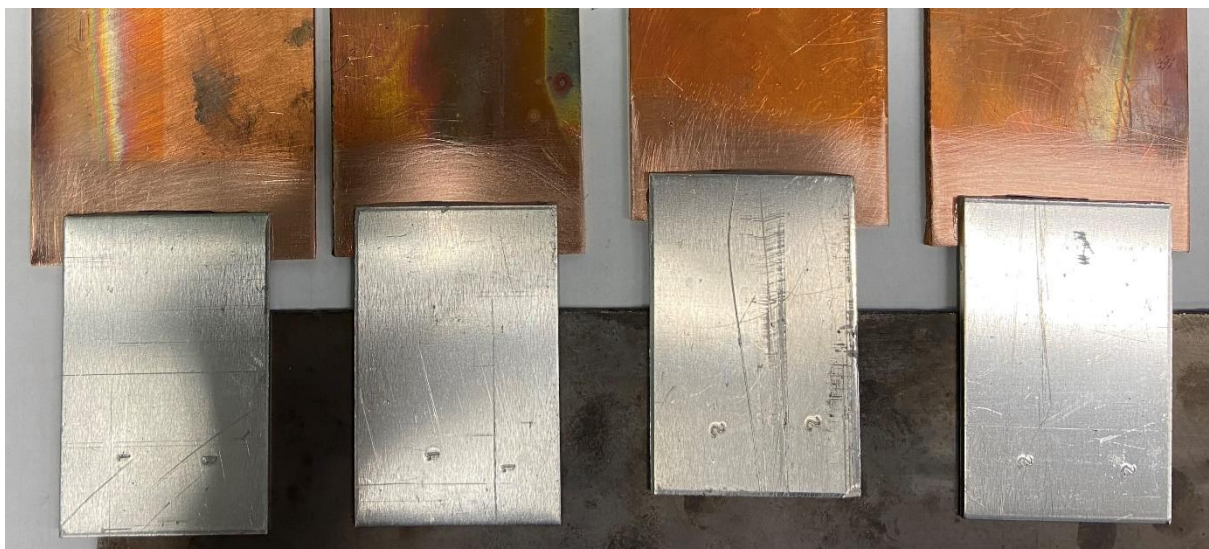


Slika 25. Istisnuto ljepilo

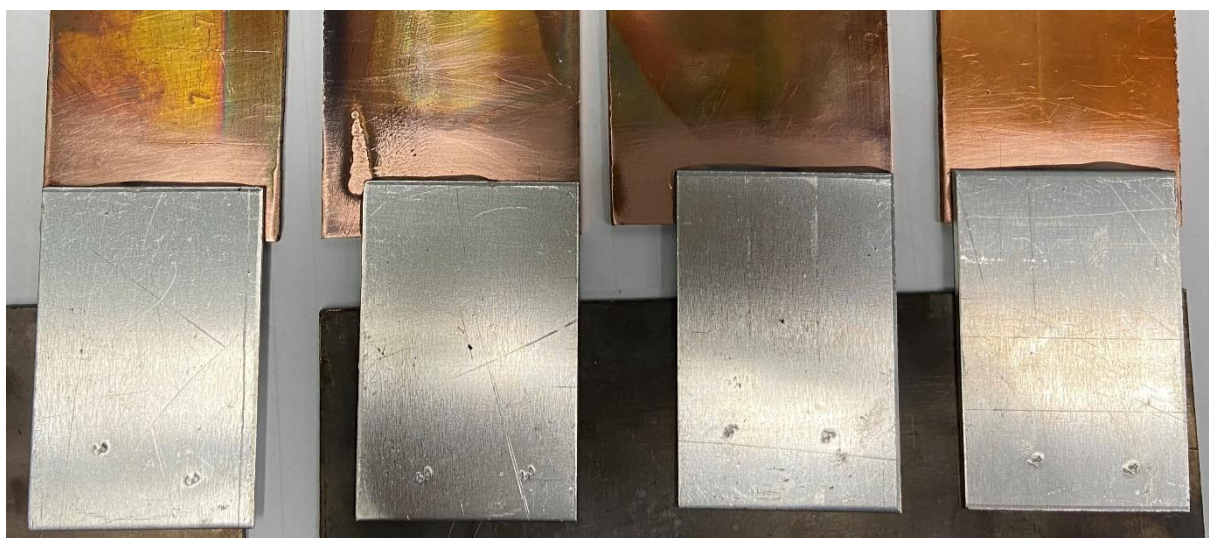


*Slika 26. Promiješano ljepilo*

Nakon miješanja ljepila, ljepilo se u tankom sloju nanosilo na lim od aluminijsa i zatim ljepilo na bakreni lim. Površina lijepljenja bila je 10x50 mm. Zalijepljeni uzorci prikazani su na slikama 27 i 28.

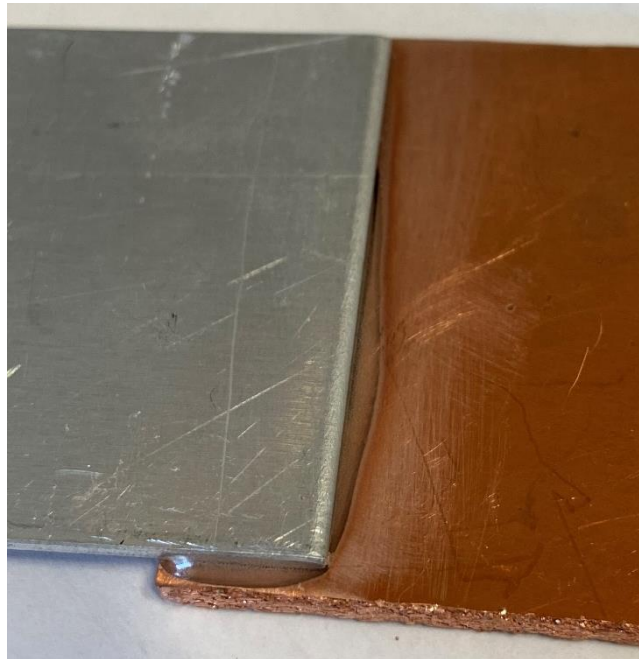


*Slika 27. Zalijepljeni uzorci 1.1 i 1.2 (lijevo), te 2.1 i 2.2 (desno)*



*Slika 28. Zalijepljeni uzorci 3.1 i 3.2 (lijevo), te 4.1 i 4.2 (desno)*

Po završetku lijepljenja svih uzoraka, na svaki od njih je stavljen uteg od 3 kg. Uzorci su nakon toga ostavljeni dva tjedna. Na slici 29 prikazano je istisnuto i skrutnuto ljepilo.



*Slika 29. Istisnuto ljepilo*

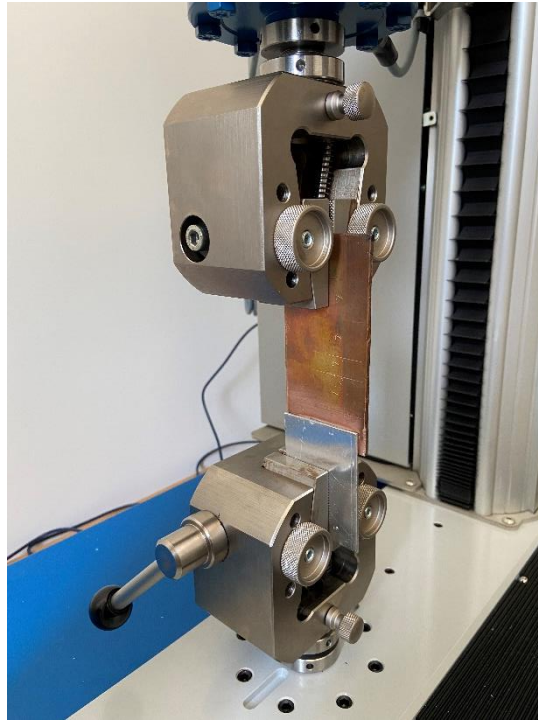
## **6.5. Ispitivanje čvrstoće**

Za mjerenje smične čvrstoće korišten je uređaj Inspekt Blue 20 proizvođača Hegewald & Peschke (slika 30) koji je bio povezan s računalom zbog očitavanja podataka. Uređaj ima mogućnost mjerenja naprezanja do 20 kN. Početna brzina razvlačenja bila je podešena na 0,1 MPa/s.



*Slika 30. Uređaj za mjerenje smične čvrstoće Inspekt Blue 20 [22]*

Na slici 31 prikazan je stegnuti uzorak. U donjoj napravi za stezanje se nalazi lim od aluminija, dok se u gornjoj nalazi lim od bakra. U donju napravu za stezanje dodan je komadić bakrenog lima debljine 3 mm koji nije vidljiv na slici kako bi osi bile poravnate.



*Slika 31. Stegnuti uzorak*

Uzorci 1.1 i 1.2 nisu uzeti u obzir u daljnjem tijeku eksperimenta zbog pogreške u podešavanju parametara kod ispitivanja smične čvrstoće lijepljenog spoja i nemogućnosti očitavanja smične čvrstoće.

Na slici 32 prikazani su ispitni uzorci 2.1 i 2.2 nakon izvršenog ispitivanja.



*Slika 32. Ispitni uzorci 2.1(lijevo) i 2.2(desno) nakon izvršenog ispitivanja*

Na slici 33 prikazani su ispitni uzorci 3.1 i 3.2 nakon izvršenog ispitivanja.



*Slika 33. Ispitni uzorci 3.1(lijevo) i 3.2(desno) nakon izvršenog ispitivanja*

Na slici 34 prikazani su ispitni uzorci 4.1 i 4.2 nakon izvršenog ispitivanja.



*Slika 34. Ispitni uzorci 4.1(lijevo) i 4.2(desno) nakon izvršenog ispitivanja*

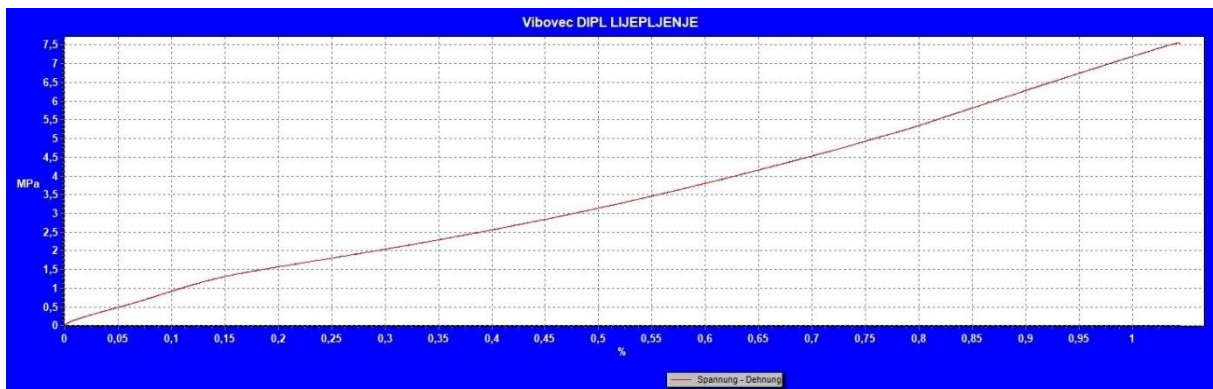
## 6.6. Rezultati eksperimenta

Na sljedećim slikama prikazana su ispitivanja na smik, tj. utjecaj smične čvrstoće na relativno produljenje lijepljenog spoja. Produljenje spoja na svim ispitivanjima uzoraka se ne može uzeti kao relevantno zbog mogućeg proklizavanja uzoraka u steznim napravama kidalice. Pošto je za ovaj eksperiment najvažnije određivanje smične čvrstoće spoja, to nije bio značajan problem.

### Uzorak 2.1

Ispitivanjem smične čvrstoće lijepljenog spoja, za uzorak 2.1 dobiven je rezultat od 7,55 MPa. Maksimalna sila razvlačenja bila je 3,78 kN.

Na slici 35 prikazano je ispitivanje uzorka 2.1.

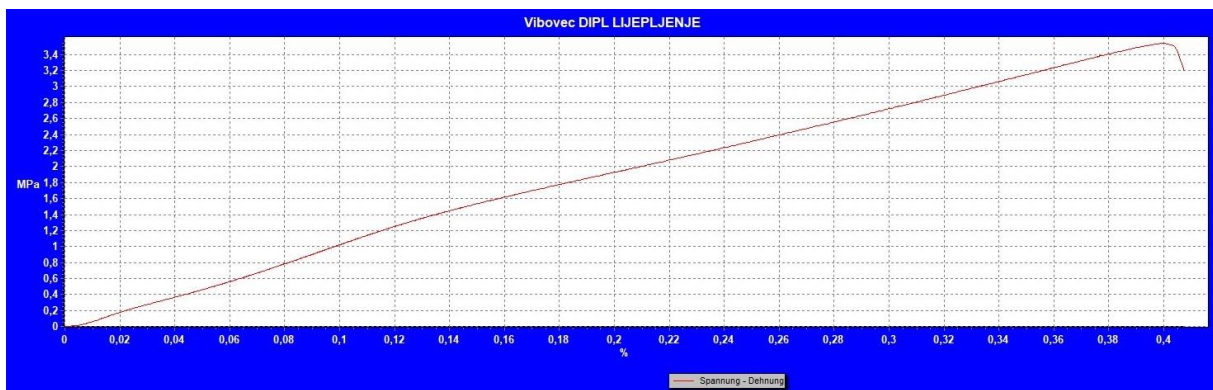


Slika 35. Ispitivanje uzorka 2.1

### Uzorak 2.2

Ispitivanjem smične čvrstoće lijepljenog spoja, za uzorak 2.2 dobiven je rezultat od 3,54 MPa. Maksimalna sila razvlačenja bila je 1,77 kN.

Na slici 36 prikazano je ispitivanje uzorka 2.2.

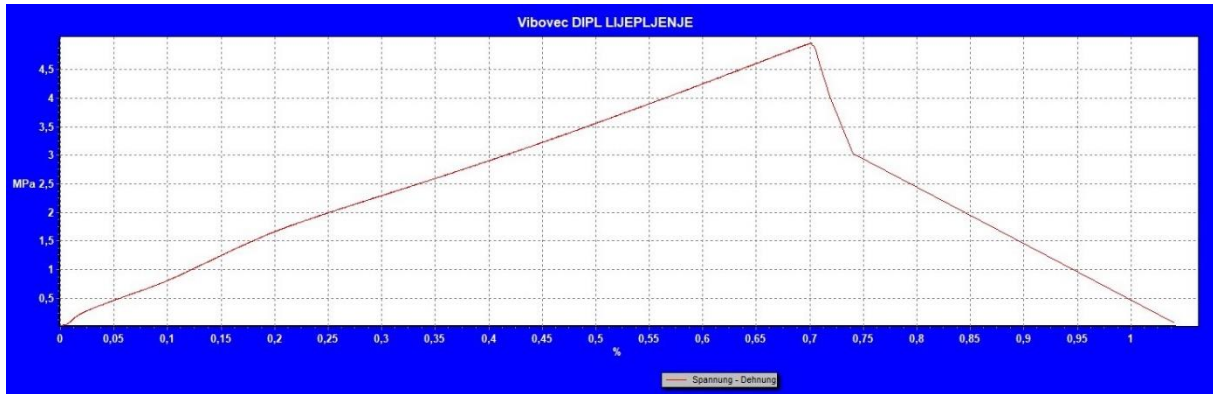


Slika 36. Ispitivanje uzorka 2.2

### Uzorak 3.1

Ispitivanjem smične čvrstoće lijepljenog spoja, za uzorak 3.1 dobiven je rezultat od 4,96 MPa. Maksimalna sila razvlačenja bila je 2,48 kN.

Na slici 37 prikazano je ispitivanje uzorka 3.1.

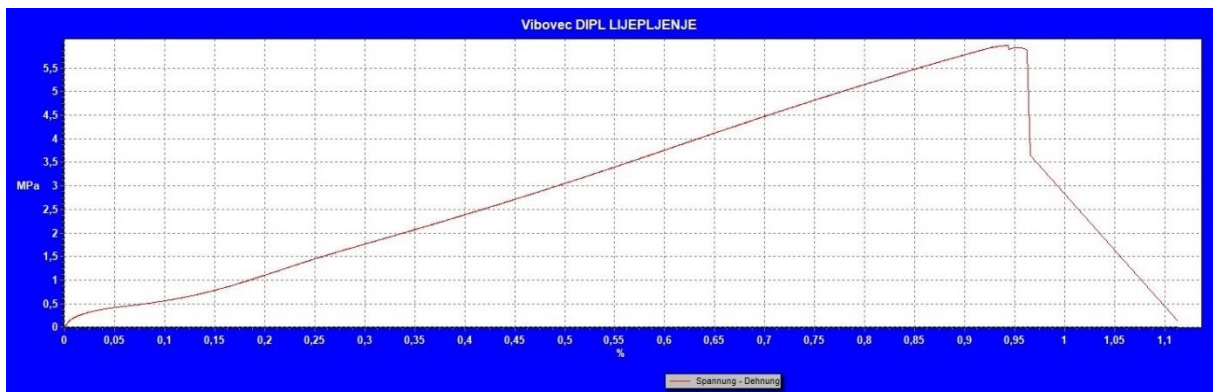


Slika 37. Ispitivanje uzorka 3.1

### Uzorak 3.2

Ispitivanjem smične čvrstoće lijepljenog spoja, za uzorak 3.2 dobiven je rezultat od 5,98 MPa. Maksimalna sila razvlačenja bila je 2,99 kN.

Na slici 38 prikazano je ispitivanje uzorka 3.2.



Slika 38. Ispitivanje uzorka 3.2



## Uzorak 4.1

Ispitivanjem smične čvrstoće lijepljenog spoja, za uzorak 4.1 dobiven je rezultat od 8,74 MPa. Maksimalna sila razvlačenja bila je 4,37 kN.

Na slici 39 prikazano je ispitivanje uzorka 4.1.



Slika 39. Ispitivanje uzorka 4.1

## Uzorak 4.2

Ispitivanjem smične čvrstoće lijepljenog spoja, za uzorak 4.2 dobiven je rezultat od 9,62 MPa. Maksimalna sila razvlačenja bila je 4,81 kN.

Na slici 40 prikazano je ispitivanje uzorka 4.2.



Slika 40. Ispitivanje uzorka 4.2

## 7. Analiza rezultata ispitivanja

U tablici 4 prikazane su vrijednosti maksimalne sile razvlačenja i smične čvrstoće lijepljenog spoja za svaki uzorak. U nastavku tablice izračunata je aritmetička vrijednost maksimalne sile i smične čvrstoće za uzorke koji su bili brušeni brusnim papirom iste granulacije.

Tablica 4. Vrijednosti maksimalne sile razvlačenja i smične čvrstoće lijepljenog spoja

	Aritmetička sredina			
	$F_{\max}$ [kN]	$\sigma_{\tau}$ [MPa]	$F_{\max}$ [kN]	$\sigma_{\tau}$ [MPa]
Uzorak 2.1	3,78	7,55	2,775	5,545
Uzorak 2.2	1,77	3,54		
Uzorak 3.1	2,48	4,96	2,735	5,47
Uzorak 3.2	2,99	5,98		
Uzorak 4.1	4,37	8,74	4,59	9,18
Uzorak 4.2	4,81	9,62		

Kod svi ispitanih uzoraka vidljiv je linearni porast produljenje u odnosu na smičnu čvrstoću i nagli lom lijepljenog spoja.

Iz rezultata eksperimenta se dolazi do zaključka da je najmanja hrapavost (brusni papir granulacije 600) površina koje se lijepe najpogodnija u slučaju lijepljenja aluminijskog i bakrenog lima ljepilom Bison Epoxy Universal. Kod tih uzoraka postignuta je smična čvrstoća od oko 9,18 MPa.

## 8. Zaključak

Tehnologija lijepljenja predstavlja alternativni način ostalim tehnologijama spajanja i danas postaje sve češći izbor zbog mogućnosti integriranja u skoro svaki proizvodni proces u svim granama industrije. Postala je vrlo važna zbog svojih prednosti u odnosu na druge postupke spajanja. Neke od najbitnijih prednosti su ujednačena raspodjela naprezanja, sposobnost lijepljenja materijala različitog modula i debljine, mala masa lijepljenog spoja, odlična antikorozivna zaštita i dobro prigušenje vibracija.

Prilikom oblikovanja lijepljenih spojeva treba u obzir uzeti sve čimbenike koji utječu na kvalitetu lijepljenog spoja. U obzir je potrebno uzeti pripremu materijala, pripremu i nanošenje ljepila, vrijeme sušenja i očvršćivanja ljepila, tlak i temperaturu. Također se potrebno pridržavati preporuka proizvođača ljepila, te uvažiti navedene preporuke za oblikovanje lijepljenih spojeva kako bi završni proizvod bio što kvalitetniji i dugotrajniji.

Nakon provedenog eksperimenta dolazi se do zaključka da je kvaliteta pripreme površine jedna od najbitnijih stavki na koju treba obratiti pozornost prilikom izrade lijepljenog spoja. Kod lijepljenja bakrenih i aluminijskih limova, površinu lijepljenja potrebno je brusiti što finijim brusnim papirom. Dokazano je da smična čvrstoća raste sa smanjenjem granulacije brusnog papira. Također, važno je spomenuti izbjegavanje toplinskog djelovanja kao prednost tehnologije lijepljenja pred drugim tehnologijama, primjerice zavarivanjem i lemljenjem. Usto, unatoč čvrstoći manjoj od nekih drugim materijala (npr. čelik S355 J2 od 355 MPa ili najmekše aluminijske legure od 80 – 90 MPa) ovi spojevi su izdržali smične sile od redom 2775 N, 2735 N i 4590 N.

Uzevši u obzir sve navedeno, tehnologija lijepljenja je perspektivna tehnologija koja može zadovoljiti sve zahtjeve za visokom produktivnošću, pa bi tako zastupljenost ove tehnologije u industrijskoj proizvodnji mogla značajno porasti.

U Varaždinu, 29.9.2022.

Fran Vibovec

---

## Literatura

- [1] Kranzelić, J.: Primjena ljepila za spajanje metala, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2016.
- [2] „HRN EN 923:2016, Adhezivi – Nazivi i definicije“, <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+923%3A2016>, dostupno 5.9.2022.
- [3] Kinloch, A.J.: Adhesion and Adhesives, Science and Technology (Reprinted. ed.), 1987.
- [4] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Ljepilo>, dostupno 30.6.2022.
- [5] LOCTITE: World design handbook, 2nd edition, 1998.
- [6] Bujanić B., Magdalenić Bujanić J.; Mehanizmi stvaranja lijepljenog spoja, dostupno na [hrcak.srce.hr/file/124722](http://hrcak.srce.hr/file/124722) (05.07.2022.)
- [7] Decker, KH.: Elementi strojeva, Golden marketing, Zagreb, 2006.
- [8] Žolo, I.: Lijepljenje polimernih materijala, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Slavonskom Brodu, 2008.
- [9] Galinec, T.: Tehnološko oblikovanje lijepljenih spojeva, Diplomski rad, Veleučilište u Karlovcu, 2018.
- [10] Opalić, M.: Predavanja iz kolegija Elementi strojeva, FSB, Zagreb, 2010.
- [11] Kožuh, Z.: Zavarivanje 2014 : zbornik radova / 40. međunarodna konferencija HDTZ, Hrvatsko društvo za tehniku zavarivanja, Zagreb, 2014.
- [12] Bakula, A.: Utjecaj vlage na čvrstoću lijepljenog spoja, Diplomski rad, Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2017.
- [13] <https://www.bauhaus.hr/pistolji-za-vruce-lijepljenje/rapid-pistolj-za-vruce-lijepljenje-cg270/p/22896948> 7.7.2022., dostupno 12.7.2022.
- [14] Luthar M.: Spajanje materijala lijepljenjem, Završni rad, Termotehničko inženjerstvo, Međimursko veleučilište u Čakovcu, 2016.
- [15] <https://hr.toheselue.com/750477-adhesive-bonding-PQIVXH>, dostupno 12.7.2022.
- [16] <https://hr.med-auto.com/auto-savjeti/preporuke-za-odabir-ljepila-za-automobilsko-staklo.html>, dostupno 5.9.2022.

- [17] <https://www.vecernji.hr/lifestyle/bez-savova-izumljeno-kirursko-ljepilo-koje-djeluje-za-60-sekundi-1200801>, dostupno 5.9.2022.
- [18] <https://www.domaki.hr/dvostrana-traka-za-ljepljenje-300-cm-x-3-cm-p-3130.html>, dostupno 5.9.2022.
- [19] <https://www.bauhaus.hr/dvokomponentna-ljepila/bison-dvokomponentno-ljepilo-epoxy-universal/p/21174340>, dostupno 9.9.2022.
- [20] <file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/50.pdf>, dostupno 9.9.2022.
- [21] <https://store.ametek.co.uk/surtronic-s116-handheld-roughness/>, dostupno 12.9.2022.
- [22] <https://www.directindustry.com/prod/hegewald-peschke-mess-und-prueftechnik-gmbh/product-25902-2201047.html>, dostupno 12.9.2022.



**IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Fran Vibovec pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor diplomskog rada pod naslovom „Priprema površina za lijepljenje pri spajanju raznorodnih materijala“ te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Fran Vibovec

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Fran Vibovec neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom diplomskog rada pod naslovom „Priprema površina za lijepljenje pri spajanju raznorodnih materijala“ čiji sam autor.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Fran Vibovec

(vlastoručni potpis)

## Popis slika

<i>Slika 1. Galvanska korozija kod spojeva [5].....</i>	<i>6</i>
<i>Slika 2. Raspored naprezanja kod lijepljenog spoja [5].....</i>	<i>6</i>
<i>Slika 3. Raspored naprezanja kod zavarenih spojeva [5].....</i>	<i>6</i>
<i>Slika 4. Prikaz djelovanja sila u lijepljenom spoju [6] .....</i>	<i>7</i>
<i>Slika 5. Van der Waalsove sile [6].....</i>	<i>8</i>
<i>Slika 6. Kemijsko povezivanje [6].....</i>	<i>8</i>
<i>Slika 7. Mehaničko sidrenje [6] .....</i>	<i>9</i>
<i>Slika 8. Difuzija [6].....</i>	<i>9</i>
<i>Slika 9. Elektrostaticko povezivanje [6].....</i>	<i>10</i>
<i>Slika 10. Odnos kohezijskih i adhezijskih sila: a) kohezijske sile veće od adhezijskih; b) adhezijske sile veće od kohezijskih [6].....</i>	<i>11</i>
<i>Slika 11. Prikaz postupaka pripreme površine za lijepljenje [8] .....</i>	<i>12</i>
<i>Slika 12. Kut močenja [12] .....</i>	<i>14</i>
<i>Slika 13. Pištolj za nanošenje ljepila [13] .....</i>	<i>17</i>
<i>Slika 14. Poluautomatski uređaj i robot za nanošenje ljepila [5] .....</i>	<i>17</i>
<i>Slika 15. Vrijeme sušenja ljepila [14] .....</i>	<i>18</i>
<i>Slika 16. Podjela ljepila prema kemijskom sastavu[8] .....</i>	<i>19</i>
<i>Slika 17. Podjela ljepila prema mehanizmu očvršćivanja [8] .....</i>	<i>20</i>
<i>Slika 18. Primjer lijepljenja vjetrobranskog stakla [16] .....</i>	<i>24</i>
<i>Slika 19. Primjer korištenja kirurškog ljepila za zatvaranje rana [17].....</i>	<i>25</i>
<i>Slika 20. Primjeri korištenja dvostranih ljepljivih traka u kućanstvu [18] .....</i>	<i>26</i>
<i>Slika 21. Uzorci 1.1 i 1.2 (lijevo), te 2.1 i 2.2 (desno) .....</i>	<i>28</i>
<i>Slika 22. Uzorci 3.1 i 3.2 (lijevo), te 4.1 i 4.2 (desno) .....</i>	<i>29</i>
<i>Slika 23. Uređaj za mjerenje hrapavosti Surtronic S-116 [21] .....</i>	<i>29</i>

<i>Slika 24. Ljepilo Bison Epoxy Universal [19].....</i>	<i>30</i>
<i>Slika 25. Istisnuto ljepilo.....</i>	<i>31</i>
<i>Slika 26. Promiješano ljepilo .....</i>	<i>32</i>
<i>Slika 27. Zalijepljeni uzorci 1.1 i 1.2 (lijevo), te 2.1 i 2.2 (desno).....</i>	<i>32</i>
<i>Slika 28. Zalijepljeni uzorci 3.1 i 3.2 (lijevo), te 4.1 i 4.2 (desno).....</i>	<i>32</i>
<i>Slika 29. Istisnuto ljepilo.....</i>	<i>33</i>
<i>Slika 30. Uređaj za mjerenje smične čvrstoće Inspekt Blue 20 [22].....</i>	<i>33</i>
<i>Slika 31. Stegnuti uzorak.....</i>	<i>34</i>
<i>Slika 32. Ispitni uzorci 2.1(lijevo) i 2.2(desno) nakon izvršenog ispitivanja .....</i>	<i>34</i>
<i>Slika 33. Ispitni uzorci 3.1(lijevo) i 3.2(desno) nakon izvršenog ispitivanja .....</i>	<i>35</i>
<i>Slika 34. Ispitni uzorci 4.1(lijevo) i 4.2(desno) nakon izvršenog ispitivanja .....</i>	<i>35</i>
<i>Slika 35. Ispitivanje uzorka 2.1 .....</i>	<i>36</i>
<i>Slika 36. Ispitivanje uzorka 2.2 .....</i>	<i>36</i>
<i>Slika 37. Ispitivanje uzorka 3.1 .....</i>	<i>37</i>
<i>Slika 38. Ispitivanje uzorka 3.2 .....</i>	<i>37</i>
<i>Slika 39. Ispitivanje uzorka 4.1 .....</i>	<i>38</i>
<i>Slika 40. Ispitivanje uzorka 4.2 .....</i>	<i>38</i>



## **Popis tablica**

<i>Tablica 1. Usporedba tehnologije lijepljenja i zavarivanja.....</i>	<i>5</i>
<i>Tablica 2. Vrijednosti izmjerene hrapavosti .....</i>	<i>30</i>
<i>Tablica 3. Tehničke specifikacije ljepila Bison Epoxy Universal [20] .....</i>	<i>31</i>
<i>Tablica 4. Vrijednosti maksimalne sile razvlačenja i smične čvrstoće lijepljenog spoja .....</i>	<i>39</i>