

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU

GRGUR JURKOVIĆ

TEHNOLOGIJA LJEPLJENJA

DIPLOMSKI RAD

Osijek, 2011

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU

GRGUR JURKOVIĆ

TEHNOLOGIJA LIJEPLJENJA

Diplomski rad

predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku
radi stjecanja zvanja profesora fizike i tehničke kulture s informatikom

Osijek, 2011

TEHNOLOGIJA LIJEPLJENJA

GRGUR JURKOVIĆ

Sažetak

Cilj ovog diplomskog rad je pobliže opisati tehnologiju lijepljenja. Prikazane su teorijske osnove lijepljenja, mehanizmi spajanja lijepljenjem, a posebice su razmotreni najznačajniji utjecajni čimbenici na kakvoću i optimalno oblikovanje lijepljenih spojeva. U eksperimentalnom djelu ispitivana je smična čvrstoća s ciljom da se pokuša dobiti uvid u kvalitetu nekih suvremenih ljepila visoke čvrstoće.

(33 stranice, 17 slika, 9 tablica, 7 literaturnih navoda)

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: tehnologija, ljepilo, smična čvrstoća, čvrstoća lijepljenih spojeva

Mentor: Antun Pintarić, prof.dr.sc.

Ocjenjivači: Zvonko Glumac, doc. dr. sc. i Igor Lukačević, dr. sc

Rad prihvaćen: 14.7.2011

Technologies of gluing

GRGUR JURKOVIĆ

Abstract

The main goal of this graduate work is to describe technology of adhesive bonding closely. Here are presented theoretical basics of adhesive bonding, combine bonding mechanisms, and especially are considered the most influential factors that affect quality and optimal figuring of bonded compounds. Shear strength is tested in the experimental part, with the goal of getting insight in contemporary high strength adhesives quality.

(33 pages, 17 figures, 9 tables, 7 references)

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords: technology, adhesive, shear strength, strength of bonded compounds

Supervisor: Antun Pintarić, prof. dr. sc.

Reviewers: Zvonko Glumac, doc. dr. sc. i Igor Lukačević, dr. sc

Thesis accepted: 14.7.2011.

Ovaj diplomski rad je izradjen u Osijeku pod vodstvom prof. Dr. Sc. Antuna Pintarića u sklopu Sveučilišnog diplomskog studija fizike i tehničke kulture s informatikom na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

Također bi zahvalio svojoj obitelji na svojoj podršci koju mi je pružila tijekom studiranja.

Grgur Jurković

Sadržaj

1.Uvod	1
2.Općenito o lijepljenju.....	2
3.Vrste ljepila.....	3
3.1. Fizikalna ljepila.....	3
3.2. Kemijska ljepila.....	4
3.3. Sastav ljepila.....	5
3.4. Dodaci ljepilma.....	6
3.5. Prednosti i nedostaci ljepila.....	8
4.Osnove oblikovanja i opterećenja lijepljenih spojeva.....	9
4.1. Utjecaji na čvrstoću lijepljenog spoja.....	12
4.2.Proračun lijepljenih spojeva.....	18
5.Ispitivanje posmične čvrstoće lijepljenih spojeva.....	20
5.1.Rezultati ispitivanja.....	27
6. Zaključak.....	31
7. Literatura	32
8. Životopis	33

1.UVOD

Tehnologija je znanost o načinu primjene tehnike u izradi tehničkih tvorevina. To je proces kako se uz pomoć tehničkih sredstva, različitih metoda rada i uz primjenu znanja obavlja neki radni proces.

Mnoge tehničke tvorevine sastavljene su od više pojedinačnih dijelova ili elemenata, zato nam je potrebno znati primijeniti odgovarajuću tehnologiju spajanja materijala (dovoljno kvalitetne i pouzdane, po cijeni i sa stajališta zaštite okoliša, te štednje energije prihvatljive tehnologije spajanja...).

Tehnologija lijepljenje je općenito stari način spajanja materijala i kroz povijest mijenjala se s napretkom znanosti. Naši preci koristili lijepljive tvari iz prirode kao što su krv, bjelanjak iz jajeta ili smola iz stabala. Industrijska proizvodnja ljepila počela je krajem 18. stoljeća, a nagli je razvoj doživjela tek nakon 2. svjetskog rata.

Dosadašnji rezultati nisu pokazali znakove slabosti pred drugim poznatim mehaničkim načinima spajanja, već su ostvarene mnoge prednosti. Poseban interes za lijepljenje postoji osobito za spajanje onih materijala koji se ne mogu primijeniti drugi način spajanja zavarivati, kao što su npr.: drvo, kamen, keramika, staklo, duroplasti i dr.

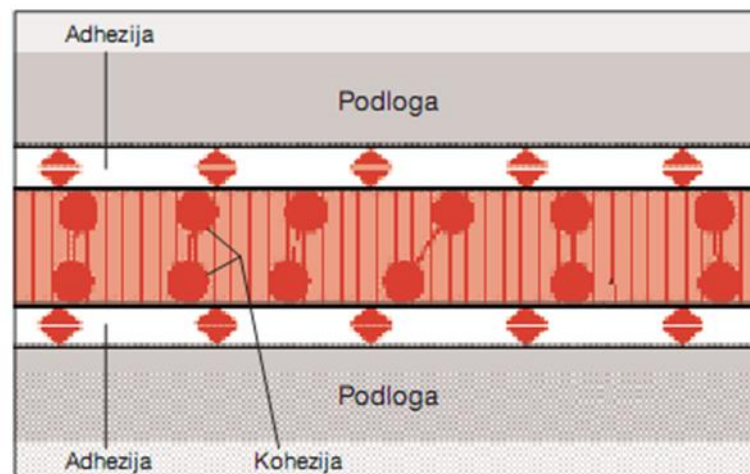
U radu je dan pregled stanja na području uporabe postupaka lijepljenja u različitim granama suvremene proizvodnje. Prikazane su teorijske osnove lijepljenja, mehanizmi spajanja lijepljenjem, a posebice su razmotreni najznačajniji utjecajni čimbenici na kakvoću i optimalno oblikovanje lijepljenih spojeva.

Na tržištu postoje različite vrste ljepila i svakodnevno je u stalnom porastu, stoga je jedno poglavlje posvećeno izboru odgovarajućeg ljepila i predložen je postupak koji bi pritom trebalo poštivati. U eksperimentalnom dijelu rada prikazano je ispitivanje smične čvrstoće lijepljenih spojeva.

2. Općenito o lijepljenju

Tehnologija lijepljenje je postupak u kojem se dva slična ili različita materijala čvrsto i trajno spajaju pomoću ljepila. Ljepila su, prema tome, tvari koje na osnovu kemijskog sastava i fizičkog stanja u trenutku nanošenja na površine omogućuje njihovo spajanje. Prijanjanje ljepila na površinu koja se lijepi rezultat je mehaničkih, fizikalnih i kemijskih sila koje se preklapaju i utječu jedna na druge.

Da bi se dijelovi mogli međusobno slijepiti potrebno je da postoje sile kohezije (unutar ljepila- privlačenje između molekula ljepila) i sile adhezije (privlačne sile između ljepila i lijepljenog materijala).



Slika 1. Djelovanja sile adhezije i kohezije na podlogu

Postojanjem ovih sila zadovoljeni su osnovni preduvjeti za sljepljivanje. Dakle, ljepilo mora posjedovati svojstvo adhezije prema materijalu koji se lijepi, kao i dostatnu koheziju da bi veza između slijepljenog materijala bila trajna i čvrsta. Da bi se ostvarila trajna adhezijska veza između metalne površine i organskog ljepila vrlo često se koristi specijalni organski među sloj koji obezbjeđuje trajno djelovanje između ljepila i metalne površine tzv. PRIMER.

3. Vrste ljepila

Godišnje se proizvodi stotine tisuća tona ljepila. Prema podacima nadležnih europskih i međunarodnih institucija u svijetu postoji 250 000 različitih postupaka pripremljanja i proizvodnje ljepljivih tvari, od toga na tržištu se nalazi 25 000 proizvoda.

U praksi se danas primjenjuje više vrsta ljepila, koje se međusobno razlikuju u pogledu agregatnog stanja, tako i u pogledu nanošenja, temperature otvrdnjavanja, vremena upotrebe i dr.

Prilikom upotrebe treba odabrati ono ljepilo koje zadovoljava većinu zahtjeva lijepljenih spojeva, kao što su: vrsta materijala koje treba lijepiti, veličina opterećenja dijelova, vremensko trajanje opterećenja, radna atmosfera u kojoj se nalaze dijelovi itd.

Prema VDI smjernici 2229 te DIN 16920 normirana ljepila se dijele u dvije velike skupine:

1. fizikalna ljepila
2. kemijska ljepila

3.1. Fizikalna ljepila

To su ljepila koja predstavljaju u organskim otapalima (pretežito ugljikovodicima) rastopine prirodnih ili umjetnih makromolekularnih materijala (kaučuk, umjetne smole). Princip lijepljenja se kod njih ostvaruje na temelju ishlapljivanja otapala iz ljepila vezanjem za okolni zrak. Da bi se ovaj proces ostvario potrebna je velika površina isparavanja odnosno poroznost osnovnih materijala. Ova ljepila koristi se više za porozne nemetale (koža, guma, drvo, plastika).

Dijele se u tri skupine:

- a) Kontaktna ljepila
- b) Rastalna (taljiva) ljepila
- c) Plastična ljepila

Kontaktna ljepila

To su ljepila prirodne ili sintetske gume najčešće u organskim otapalima, a vrlo rijetko proizvode se recepturama bez otapala. Nanose se na dodirne površine obaju tijela predviđena za spajanje lijepljenjem, nakon čega se pusti da otapalo gotovo potpuno ispari. Nakon isparavanja otapala (najčešće traje 1-10 minuta, iako može biti i nekoliko sati) površine koje se lijepe pažljivo se

približe/namjeste i spoje snažnim pritiskom. Kontaktna ljepila idealna su za lijepljenje velikih i teže namjestivih površina koje se lijepe. Koriste se u obučarskoj industriji, kod proizvodnje madraca i tapeciranog namještaja, u automobilskoj industriji, građevinarstvu, hobi i uradi sam lijepljenju.

Rastalna (taljiva) ljepila

Engleski raširen/prihvaćen naziv hot melt ljepila termoplastični su polimeri najčešće u obliku granulata, štapova ili blokova koji se grijanjem u prikladnim uređajima rastale i u rastaljenom stanju nanose na površine materijala koje se lijepe. Prije same upotrebe potrebno ih je zagrijati na temperaturu od oko 150-175°C (ovisno o vrsti ljepila i upotrebi). Nakon lijepljenja dijelovi moraju ostati u stanju mirovanja do hlađenja na sobnoj temperaturi, dok ne dosegne ponovno dostižnu potrebnu nosivost. Imaju veliku i široku primjenu kod brzih i automatskih lijepljenja, npr. pri vezivanju knjiga, kod lijepljenja komponenti u unutrašnjosti automobila, u industriji namještaja i proizvodnji madraca, obučarskoj industriji.

Plastična ljepila

Još se zovu plastisoli. Napravljeni su na bazi PVC praha izmiješanog sa omekšivačem, punilom i adhezionom sredstvom. Primjenjuje se tako da ga zagrijemo na temperaturu oko 150°C kad prelazi u tjestasto stanje te se nanosi na jednu od površine koje se lijepe.

3.2. Kemijska ljepila

Još se zovu i reakciona ljepila. Napravljeni su na bazi epoksida, fenola, akrila i poliestera kao umjetne smole. Da bi bilo ubrzali postupak lijepljenja ponekad se mora dodati i treća komponenta tj. ubrzivač. Oni se preporučuju da se zagriju na temperaturu oko 200°C zato što postižu bolji rezultat nego kod hladnih postupaka. Problem kod zagrijavanja ljepila je ako jedan od materijala koji se lijepi osjetljiv na povišene temperature. Ova ljepila su važnija od fizikalno vezanih ljepila, pogotovo u primjeni lijepljenja kovina.

Dijele se u tri skupine:

- a) Polimerizacijska ljepila
- b) Poliaditivna ljepila
- c) Polikondenzcijska ljepila

Polimerizacijska ljepila

Takva ljepila se pospješuju dodavanjem katalizatora. Katalizator je u tekućem ljepilu neaktivan sve dotle dok je u doticaju sa kisikom u okolnom zraku. Brzina reakcije katalizatora s ljepilom ovisi o njegovoj količini u ljepilu, njegovoj temperaturi i temperaturi okoline.

Poliaditivna ljepila

Sastoje se od minimalno dvije različite međusobno reagirajuće komponente koje se miješaju u nekom stehiometrijskom odnosu. Osnovu ljepila čine epoksid ili poliuretan.

Polikondenzcijska ljepila

Lijepljenje se temelji na tekućoj fazi smole fenol-formaldin i čvrstoj fazi polivinilformala. Tekuću primjesu potrebno je ukloniti iz ljepila pod djelovanjem pritiska od oko $0,5 \text{ N/mm}^2$ i temperaturi oko 150°C

3.3. Sastav ljepila

Ljepila se sastoje od osnovne komponente i dodataka. Ljepila mogu biti organskog i anorganskog podrijetla. Osnovne komponente za izradu ljepila su:

1) anorganski - umjetni: vodeno staklo

2) organski:

- prirodni biljnog podrijetla:

škrob, gumiarabika, alginat, soja protein, dekstrin

- prirodni životinjskog podrijetla:

glutin, kazein

- poluprirodni (polumjetni, modificirani):

celulozni glikolat, celulozni nitrat ili nitro-celuloza, škrobni acetat, škrobni glikolat, klor-kaučuk

- umjetni (sintetički):
polivinil-acetat PVA, polivinil-klorid PVC, polivinil-alkohol)

3.4. Dodaci ljepilima

a) dodaci koji omogućuju ili poboljšavaju preradu ljepila su: otapala, raščinjala, ugušćivala, emulgatori, stabilizatori, konzervansi, sredstva protiv pjenjenja i sredstva za močenje

Otapala

Mnoga ljepila za doradu papira temeljena su na vodi, a za ljepila temeljena na elastomerima i plastomerima rabe organska otapala (metil-acetat, aceton, metanol, benzen, toluen...)

Raščinjala

Prirodne ljepljive komponente djelomično su netopljive zbog svoje nad molekularne strukture. Da bi ih preveli u vodene sustave koristimo raščinjala, tvari koje djeluju hidratizirajuće i omogućuju lakši ulazak molekula vode u makromolekulu. To su alkalije (NaOH, sode), soli koje djeluju hidratizirajuće (kloridi Zn i Ca), kiseline koje uz hidrataciju djelomično i razgrađuju materijal, te neki enzimi.

Ugušćivala

Tvari koje u otopljenom stanju posjeduju vrlo veliki viskozitet (polivinil alkohol, alkalne soli), dodaju se za povećanje koncentracije osnovne ljepljive komponente, jer se povećanjem viskoziteta ljepila poboljšava njegova prerada.

Emulgatori

Tvari topljive u vodi koje disperziranim česticama polimera daju određeni električni naboj i omogućuju stabilnu disperziju ljepila. Nedostatak: disperzije se zbog emulgatora pjene

Stabilizatori

Tvari koje odgađaju nepoželjne promjene na makromolekulama (koje bi smanjile uporabnu vrijednost ljepila). Najčešće se rabe za taljiva ljepila gdje pri temperaturi iznad 100°C inhibiraju (odgađaju) oksidaciju. Kao antioksidansi najviše se rabe fenoli i amini. Stabilizatori koji odgađaju razgradnju su klorirani makromolekularni spojevi.

Konzervansi

Tvari koje u potpunosti mogu spriječiti ili inhibirati rast mikroorganizama. Dodaju se ljeplima iz prirodnih sirovina koja su pogodna podloga za razvoj mikroorganizama (kao što su pljesni i bakterije mliječno kiselog vrenja).

Sredstva protiv pjenjenja

Na agregatima za nanošenje ljepila u sklopu brzih strojeva stvara se pjena. Neka tekućina (homogena koloidna otopina) se jače pjenu što ima manju površinsku napetost i veći površinski viskozitet, pa se dodaju površinske aktivne tvari malog površinskog viskoziteta.

Sredstva za močenje

Od ljepila se zahtjeva dobro močenje površina koje se sljepljuju pa dodajemo sredstva za močenje. Ona se šire na granici faza samo u monomolekularnom sloju, pa ih treba dodavati u malim količinama.

b) dodaci koji poboljšavaju uporabnu vrijednost slijepljenog spoja su:

- Omekšavala ili plastifikatori
- Punila
- Sredstva za otvrdnjavanje ili ojačala

Omekšavala ili plastifikatori

Kako bi između slijepljenih površina sloj ljepila bio i ostao podatan i savitljiv, često mu se dodaje plastifikator što pojačava čvrstoće prijanjanje. To su otapala visokog vrelišta čije se molekule ugrade u makromolekule osnovne komponente ljepila (za prirodna ljepila to su često molekule vode, pa nju treba zadržati u sloju ljepila).

Punila

Krute neljepljive tvari koje pojeftinjuju ljepilo i poboljšavaju njegovu uporabnu vrijednost. Rabe se upojne i fino vlaknate tvari (npr. drveno i kožno brašno, prašina od vune i dr.)

Sredstva za otvrdnjavanje ili ojačala

Izazivaju povećanje makromolekula osnovne ljepljive komponente što stvara ireverzibilni sloj ljepila koji više nikakvo otapalo ne može vratiti u oblik. Za epoksidne smole ojačala su više valentni amini ili više valentne kiseline.

3.5. Prednosti i nedostaci ljepila

Iako se lijepljenje ubraja u univerzalne postupke spajanja, ipak ne može u potpunosti zamjeniti ostale vrste spajanja već ih samo nadopunjava. Pri odabiru vrste lijepljenja materijala treba odabrati onaj način koji će omogućiti iskorištavanje što više osnovnih prednosti lijepljenja, ali i izbjegavanje ključnih nedostataka tako da oni ne bi imali nadređenu ulogu u odnosu na utvrđene prednosti. Posebno se napominje da za konstrukcijske spojeve treba odabirati onu vrstu čvrstih ljepila koja će osigurati da je čvrstoća ljepila barem jednaka ili veća od čvrstoće materijala koji se spajaju. U protivnom zalijepljeni spojevi mogu biti najslabija mjesta u konstrukciji koji neće omogućiti iskorištavanje nosivosti materijala veće čvrstoće.

Prednosti spajanja materijala lijepljenjem jesu:

- gotovo svi materijali mogu se međusobno spajati lijepljenjem (univerzalno spajanje)
- jednolična raspodjela sile po cijeloj lijepljenoj površini osim na krajevima preklopnih spojeva
- lijepljeni spojevi cijevi mogu se tako oblikovati da je spoj nepropustan
- površine lijepljenih spojeva su glatke za razliku od ostalih spojeva kod kojih mogu, primjerice, stršeće glave vijaka i zakovica ili zavareni šavovi iz tehničkih i drugih razloga smetati
- lijepljeni se spojevi daju tako oblikovati da mogu u određenoj mjeri prigušivati vibracije

Nasuprot tim prednostima postoje sljedeći nedostaci lijepljenih spojeva :

- lijepljeni spojevi uglavnom nisu postojani na velike temperaturne promjene
- obrada spojnih površina pri lijepljenju znatno je složenija, osjetljivija i vremenski uvjetovanja nego kod drugih vrsta spajanja
- većina ljepila je pri trajnom statičkom opterećenju sklona pucanju
- priprema ljepila često postavlja povećane zahtjeve pri njihovoj primjeni, primjerice: omjer miješanja dvokomponentnih ljepila, vrijeme ugradbe, temperatura pri ugradbi i uporabi i dr.,
- lijepljeni spojevi u mnogim slučajevima pokazuju nepovoljno ponašanje pri starenju, osobito pod utjecajem vode, otapala, kemikalija i dr.

4. Osnove oblikovanja i opterećenja lijepljenih spojeva

Priprema površine prije lijepljenja je od izuzetnog značaja za kvalitetu zalijepljenog spoja. Način pripreme površine za lijepljenje zavisi o vrsti spoja i o debljini materijala. Za uspješno lijepljenje nužno je da površina materijala koji se lijepi bude što veća, a u svakom slučaju veća od one koju ima upotrijebljeno ljepilo.

Tehnološki postupak lijepljenja sastoji se od sljedećih osnovnih operacija:

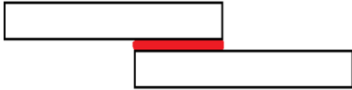
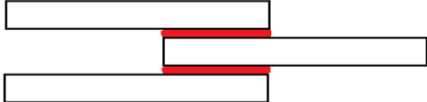

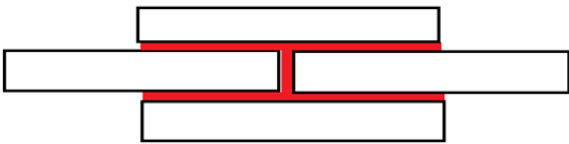

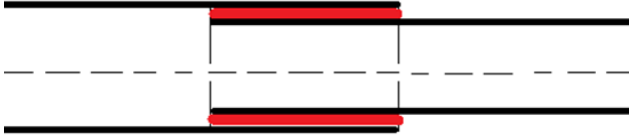
- 1. pripreme površine na koje treba nanijeti ljepilo* sastoji se iz odmašćivanja površine raznim sredstvima ovisno o materijalu koji se spaja. Čišćenje površine izvodi se brušenjem, trljanjem metalnom vunom ili pjeskarenjem ili kemijskim aktiviranjem površine u odgovarajuća sredstva. Hrapavljenjem stvaraju se sitne neravnine i time povećava površina dodira ljepila.
- 2. nanošenja ljepila odgovarajućim postupkom* sastoji se u tome da se tekuća ljepila nanose različitim kistovima ili četkama, uranjavanjem površine lijepljenja u ljepilo i skidanje viška. Ljepila u prahu koja se aktiviraju zagrijavanjem nakon nanošenja i spajanja dijelova, nanose se sipanjem na površinu, nanošenjem u rastaljenom stanju u čijem se plamenu vrši taljenje praha. Ljepila u obliku tankih folija sastavljaju se na površinu lijepljenja i nakon sastavljanja dijelova aktiviraju zagrijavanjem.
- 3. sastavljanje dijelova u sklopu uz potrebno opterećenje* površina lijepljenja i na odgovarajućoj temperaturi treba izvršiti s posebnom pažnjom, jer je to jedan od bitnih uvjeta lijepljenja. Izvođenje pritiskanja, održavanja pritiska, dobivanje i održavanje radne temperature, hlađenje i vađenje iz alata zavisi od oblika dijelova koji se spajaju, kao i od niz drugih utjecajnih faktora.
- 4. kontrola spoja se izvodi nakon izvedenog lijepljenje*, kada se utvrđuje u kojoj mjeri zalijepljeni spojevi mogu da zadovolje zahtjeve koji su postavljeni.

Materijali koji se mogu dobro lijepiti: metali, keramike (porculan, staklo, kamen ...),




konstrukcijska plastika (ABS, PVC, PMMA, PA, PUR ...) guma (NR, SBR, EPDM ...)

Materijali koji se vrlo teško lijepe: PTFE (Teflon), PE (polietilen), PP (polipropilen) Silikonska guma

Tablica 1. Primjeri spoja koja su prikladna za lijepljenje

IZGLED LIJEPLJENOG SPOJA	OPIS SPOJA
	<p>Spoj s jednim preklapanjem-prikladniji je kod tankih dijelova. Jednostavna geometrija i zadovoljavajuća čvrstoća.</p>
	<p>Spoj s duplim preklapanjem-daje spoj vrlo velike čvrstoće</p>
	<p>Spoj s jednim spojnim elementom-često se koristi kako bi se dobile glatke površine bez dodatne pripreme</p>
	<p>Spoj s dva spojna elementa-daje veću čvrstoću nego spoj s jednim spojnim elementom, ali je kompliciraniji. Rijetko se koristi jer ni jedna od vidljivih površina ne ostaje ravna</p>
	<p>Spoj po debljini materijala ili kosi prieklopni spoj-daje visoku čvrstoću, ali vrlo je kompliciran za izvedbu i dolazi u obzir jedino kod debljih materijala</p>
	<p>Torziono opterećenje-preklopni spoj tankih cijevi ili spoj koji se nalazi pod torzionim opterećenjem, može postići istu čvrstoću kao i sami materijali koje smo zalijepili.</p>

Tablica 2. Primjeri spoja koji nisu prikladni za lijepljenje i bilo bi ih poželjno izbjegavati

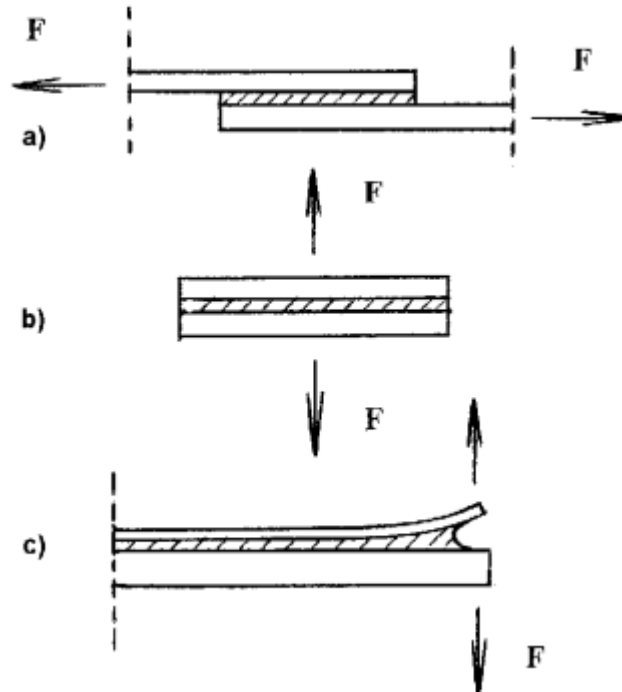
IZGLED LIJEPLJENOG SPOJA	OPIS SPOJA
	<p>Sučeoni spojevi- nepoželjni su zbog slabe čvrstoće</p>
	<p>Preklopni spojevi stanjenih preklapajućih dijelova-neprikladni su zbog visokih troškova</p>
	<p>Suočeoni spojevi s dvostrukim preklopom- neprikladni su zbog visokih troškova</p>

Načini vezivanja ljepila s obzirom na proces lijepljenja mogu biti:

- Silom (u procesu lijepljenja potrebno je ostvariti silu)
- Temperaturom (u procesu lijepljenja potrebno je ostvariti temperaturu)
- Vremenom (u procesu lijepljenja potrebno je osigurati određeni vremenski interval u kojem će spojeni dijelovi ostati međusobno nepomični).

4.1. Utjecaji na čvrstoću lijepljenog spoja

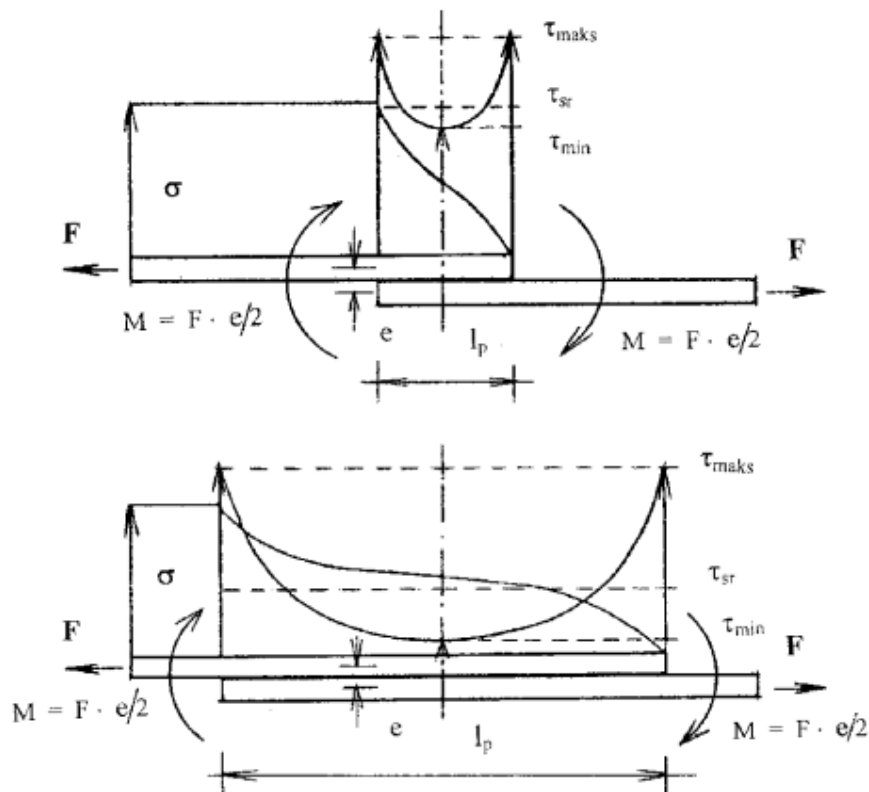
Osnovna svojstva slijepljenog spoja definirana su njegovom čvrstoćom i trajnošću. Čvrstoća spoja ovisi o čvrstoći lijepljenja i o načinu na koji je spoj izrađen. Ovisno o vrsti djelovanja lijepljeni spojevi mogu biti opterećeni na smik, vlak i ljuštenje



Slika 2. Vrste opterećenja lijepljenih spojeva: a) smik, b) vlak, c) ljuštenje

Prijenos opterećenja (vlačne sile) između dvaju spojnih elemenata zalijepljenih preklopnim spojem ostvaruje se posmičnim silama u sloju ljepila. Raspodjela vlačno–posmičnih naprezanja pritom je vrlo složena (slika 3.), jer ovisi:

- o geometrijskim uvjetima oblika spoja, osobito ako je prijenos vlačne sile ekscentričan, zbog čega dolazi do pojave momenta savijanja $M = F \cdot e/2$,
- o različitim modulima elastičnosti spojnih elemenata i dr.



Slika 3. Raspodjela vlačnih i posmičnih naprezanja u preklopnim zalijepljenim spojevima s ekscentričnim prijenosom vlačne sile

Dijagrami na slici 3. pokazuju da u području lijepljenja nastaje hiperbolični tok raspodjele posmičnih naprezanja s visokim naprezanjima (šiljcima) na krajevima, dok se vlačno naprezanje na krajevima spojnih elemenata nejednoliko smanjuje.

Pri odabiru oblika zalijepljenih spojeva treba imati na umu sljedeće :

- najpovoljniji su preklopni spojevi s posmičnim opterećenjem kod kojih se uz odabrane debljine i širine spojnih elemenata produljenjem preklopa može povećati ploštinu lijepljenja i time nosivost spoja, ali samo do određene granice
- spojevi kod kojih je sloj ljepila opterećen samo na vlak manje su pogodni i zato se mogu upotrebljavati jedino ako su vlačne čvrstoće spojnih elemenata i ljepila približno jednake
- spojevi s linijskim opterećenjem ljepila na ljuštenje su nepovoljni i zato ih treba na rubovima ojačati

- pri lijepljenju spojeva velikih ploština od različitih materijala i s različitim koeficijentima toplinskog izduljenja spojne elemente treba dimenzionirati tako da njihovo različito produljenje uslijed toplinskih promjena ne oštećuje elemente spoja i da sloj ljepila može preuzeti razliku tih produljenja bez oštećenja

Oblik sloma i nosivost zalijepljenog spoja ovise o sljedećem :

- vrsti materijala spojnih elemenata
- vrsti ljepila
- obliku spoja
- postupku lijepljenja (priprema površine, lijepljenje i njega spoja tijekom očvršćivanja ljepila)
- vrsti i veličini mehaničkog opterećenja
- utjecaju okoliša

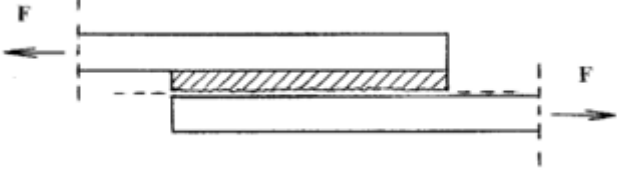
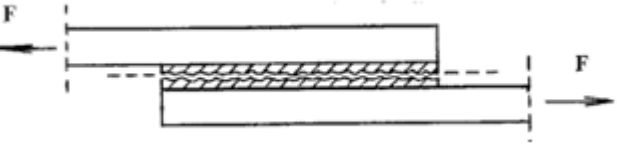
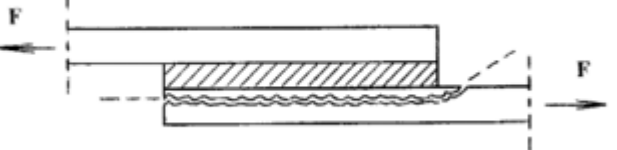
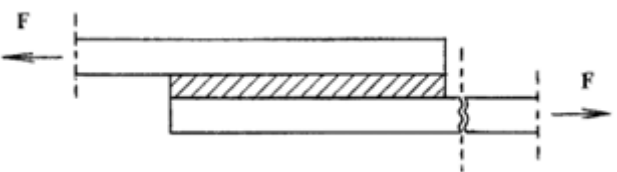
Osim toga za oblik sloma i nosivost spoja mjerodavne su sljedeće geometrijske veličine:

- debljina sloja ljepila
- debljina spojnih elemenata
- širina preklopa
- duljina preklopa
- raspored spojnih elemenata
- oblik preklopa (jednostruki preklop s ekscentričnim prijenosom sile ili višestruki preklop sa spojnicama i s centričnim prijenosom sile).

Kada se proba za testiranje slijepljenog spoja optereti do loma, važno je znati da se lom može pojaviti u sloju ljepila, u materijalu ili na liniji njihova dodira, odnosno u među sloju.

Primjeri oblika sloma koji mogu nastati pri opterećenju do razaranja zalijepljenog spoja s jednostrukim preklopom prikazani su u tablici 3.:

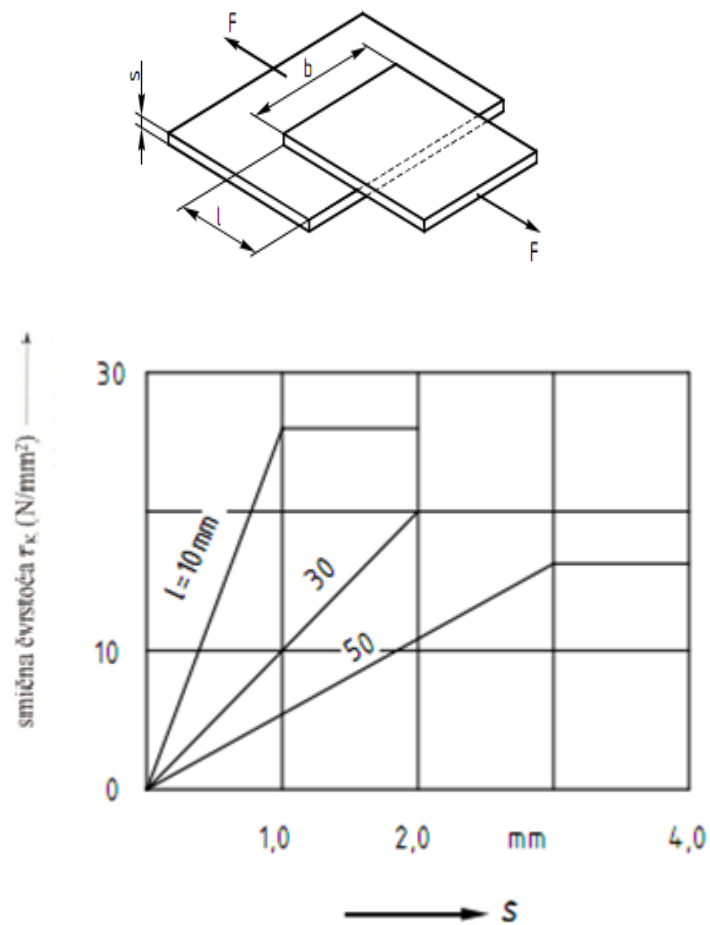
Tablica 3. Različiti slomovi spoja dvaju elemenata:

	<p>Slučaj kad je čvrstoća prijanjanja ljepila manja od posmičnog naprezanja</p>
	<p>Slučaj kad je posmična čvrstoća ljepila manja od posmičnog naprezanja</p>
	<p>Slučaj kad je posmično naprezanje veće od posmične čvrstoće elementa</p>
	<p>Slučaj kad je vlačna čvrstoća elementa manja od vlačnog naprezanja</p>

Čvrstoća slijepljenog spoja dvaju elemenata mora biti jednaka ili veća od čvrstoće na smicanje samog materijala, jer inače nastaje lom po ljepilu. Uz kvalitetno ljepilo lom se pojavljuje u među sloju materijal-ljepilo, tzv. adhezijski lom.

Idealan slijepljeni spoj dvaju elemenata nastao bi vezanjem međusobno priljubljenih stanica jednog elementa uz stanice drugoga tankim slojem ljepila. Današnjom se tehnologijom ne može tako kvalitetno obraditi površina, pa sloj ljepila u sljubnici ima zadaću popunjavanja neravnina, bez obzira na njihovu veličinu. Jedinstveno pravilo da sloj ljepila treba biti što tanji.

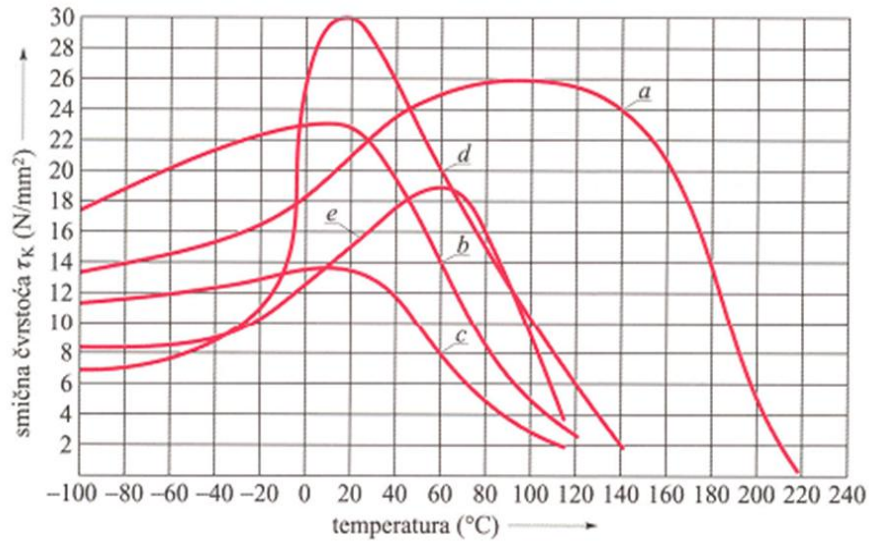
Veći broj faktora utječe na mehaničke karakteristike nosivosti lijepljenoga spoja. Čimbenici oblika i dimenzija spoja s najvećim utjecajem jesu ostvarena duljina preklopa i debljina sloja ljepljiva.



Slika 4. Prikazan je graf utjecaja debljine lima i dužine preklopa na smičnu čvrstoću lijepljenog spoja

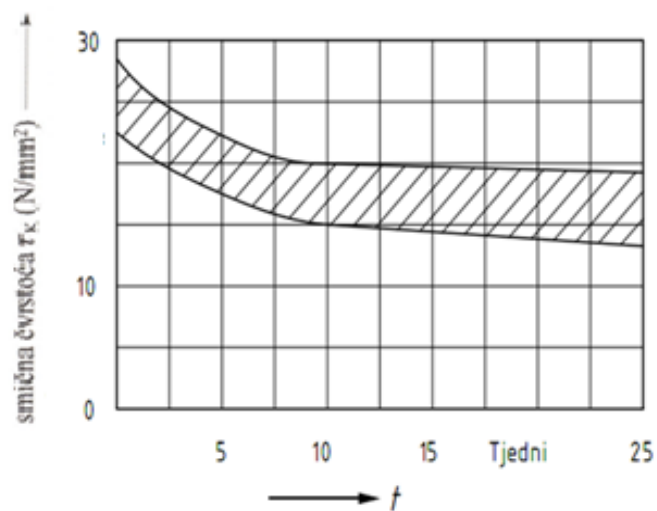
Čvrstoća spoja opada s rastom debljine sloja ljepljiva. U praksi najbolji rezultati se postižu ako je sloj ljepljiva između 0,1 do 0,3 mm što ovisi i o vrsti ljepljiva. Sloj ljepljiva npr. Debljine od 1 mm gubi čvrstoću za oko 40 %. Ljepljivo se otvrdnjavanjem skuplja za 0,5 do 10 % volumena. Ljepljivo s vremenom stari i pada mu čvrstoća za veličinu od 20 do 30 %.

Jedna od mnogobrojnih ispitivanja pokazala su da na kvalitetu lijepljenog spoja utječu i uvjeti okoline, temperatura, trajanje opterećenja, vrsta opterećenja i sl. Na višim pogonskim temperaturama pada čvrstoća sloja.



Slika 5. Prikazana čvrstoća na smik raznih ljepila u zavisnosti od pogonske temperature (a-Araldit 1; b-Redux 775; c-Araldit 123B; d-Agomet E; e-Agomet R).

Lijepljeni spojevi zavise i od vremena koje je proteklo u eksploataciji bez obzira na opterećenje tkz. efekt „starenja“ ljepila, taj efekt se pojavljuje i kod skladištenja spojenih elemenata. takozvano starenje ljepila ovisi o vrsti ljepila, stanju površine lijepljenja i utjecaju okoline na uvijete lijepljenog spoja.



Slika 6. Utjecaj starenja lijepljenog spoja ljepilo Metalon 130 , otvrđeno na 150°C za 15,5 sati pod pritiskom 0,5 N/mm²

4.2. Proračun lijepljenih spojeva

Lijepljene spojeve u principu se proračunavaju samo na smično naprezanje, a rjeđe i vlačno opterećenje.

Vlačna čvrstoća proračuna se kao srednje vlačno naprezanje pod pretpostavkom da je deformiranje spojnih elemenata u području spoja tako malo da se može zanemariti. Vlačno opterećenje računa se sljedećom formulom:

$$\sigma = \frac{F \cdot S}{b \cdot d}$$

gdje su:

σ - vlačna čvrstoća, N/mm²

F - vlačna sila, N

S – faktor sigurnosti

b – širina spoja, mm

d – debljina lijepljenog elementa, mm

Posmična čvrstoća proračuna se iz jednadžbe kao srednje posmično naprezanje pod pretpostavkom da je deformiranje spojnih elemenata u području spoja tako malo da se može zanemariti. Posmično opterećenje računa se sljedećom formulom:

$$\tau = \frac{F}{l \cdot b}$$

gdje su:

τ - smična čvrstoća, N/mm²

F - vlačna sila, N

l - duljina preklopa, mm

b - širina preklopa, mm

Uvojno opterećenje računa se sljedećom formulom:

$$\tau = \frac{F}{l \cdot O}$$

gdje su:

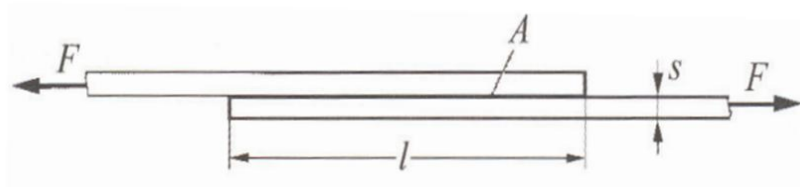
τ - smična čvrstoća, N/mm²

F - vlačna sila, N

l - duljina prirubnice, mm

O - vanjski opseg cijevi, mm

Lijepljeni preklopni spoj je prikazan na slici 7. U različitim literaturama možete naći različite jednadžbe za određivanje dužine preklopa, ali u praksi prave vrijednosti se dobivaju jedino pokusima.



Slika 7. Lijepljeni preklopni spoj

gdje je: A – površina lijepljenog spoja

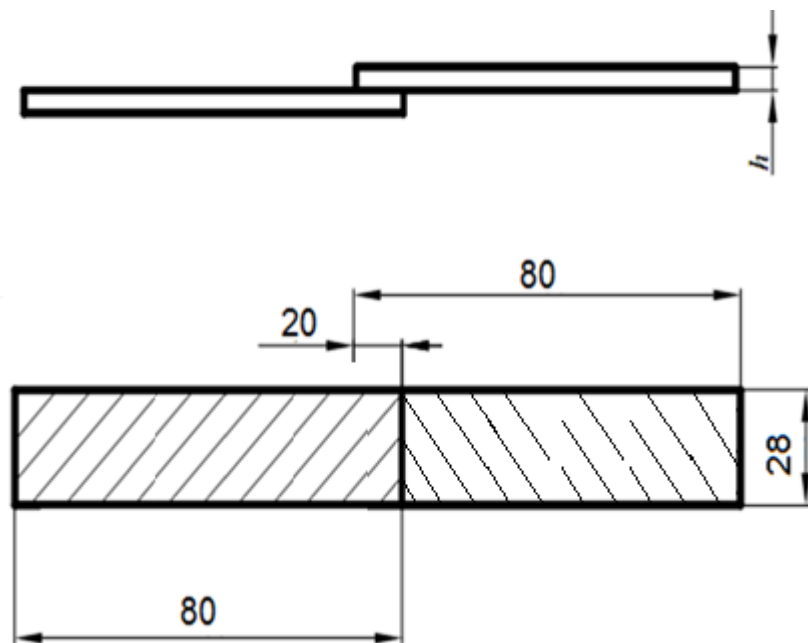
l – duljina lijepljenog spoja

s – debljina tijela

F – sila naprezanja

5. Ispitivanje smične čvrstoće lijepljenih spojeva

U eksperimentalnom djelu se analiziraju jednostruki preklopni spojevi kao jedna od najčešćih primjera u svakodnevnom životu. Cilj ispitivanja je utvrditi utjecaj duljine preklopa i površine lijepljenja za određeno ljepilo na ostvarenu nosivost i čvrstoću spoja. Ispitane su podloge izrađene od dvije vrste materijala: drveta i plastike, zalijepljene s različitim vrstama ljepila. Površina predviđena za lijepljenje pripravljena je u skladu s uputama proizvođača ljepila.



Slika 8. Uzdužni presjek ispitanih uzoraka prikazan

Duljina preklopnog spoja = $20 \pm 0,25$ mm

Širina preklopnog spoja = $28 \pm 0,25$ mm

h – debljina ispitnog tijela = $3,0 \pm 0,25$ mm

Sve površine predviđene za lijepljenje očišćene su laganim brušenjem pomoću brusnog papira i obrisano suhom krpicom radi odmašćivanja površine. Na tako pripremljene površine nanošen je sloj ljepila i potom je provedeno spajanje i osigurano od pomicanja. Svi spojevi su ostavljeni 24sata, tj. do postizanja manipulativne čvrstoće. Ukupno su načinjena po četiri ispitna tijela za svaku vrstu ljepila (slika 10. i 12.).

Ispitane uzorke od drveta zalijepljeni su s dvije vrste kontaktna ljepila, ljepilom tipa Pattex standard i s ljepilom tipa BISON WOOD GLUE. Opisi proizvoda dati su u tablici 4. i 5.



Slika 9. Ljepilo PATTEX STANDARD i BISON WOOD GLUE

PATTEX STANDARD- disperzijsko ljepilo za kućnu i profesionalnu uporabu. Za jednostavno lijepljenje drva i drvu sličnih materijala.

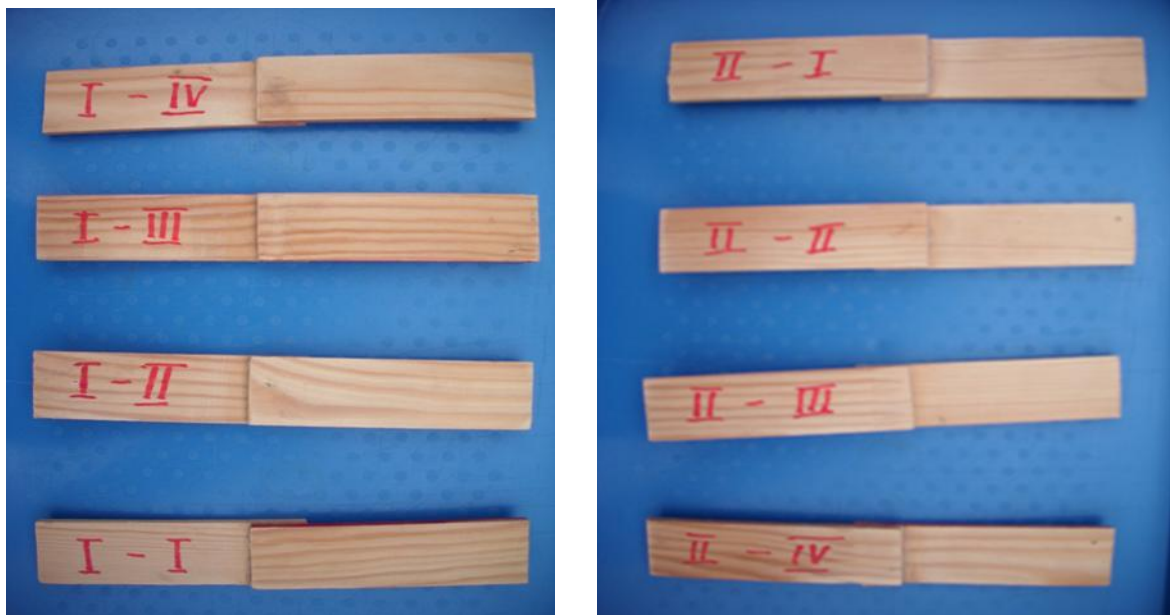
Tablica 4. PATTEX STANDARD ima sljedeće karakteristike:

PATTEX STANDARD	
Izgled	Bijela
Komponente	Jednokomponentno
Stvrdnjavanje	Pod utjecajem vlage
Radna temperatura	+5 C° do + 80 C°
Smična čvrstoća	3 – 5 N/mm²
Materijali za lijepljenje	Drvo

BISON WOOD GLUE - ljepilo na bazi PVAc disperzije.

Tablica 5. BISON WOOD GLUE ima sljedeće karakteristike

BISON WOOD GLUE	
Izgled	bijela
Komponente	Jednokomponentno
Stvrdnjavanje	Pod utjecajem vlage
Radna temperatura	Mora biti veća od +10 C°
Smična čvrstoća	3 – 6 N/mm²
Materijali za lijepljenje	Drvo



Slika 10. lijepljeni spoj drvo-drvo

Ispitane uzorke od plastike zalijepljeni su s dvije vrste kontaktna ljepljiva, ljeplivom tipa Loctite 406 i ljeplivom tipa UHU FLEX. Opisi proizvoda dati su u tablici 6. i 7.



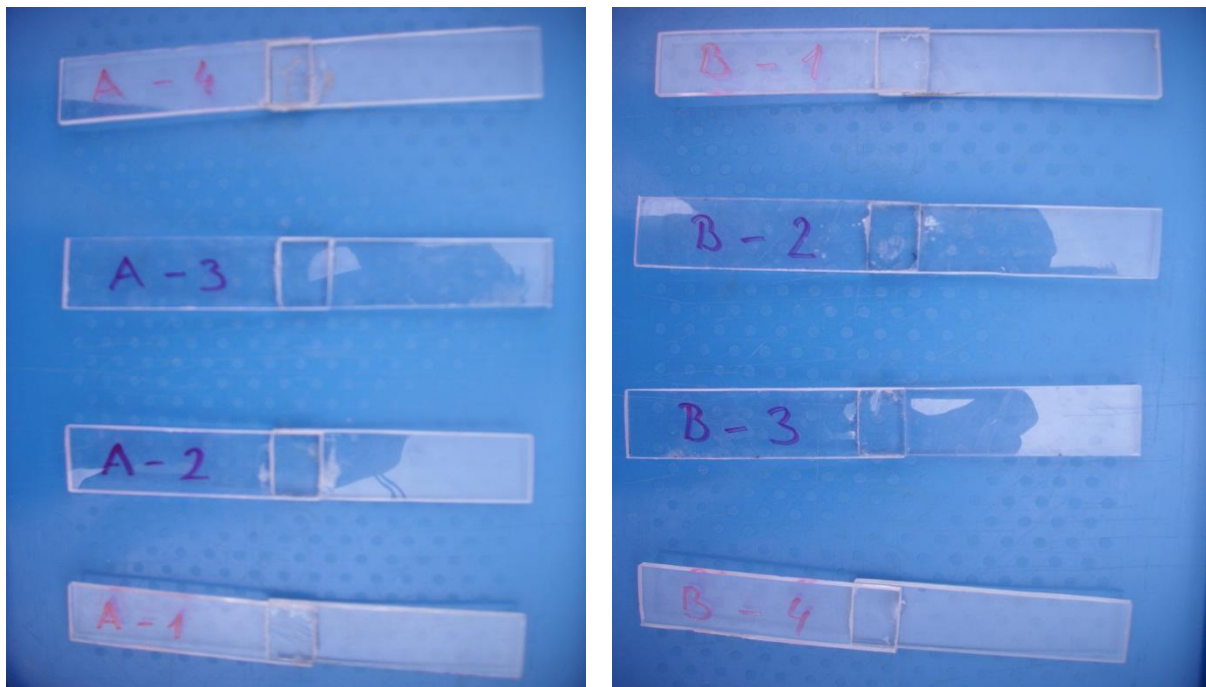
Slika 11. Ljepilo LOCTITE 406 i UHU FLEX

Tablica 6. LOCTITE 406-univerzalno trenutno lijepljenje ima sljedeće karakteristike:

LOCTITE 406	
Izgled (nestvrdnuto)	Prozirna, bezbojna tekućina ili tekućina boje slame
Komponente	Jednokomponentno
Stvrdnjavanje	Pod utjecajem vlage
Radna temperatura	-40 C° do +80 C°
Smična čvrstoća, ISO 4587	5 – 10 N / mm²
Materijali za lijepljenje	plastike i gume.

Tablica 7. UHU FLEX ima sljedeće karakteristike:

UHU FLEX	
Izgled (nestvrđnuto)	Tekuće, ultra prozirno
Komponente	Jednkomponentno
Stvrđnjavanje	Pod utjecajem vlage
Radna temperatura	-30 C° do +70 C°
Smična čvrstoća	0,5 – 1,5 N/mm²
Materijali za lijepljenje	Plastika, guma, staklo, papir, drvo, metal i dr.



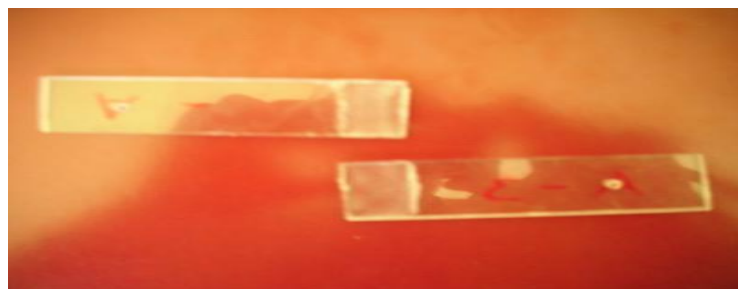
Slika 12. lijepljeni spoj plastika-plastika

Nakon postizanja manipulativne čvrstoće lijepljene spojeve podvrgli smo ispitivanju posmične čvrstoće. Lijepljene spojeve smo opteretili različitim teretom dok nije pukao lijepljeni spoj. Ispitivanje je provedeno pri temperaturi 22°C.



Slika 13. Prikaz ispitivanja smične čvrstoće

Svi su se spojevi kidali na kontaktu između ljepila i materijala (adhezijski lom)



Slika 14. Izgled ispitnog uzorka nakon ispitivanja smične čvrstoće



Slika 15. Mjerenje mase tereta

5.1. Rezultati ispitivanja

Rezultati ispitivanja prikazani su u tablicama 8. i 9.

Smična čvrstoća računa se prema jednadžbi:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

τ - smična čvrstoća, N/mm²

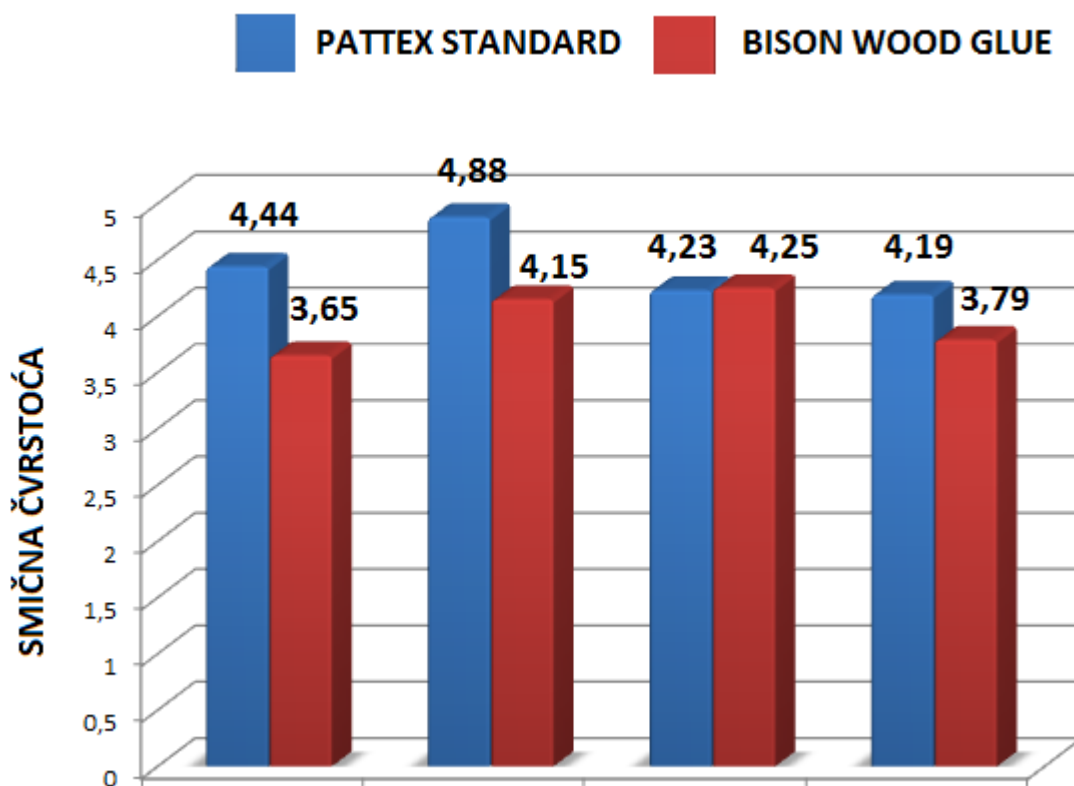
F – sila odvajanja, N

A – površina lijepljenog spoja, mm²

Tablica 8. Svojstva ispitnih ljepila PATTEX STANDARD i BISON WOOD GLUE

PATTEX STANDARD				
Materijal - drvo	Ispitano tijelo	Površina lijepljenog spoja - mm ²	Sila odvajanja N	Smična čvrstoća N/mm ²
	I-I	560,32	2465,41	4,44
	I-II	587,90	2868,95	4,88
	I-III	504,10	2132,34	4,23
	I-IV	476,43	1996,24	4,19
		532,19	2365,74	4,45
BISON WOOD GLUE				
Materijal - drvo	Ispitano tijelo	Površina lijepljenog spoja – mm ²	Sila odvajanja N	Smična čvrstoća N/mm ²
	II-I	504,00	1839,60	3,65
	II-II	595,10	2469,67	4,15
	II-III	595,10	2529,20	4,25
	II-IV	532,20	2017,04	3,79
		556,60	2213,87	3,98

Iz analize se može zaključiti da dobivene vrijednosti smične čvrstoće odgovaraju onima propisanim od strane proizvođača date u tablicama 4. i 5. Iz priloženih rezultata može se zaključiti da ljepilo PATTEX STANDARD ostvaruje za 10 % veću nosivost lijepljenog spoja nego ljepilo BISON WOOD GLUE što je i prikazano na slici 16.



Slika 16. Vrijednost smične čvrstoće za ljepilo PATTEX STANDARD i BISON WOOD GLUE

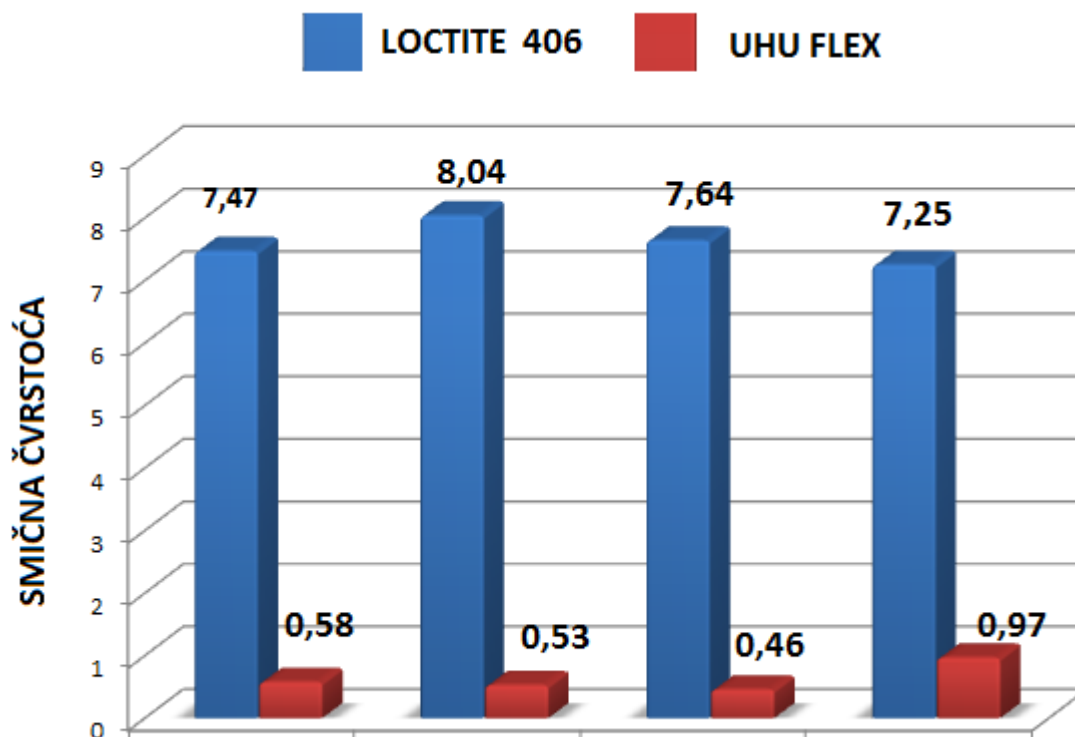
Ispitno tijelo broj (I-II) lijepljena ljepilom PATTEX STANDARD ima najvišu vrijednost smične čvrstoće a kod lijepljenja ljepilom BISON WOOD GLUE ispitano tijelo broj (II-III). Ispitno tijelo broj (I-IV) lijepljena ljepilom PATTEX STANDARD ima najnižu vrijednost smične čvrstoće a kod lijepljenja ljepilom BISON WOOD GLUE ispitano tijelo broj (II-I). Uzrok tome je moguća pogreška pri samom postupku lijepljenja.

Tablica 9. Svojstva ispitanih ljepila LOCTITE 406 i UHU FLEX

LOCTITE 406				
Materijal plastika	Ispitano tijelo	Površina lijepljenog spoja - mm ²	Sila odvajanja N	Smična čvrstoća N/mm ²
	I-I	504,00	3764,88	7,47
	I-II	532,12	4278,25	8,04
	I-III	504,10	3851,32	7,64
	I-IV	476,43	3454,12	7,25
		504,16	3837,14	7,61
UHU FLEX				
Materijal plastika	Ispitano tijelo	Površina lijepljenog spoja – mm ²	Sila odvajanja N	Smična čvrstoća N/mm ²
	II-I	504,10	292,34	0,58
	II-II	476,10	252,33	0,53
	II-III	448,10	206,13	0,46
	II-IV	504,20	489,10	0,97
		483,13	309,98	0,64

Vrijednosti smične čvrstoće odgovaraju onima propisanim od strane proizvođača date u tablicama 6. i 7. Ispitno tijelo broj (I-II) lijepljena ljepilom LOCTITE 406 ima najvišu vrijednost smične čvrstoće a kod lijepljenja ljepilom UHU FLEX ispitano tijelo broj (II-IV). Ispitno tijelo broj (I-IV) lijepljena ljepilom LOCTITE 406 ima najnižu vrijednost smične čvrstoće a kod lijepljenja ljepilom UHU FLEX ispitano tijelo broj (II-III). Uzrok tome je moguća pogreška pri samom postupku lijepljenja. Moguće pogreške pri samom postupku lijepljenja javljaju se zbog neodgovarajućeg učvršćenja i osiguranja od pomicanja.

Iz priloženih rezultata može se zaključiti da ljepilo LOCTITE 406 ostvaruje za 91 % veću nosivost lijepljenog spoja nego ljepilo UHU FLEX što je i prikazano na slici 17.



Slika 17. Vrijednost smične čvrstoće za ljepilo LOCTITE 406 i UHU FLEX

Analizom rezultata ispitivanja smične čvrstoće utvrđeno je da ljepila tipa PATTEX STANDARD i ljepila tipa BISON WOOD GLUE imaju približno jednake smične čvrstoće. U usporedbi s vrijednostima prikazanim u tablicama 8. i 9., smična čvrstoća ispitanih spojeva odgovaraju onima propisanim od strane proizvođača. Isto tako analizom vrijednosti smične čvrstoće za ljepilo LOCTITE 406 i UHU FLEX možemo uočiti da ljepilo LOCTITE 406 ima znatno veću smičnu čvrstoću nego li ljepilo UHU FLEX. Zato se ljepilo LOCTITE 406 preporučuje za lijepljenje krutih i čvrstih spojeva gdje je potrebna veća smična čvrstoća lijepljenog spoja.

6. Zaključak

U diplomskom radu je obrađena tehnologija lijepljenja, vrste ljepila te njihova primjena u svakodnevnom životu. Pritom je dat osvrt na najčešće pogreške koje nastaju pri lijepljenju, uzroci njihovog nastajanja kao i načini njihovih sprječavanja. Posebno su razmotreni najznačajniji utjecajni čimbenici na kakvoću i optimalno oblikovanje lijepljenih spojeva.

U eksperimentalnom dijelu obrađeno je ispitivanje smične čvrstoće lijepljenih spojeva, te opis postupka prilikom lijepljenja s različitim vrstama ljepila. Čvrstoća lijepljenog spoja najvažnije je kvantitativno svojstvo svakog ljepila. Cilj provedenog ispitivanja bio je utvrditi koliku nosivost lijepljenog spoja ostvaruje određeno ljepilo pri lijepljenju dva različita ljepila i da se pokuša dobiti uvid u kvalitetu nekih suvremenih ljepila visoke čvrstoće. Prema očekivanju pokusi su potvrdili da površina lijepljenog spoja izravno utječu na čvrstoću lijepljenih spojeva, što je prikazano u tablicama 5. i 6. da veće površine lijepljenog spoja imaju veće smične čvrstoće. Smatra se da su provedena ispitivanja dala korisne podatke o kvaliteti ljepila.

7. Literatura

- Bojan Kraut-Strojarski priručnik,deveto izdanje,Tehnička knjiga Zagreb 1988.
- Gojko Nikolić,Ivan Hiti-Tehnike spajanja,Tipex Zagreb 1998.
- Vinković, Labuš, Androlić,Medved-Tehnička kultura 3, Profil
- Mijo Matošević-Tehnologija obrade i montaže,UM d.o.o. Nova Gradiška 1996.
- <http://www.loctite.hr>
- <http://www.pattex.com>
- <http://www.uhu.de>
- www.temad.ro
- Edo Hercigonja-Strojni elementi,Školska knjiga Zagreb 1990.
- Mijo Zagorec-Ispitivanje čvrstoće lijepljenih spojeva,1995
- Pero Raos,Franjo Matejiček, Mirjana Lucić- Analiza jednostrukih preklopnih lijepljenih spojeva,2003

8. Životopis

Rođen sam 5. svibnja, 1984. godine u Vinkovcima i trenutno živim u Lipovcu. Nakon završetka osnovne škole 1998.godine upisujem tehničku školu u Vinkovcima, smjer građevinski tehničar. Po završetku srednje škole,2002.g. upisujem se na Pedagoški fakultet u Osijeku (kasnije odjel za fiziku), smjer: fizika i tehnička kultura s informatikom