

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: МАШИНСКО ИНЖЕЊЕРСТВО

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Лаке конструкције

Број индекса: 326/2015

Марко Н. Шурбатовић

Анализа и начини испитивања поступка спајања метала лепљењем

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Весна Марјановић, ванр. проф.

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да:

- Објасни основе лепљења.
- Објасни припремање површине за лепљење.
- Објасни примере ломова лепљених спојева.
- Покаже типове испитивања лепљених спојева.

Препоручена литература:

[1] Поповић Р., Шотра Д., Заваривање и спајање материјала, Висока техничка школа струковних студија у Новом Београду 2015.год.

[2] Карл-Хеинз Декер, Елементи стројева, Техничка књига, Загреб, 1975. год.

Крагујевац, октобар 2020.

Ментор:

Др Весна Марјановић, ванр.проф.

Садржај

Резиме.....	1
Abstract	2
1. Увод	3
2. Историја лепљења.....	4
3. Дефиниција лепка и његова функција	5
3.1 Подела лепкова	7
3.2 Предости и мане лепљења.....	8
3.3 Услови доброг лепљеног споја	10
3.4 Врсте ломова лепљеног споја	11
3.5 Адхезивне силе	12
3.6 Кохезивне силе.....	13
3.7 Квашење и површинска енергија.....	14
4. Припрема површине за лепљење	19
4.1 Врсте и начини тестирања лепљеног споја	23
4.2 Тестирање залепљеног споја љуштењем.....	25
4.3 Тестирање залепљеног споја кидањем	28
5. Закључак.....	34
6. Литература	35

Резиме

У овом раду описане су главне карактеристике лепка и лепљеног споја, које се вековима користе, у разним гранама индустрије. Показане су предности и мане лепкова као и врсте ломова лепљеног споја. Описан је начин припреме површине за лепљење и урађена су два најкарактеристичнија тестирања лепљеног споја.

Кључне речи: лепљење, тестирање лепљених спојева, припрема површине.

Abstract

This paper describes the main characteristics of adhesives and adhesive bonds, which have been used for centuries, in various branches of industry. The advantages and disadvantages of adhesives as well as the types of fractures of the adhesive bonds are shown in this paper. The method for preparation the surface for adhesive bonds is described and also the two most characteristic tests of the adhesive joint are performed.

Keywords: adhesive, testing of adhesive bonds, surface preparation.

1. Увод

Циљ овог рада је да се изврши упознавање са историјом лепкова, дефиницијом лепка, да се објасни процес лепљења, као и његово тестирање.

Први део рада се односи на то где се све лепак користио кроз историју човечанства, какви лепкови су постојали и које су се површине њима спајале. Дата је дефиниција, функција и подела лепкова. Следећи део обухвата предности и мане лепкова, његове ломове, силе ко је делују у лепку и у лепљеном споју, као и шта је то површинска енергија и зашто је важна.

У наредном делу се описује тестирање лепка, али пре тога, објашњен је целокупни процес припреме површине пред лепљење. Поменути су неки од начина тестирања, а детаљније су објашњени најкарактеристичнији облици тестирања.



Слика 1. Практичар лепњеља наноси лепак.

2. Историја лепљења

Лепљење као поступак спајања два чврста тела примењено је још у давној прошлости. За њега се знало врло рано у историји људског друштва и тешко је утврдити да ли су се људи пре служили лепљењем или закивањем ексера за причвршћивање два парчета дрвета. [1]

Најстарији докази о коришћењу лепка постоје од пре 200 000 година, где је камени врх копља лепљен за дрвену дршку са катраном добијеним од брезине коре, који је пронађен у централној Италији. За време старог Вавилона, пре око 6000 година, коришћењу су лепкови од животињских костију за лепљење керамике. Пре око 5000 година, Сумерани користе лепак добијен из животињске коже (слика 2), што су касније преузели стари Египћани, за лепљење намјештаја и папируса. [2]

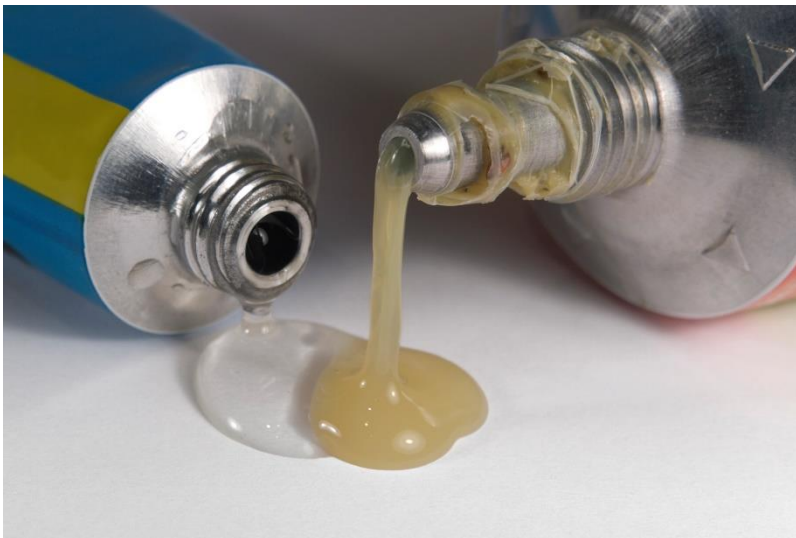


Слика 2. Течни животињски лепак. [3]

У Средњем веку у Европи, користило се беланце за лепљење и израду украсних пергамената са златним листићима. Прва права производња лепка је започела у 18. веку у Холандији, а од 1909. су израђени први синтетички полимерни лепкови. [2]

Све до почетка прошлог века, једини лепкови већег значаја су били животињског или биљног порекла и користили су се за лепљење порозних материјала. Казеински лепкови (животињског порекла) користили су се у току Другог светског рата за лепљење дрвених оквира авиона. Ови лепкови нису отпорни на утицај влаге, што је проузроковало даља истраживања у овој области. Та ограничења примене природних лепкова условила су развој нових врста лепкова на бази синтетичких смола и других материјала. Фенолформалдехиди су биле прве синтетичке смоле за лепљење дрвета. Касније су фенолним смолама додати

синтетички еластомери - каучуци. Од 1950. године започело се са коришћењем епоксидних смола (слика 3). Савременим проналасцима је омогућена примена нових типова синтетичких смола којима се додају разноврсни састојци тако да се добијају јаки и трајни лепкови за повезивање површина делова које је раније било тешко или немогуће залепити. [1].



Слика 3. Модерни лепкови. [4]

3. Дефиниција лепка и његова функција

Лепак представља супстанцу која је способна да споји два иста или различита материјала, дајући јаку везу. Дефиниција лепка на основу норми ČSN EN 923, лепак као материјал је неметална супстанца, која делује адхезијом (површинским пријањањем) и кохезијом (унутрашњом чврстоћом) као везиво. Лепљење може да обавља улогу везивања односно спајања, али и улогу заптивања (слика 4). [5]

Добијање залепљеног споја се заснива на појави адхезије - деловања физичких и хемијских веза лепка са различитим материјалима. Учинак адхезије је максималан када је добро квашење површина лепком, слично механизму настанка залемљеног споја. Осим силе адхезије, битна је сила кохезије лепка, која зависи од врсте лепка. [1]

Одговарајућим лепковима могу се спајати различити материјали, као што су комбинације метала, пластике, гуме, дрвета, метала који кородирају међусобно, гвожђа са багром и месингом, израда слојевитих структура и друго. Са тог становништва лепљење као поступак спајања има ширу примену од других поступака спајања, Нарочито има широку примену у гумарској, кожној, текстилној, дрвопрерађивачкој индустрији и другим областима рада. [1]

Заптивање је још једна важна функција лепљења. Континуирани лепњени спојеви заптивају површине како течности или гасови не би продрли у разне отворе. Ове течности или гасови не реагују са лепком и не могу га оштетити. Лепкови / заптивачи се често користе уместо чврстих или ћелијских заптивки. [5]



Слика 4. Пример заптивене површине. [6]

3.1 Подела лепкова

Постоји много различитих могућности поделе лепкова. Четири основне поделе су следеће:

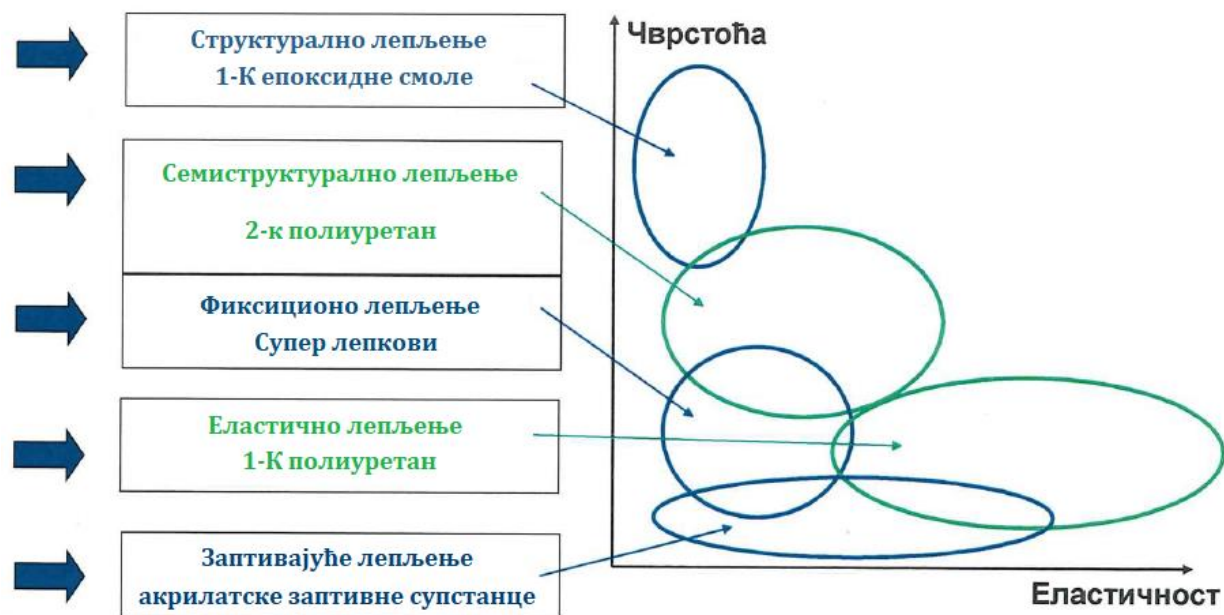
- На основу броја компоненти лепка.

У овој подели разликујемо једнокомпонентне (епоксидне смоле, полиуретани, акрилати, силикони), двокомпонентни лепкови, који се добијају мешањем два састојка (епоксидне смоле, силикони, полиуретани) и трокомпонентни који су углавном акрилати и епоксидне смоле. [5]

- На основу хемијске основе.

У овој подели постоје лепкови са органским једињењима и неорганским једињењима. Органска се даље деле на природне базе (белачевине, угљене хидрате, смоле) и синтетичке базе (акрилати, полиуретан, епоксиди). У групи лепкова са неорганским једињењима постоје силицијумске базе (силикони) и керамичке базе (силикати и фосфати). [5]

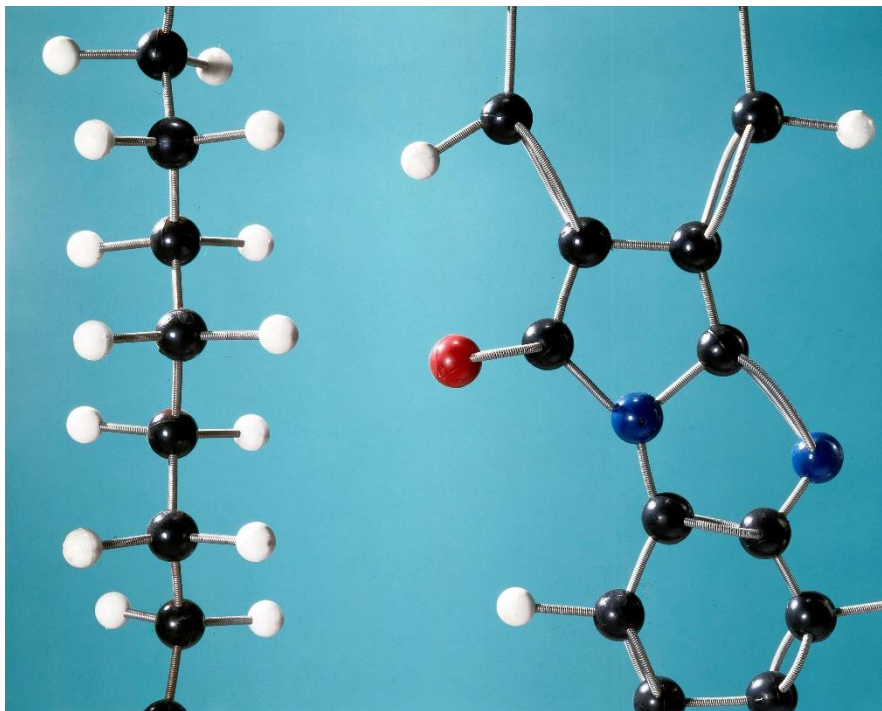
- На основу класе чврстоће



Слика 5. Шематски приказ поделе лепкова по класи чврстоће. [5]

- На основу механизма очвршивања

У овој подели имамо лепкове / запивајуће супстанце које очвршћавају хемијском реакцијом и који очвршћавају физичком реакцијом. Хемијском реакцијом се мали молекули (мономерни) спајају у друге делимично умрежене молекуле (полимере). Док код физички реакционих лепкова полимери су већ формирани. Морају да се квасе, након чега постају чврсти (слика 6). [5]



Слика 6. Мономерни и полимерни. [5]

3.2 Предности и мане лепљења

Предности лепљења су следеће:

- равномерно распоређено оптерећење по читавом пресеку,
- спајање танких или дебљих материјала било ког облика,
- спајање сличних или различитих материјала,
- минимизирање или спречавање електрохемијске корозије између различитих материјала,

- заптивање спојева против различитих средина,
- изолација против преноса топлоте и електричне проводљивости (у неким случајевима лепкови су дизајнирани да обезбеде такву проводљивост),
- пригушивање вибрација и апсорбције ударца,
- брже и / или јефтиније од механичког причвршћивања,
- смањена маса конструкције,
- добра естетика готовог производа,
- могућност спајања материјала који би се приликом заваривања и лемљења разорили,
- велика способност апсорпције и пригушена вибрација,
- не пропуштају воду, отпорни на корозију и не мењају својства материјала који се лепе.

Недостаци лепљења су:

- недовољна чврстоћа споја,
- процес везивања може да буде компликован, јер је потребна специфична површинска припрема делова, одређена температура, влага и притисак, релативно дуго време сушења, као и одговарајућа конструкција споја да би се смањила напрезања,
- осетљивост споја на температуре, топлоту, хемијске реагенсе и биолошка оштећења,
- за добијање трајних веза често је потребна пажљива припрема површине са корозивним хемикалијама,
- дуго време очвршћавања, посебно тамо где нису високе температуре очвршћавања лепка.

Пројектовање неког дела или конструкције у било којој грани индустрије захтева познавање карактеристика залепљених спојева (предности и недостаци), врсте спојева у смислу изводљивости, познавање процеса лепљења као и врста и могућности лепкова. [1]

3.3 Услови доброг лепљеног споја

Основни захтеви за добру лепљиву везу су:

- Правилан избор лепка.

На располагању су бројни лепкови за лепљење материјала. Избор врста и облик лепка зависе од природе лепка, перформанси захтеви крајње употребе и поступак лепљења лепком. [7]

- Добар дизајн лепљеног споја.

Пажљиво дизајнирани спој може да добије јачу везу комбиновањем предности механичког дизајна са снагом лепљиве везе како би се задовољили захтеви крајње употребе лепљеног дела. [7]

- Чистоћа површина.

Да би добили добру лепљиву везу, важно је започети са чистом површином на коју наносимо лепак. Страни материјали, попут прљавштине, уља, влаге, прашине и слабих оксидних слојева, морају се уклонити, иначе ће се лепак лепити за те слабе граничне слојеве, а не за површину коју желимо да лепимо. Постоје разни површински третмани који могу уклонити или ојачати слабе граничне слојеве. Ови третмани углавном укључују физичке или хемијске процесе или комбинацију оба. [7]

- Влажност површина које се спајају.

Резултат доброг влажења је већа површина контакта између адхезива и лепка преко којег могу деловати силе адхезије. [7]

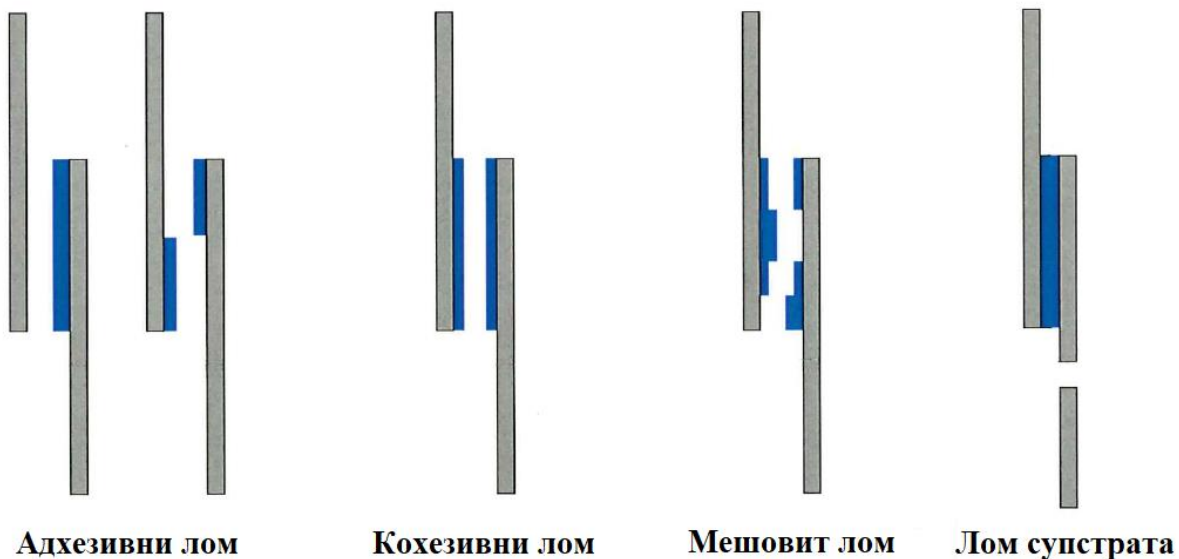
- Правилан поступак лепљења лепком.

Успешно спајање делова захтева одговарајући поступак. Лепак се не сме наносити само на површине лепљеног материјала, већ и лепљење треба подвргавати одговарајућој температури, притиску и времену очвршћавања. Начин на који долази до очвршћавања зависи од избора лепка. [7]

3.4 Врсте ломова лепљеног споја

Постоје три могућа механизма нарушавања лепљеног споја (слика 7):

- Структурни лом – је унутрашњи лом материјала супстрата у непосредном пределу споја. Структурни лом указује на то да су адхезивне и кохезивне силе лепка јаче него унутрашње (структурне) везе у материјалу супстрата. [7]
- Адхезивни лом – је лом који настаје као резултат раздвајања супстрата и лепка. Ова врста механизма указује на слабе адхезивне силе у односу на кохезивне силе лепка и структурне силе материјала супстрата. [7]
- Кохезивни лом – је унутрашњи лом самог лепка. Механизам кохезивног лома условљен је силама кохезије – тј. међумолекулским силама у лепку. Кохезивни лом указује на добро успостављену адхезију. [7]



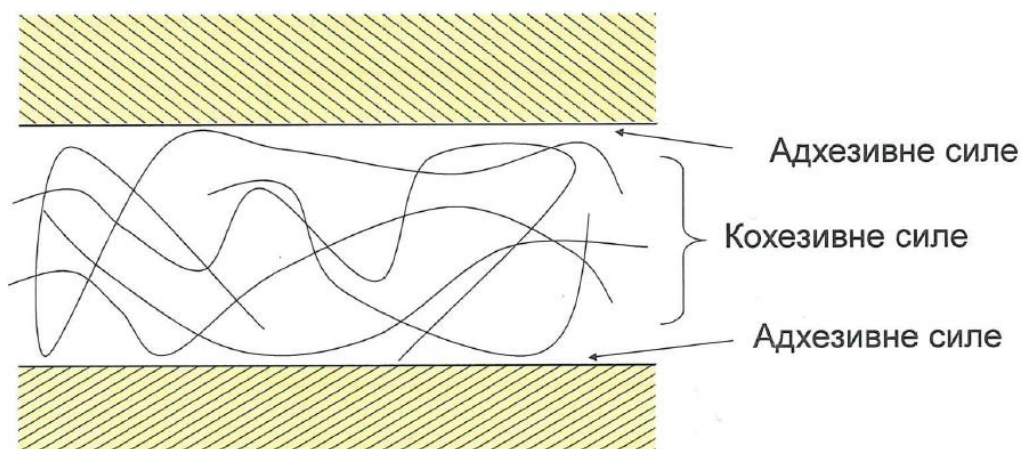
Слика 7. Приказ различитих врста ломова залепљеног споја [5]

3.5 Адхезивне силе

Веома је тешко тачно дефинисати адхезију и до сада не постоји потпуна дефиниција адхезије. Следећу дефиницију је предложио Wu: Адхезија се односи на стање у којем се два материјала различите структуре држе спојем уз помоћ блиског међуповршинског контакта уз помоћ којег се механичке силе или рад може пренети кроз међуфазне површи. [7]

Међу површинске силе које држе две фазе заједно могу да проистекну из Ван дер Валсових привлачних сила, хемијске везе, или електростатичког привлачења. Механичка чврстоћа система одређена је не само међуповршинским силама, већ и механичким својствима међуповршинске зоне и материјала који се спаја. Услед ових интеракција долази до везивања адхезива за површину подлоге. Силе привлачења између различитих врста молекула називају се адхезионим силама које се јављају на граници фаза (слика 7). [7]

Специфичан случај адхезије јесте тзв. аутоадхезија, која се успоставља када два предмета од истог материјала дођу у контакт и када је спој последица сила интеракције исте врсте молекула да не би дошло до адхезије између два предмета неопходно је да лепак кваси те предмете и да молекули лепка остваре међумолекулске интеракције са молекулима материјала. [7]



Слика 8. Приказ деловања везивних сила. [5]

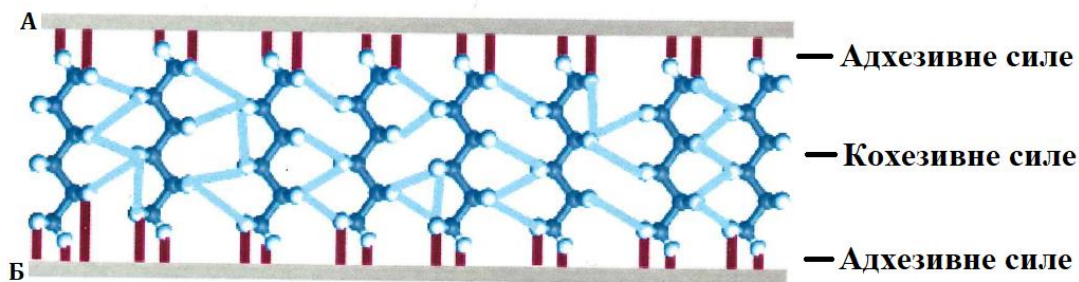
3.6 Кохезивне силе

Силе привлачења исте врсте молекула у унутрашњости једног материјала називају се кохезивне силе. Ове силе такође делују на молекуларном нивоу. Оне делују између молекула лепка и одржава их на окупу. Ова сила не делује само у лепку већ и у другим материјалима и супстанцама. (слика 9). [9].



Слика 9. *Јака кохезивна сила не пушта живу да изгуби свој облик.* [8]

Присуство кохезионе силе у природи је очигледно. Кохезиона сила формира капљице воде. На исти начин на који вода својим присуством омогућава да се зрнца песка држе на окупу, тако и лепак својим присуством обезбеђује да два чврста објекта, делови неке машине, трајно задрже жељени положај. На слици 9. приказан је модел који објашњава физичке основе технологије спајања делова лепљењем. У међупростор између два објекта, објекат А и објекат Б, уноси се одређена количина лепка у течном стању. Адхезивне везе између молекула лепка и делова који се спајају (означене црвеном бојом) и кохезионе везе између молекула лепка (означене павом бојом) делују на ове објекте и успостављају између њих механичку везу. [9]

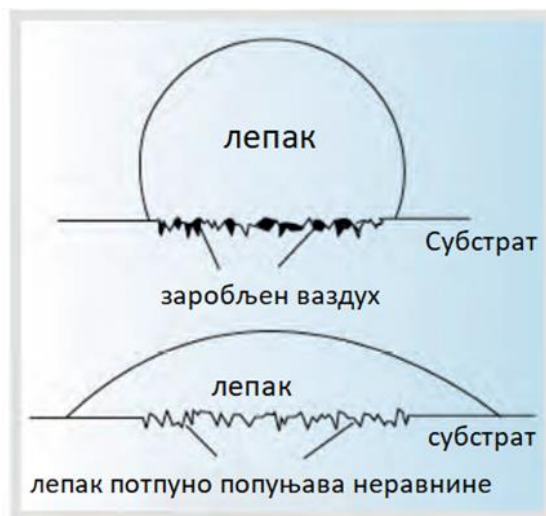


Слика 10. Приказ како су молекули повезани током деловања везивних сила. [5]

3.7 Квашење и површинска енергија

Квашење је приближавање лепка ка површини спајаног дела на молекуларном нивоу у сврси узајамног деловања. Акциони радијус сила је приближно $1/10 \text{ nm}$. Квашење је неопходно за постизање успешне адхезије али не представља гаранцију адхезије. [5]

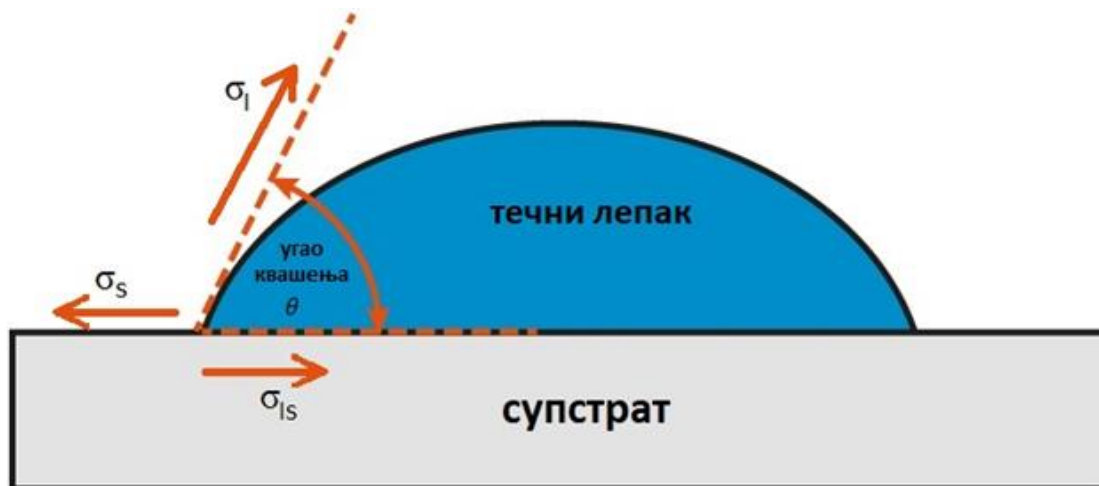
Да би се успоставила адхезиона веза између лепка и објекта који се лепе, неопходно је да буде испуњен један специфични услов. Тај услов односи се на међусобни однос адхезивних и кохезивних сила. Адхезивна сила која делује између молекула течности и молекула материјала објекта који се спајају лепљењем мора да буде већа од кохезионе силе која истовремено делује између суседних молекула течности. Уколико је то случај кажемо да течност кваси материјал објекта који се спајају [9].



Слика 11. приказ доброг (а) и лошег (б) квашења [7].

Слика 12. илуструје потпуно и непотпуно влажење лепком. Добро квашење је када се лепак улије у неравнине и пукотине на површини подлоге. Лоши резултати квашења су када лепак не продире у неравнине, што резултира нижом укупном снагом споја [7].

Непотпуно влажење ствара међуфазне недостатке, чиме се смањује чврстоћа лепљиве везе. Комплетним влажењем постиже се највећа чврстоћа споја.



Слика 12. Квашење подлоге [9].

Угао квашења материјала се одређује из следећих једначина:

$$\sigma_s = \sigma_l \times \cos \theta + \sigma_{ls} \quad (3.7.1)$$

$$\cos \theta = \frac{(\sigma_s - \sigma_{ls})}{\sigma_l} \quad (3.7.2)$$

где је:

σ_s - површински напон супстрата,

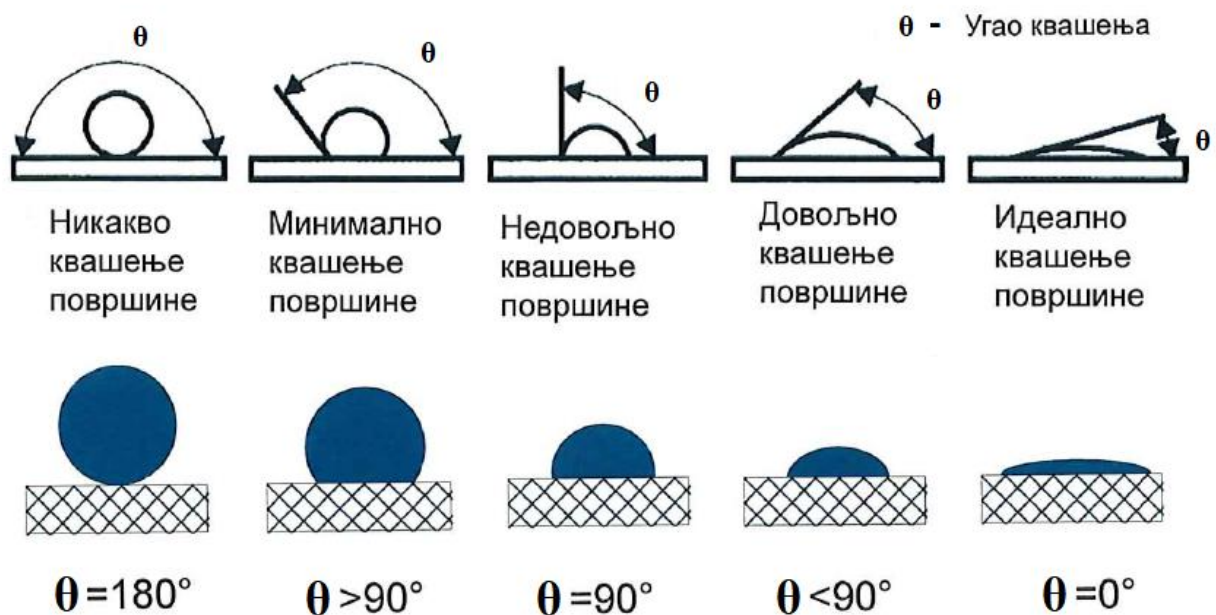
σ_l – површински напон течног адхезива,

σ_{ls} – међуповршински напон између течног адхезива и чврстог супстрата,

θ – угао квашења.

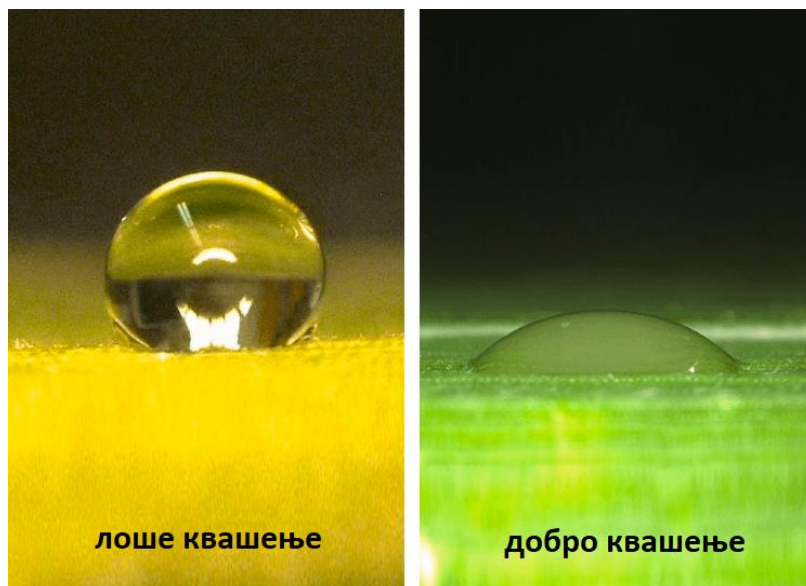
Добро квашење и добро простирање адхезива по супстрату постиже се при нижим угловима квашења ($\theta < 90^\circ$), када је $\sigma_{ls} < \sigma_s$. делимично квашење настаје на високим вредностима угла θ ($90^\circ < \theta < 180^\circ$). (слика 13). Спајање адхезива и супстрата може бити

последица специфичне и механичке адхезије. Специфична адхезија је резултат интеракције између молекула адхезива и супстрата.



Слика 13. Угао квашења [5].

Механичка адхезија је последица продирања адхезива у површинске поре супстрата чиме се успоставља веза преко формираних клинова, који заједно са специфичном адхезијом доприносе већој јачини споја. [7]



Слика 14. Лоше и добро квашење [5].

Површинска енергија је рад потребан за повећање површине за јединицу површине. Њена јединица је mJ/m^2 . У случају течности, површинска енергија се такође назива површински напон. Сваки материјал има своју површинску енергију. Што је површинска енергија субстрата већа од површинске енергије лепка, то је боља адхезија та два материјала. Материјал са највећом површинском енергијом је гвожђе (2550 mJ/m^2), док је силикон један од материјала са најмањом површинском енергијом 20 mJ/m^2 . (табела 1). [5]

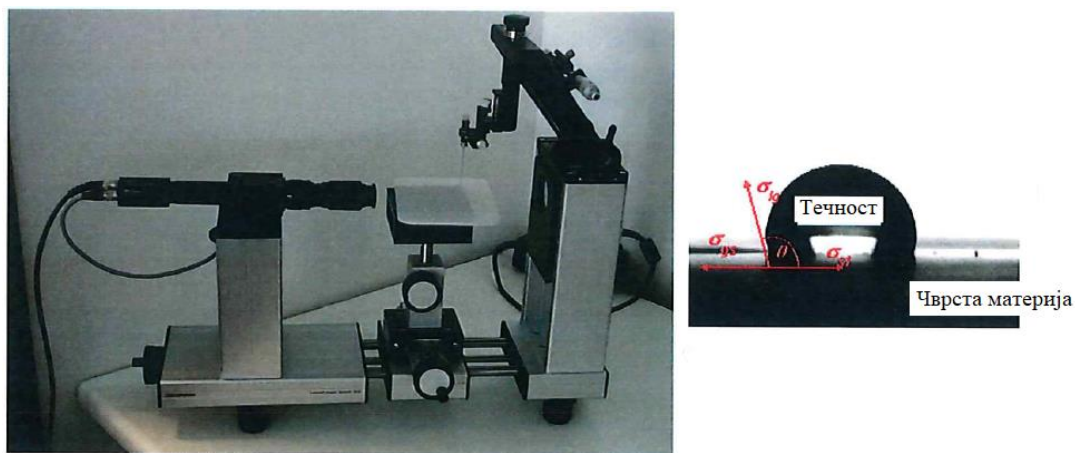
Материјали	Површинска енергија [mJ/m^2]
Гвожђе	2550
Титан	2050
Бакар	1850
Вода	73
Полиамид	55
Епоксидна смола	47
Поливинилхлорид (PVC)	40
Полистирен (PS)	35
Полиетилен (PE)	31
Полипропилен (PP)	29
Силикон	21
Политетрафлуоретилен (PTFE)	19

Табела 1. Површинска енергија материјала. [5]

Мерење површинске енергије и напона се врши помоћу више различитих метода и апарата. Углавном се користе ваге за мерење квашења (тензиометар) (слика 15), апарат за мерење угла контакта (гониометар) (слика 16) и пробни фломастери и мастила (слика 16). [2]



Слика 15. Ваге за мерење квашења (тензиометар) [5].



Слика 16. Апарат за мерење угла контакта (гониометар) [5].

Мерењем уз помоћ пробних маркера или мастила можемо повлачењем црте по супстрату видети да ли се задржава маркер на површини или ће се слити у капи са површине. Сваки маркер је обележен бројем, који представља површинску енергију маркера. Упоређивањем утврђујемо која је права површинска енергија субстрата. Уколико

је површинска енергија супстрата (E_s) нижа него површинска енергија мастила или маркера (E_m) онда ће се мастило слити у капи са субстрата. Док уколико је већа површинска енергија субстрата, онда ће он маркер остати на субстрату у виду широке траке. [5]



Слика 17. Маркер за проверу површинске енергије супстрата [5].

4. Припрема површине за лепљење

Припрема површине се врши како би се обезбедила површина која је чиста и активна за лепљење и подразумева скидање прљавштине, масноће и површинске корозије са површине материјала који се лепи. За то се користе течности (изопропанол, етанол, Sika Remover, итд) (slika 18) и користе се брусни папири (шмиргле) различитих вредности храпавости у зависности од квалитета површине који се захтева. За фино брушење се користи Scotch Brite. Након обраде површине брусним папиром се такође врши чишћење течностима (етанол, ремовер, изопропанол). [6]



Слика 18. Течности за скидање прљавиштинем, Sika Remover 208. [6].

Уколико се лепи површина која је лакирана или се лепи стакло, керамика, тј. површине које имају малу површинску енергију, врши се чишћење површине течностима и активација површине (отворени пламен, плазма, итд.). Потребно је напоменути да се након чишћења и наношења ремовера, површина оставља 10 минута (време одветравања) пре даљег рада на њој. [6]

На претходно обрађену површину се наносе активатор и прајмер (слика 19). Најпре се наноси активатор и чека се 10 минута време одветравања, након чега се наноси пример за који време одветравања износи 5 минута. Обе супстанце се наносе одговарајућим сунђерима на површину и у монослоју како би се површина што боље лепила. Након одговарајућег времена одветравања започиње процес наношења лепка. [6]



Слика 19. Aktivator i prajmer. [6]

Наношење лепка се врши одговарајућим средствима за наношење (пиштољима) који могу бити механички, пнеуматски или електрични (слика 20). Употреба одређене врсте пиштоља зависи од количине и врсте лепка који се наноси. Уколико се користе лепкови за навоје (анаеробни лепкови) њихово наношење се врши из њиховог паковања. [6]



Слика 20. Пиштољ за наношење лепка Sikaflex. [6]

Приликом отварања новог паковања лепка, неопходно је истиснути одређену количину лепка и не користити је за спајање. Лепак се наноси у једном потезу (гусеници),

и уколико дође до прекида гусенице, исту не треба наставити већ се нова гусеница поставља поред. Дебљина лепка је прописана техничком документацијом, као и облик гусенице која се наноси на површину и то зависи од намене лепљеног споја. Уколико постоји потреба лепљени део се загрева у одговарајућим пећима након чега се одлаже да лепљени спој очврсне (просечно време очвршћавања лепка је 24 сата). Након тога се таквим делом може манипулисати и може се контролисати. [6]



Слика 21. Наношење лепка на површину [6]

Лепљење се врши у просторијама са контролисаном температуром и влажношћу ваздуха. У просторији где се врши лепљење је забрањена употреба алата који варниче. Просторија мора имати вентилацију ради добре проветрености услед коришћења хемикалија, такође прашина лоше утиче на квалитет лепљеног споја. Радници који врше лепљење морају носити заштитне наочаре и заштитне рукавице (хируршке рукавице), маске и мантиле или кецеље које спречавају да хемикалије или лепак дођу у контакт са кожом.

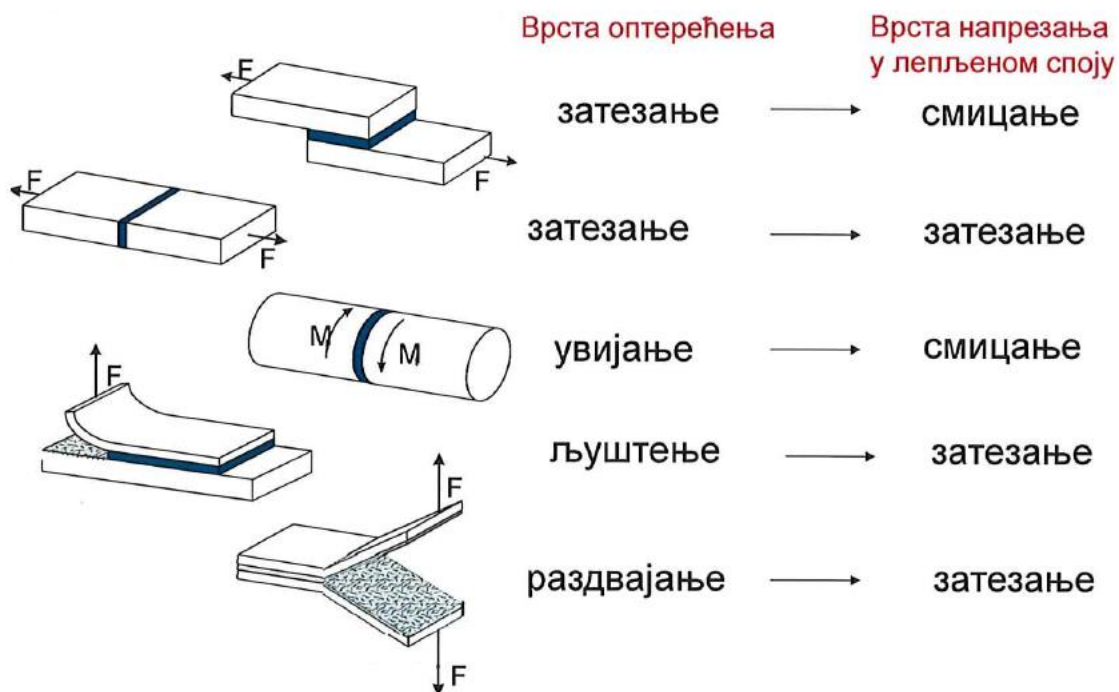
На радном месту морају бити истакнута упозорења да се ради са хемикалијама, и морају бити истакнута обавештења о коришћењу одговарајуће заштитне опреме. Такође, осталим радницима није дозвољен приступ у овај део производње ради спречавања излагања овим материјала. За одлагања ових материјала морају постојати одвојене канте /

контејнери по што ове материје не спадају у класичан отпад, те се у складу са тим морају одлагати на одговарајући начин. [6]

4.1 Врсте и начини тестирања лепљеног споја

Испитивање је важно у свим аспектима науке о материјалима и инжењерства, али је посебно важно код лепкова. Ови тестови процењују не само унутрашњу снагу лепка, већ и технике лепљења, начин чишћења, ефикасност површинске обраде и циклусе очвршћавања. [7]

Ово поглавље опште говори о различитим врстама тестирања које се спроводе на лепљеним спојевима. Обухваћени су само важнији типови тестирања. [7]



Слика 22. Облици напрезања у лепљеном споју. [7]

- Затезање

Испитивања на чисто затезање су она код којих се оптерећење примењује нормално на раван линије лепљених веза и у равни са центром лепљених површина. Испитивања на затезање је међу најчешћим тестовима који се користе за оцењивање лепкова, упркос чињеници, користе се дизајнирани спојева који оптерећују лепак који није затезан. Већина структурних материјала има велике затезне чврстоће у поређењу са затезним чврстоћама конструкционих лепкова. Једна од предности затезног испитивања је што даје основне и некомплицоване податке о затезном напрезању и чврстоћи. [7]

- Смицање

Чиста напрезања на смицање су она која су паралелна са лепком. Узорци смицања са једним непомичним делом не представљају чисто смицање, али су практични и релативно једноставни за припрему. Такође пружају поновљивост резултата. Испитивања на смицање су врло честа јер се узорци и атмосферски услови једноставно конструишу и могу се понављати. [7]

- Љуштење

Испитивања љуштењем је намењено еластичним лепковима. Служе мерењу отпорности до високо локализованих напона. Што је еластичнији лепак то је подручје под напонам готово смањено на линеарност. Стрес се тада приближава бесконачности. Пошто подручје над којим примењено напрезање зависи од дебљине лепка. [7]

- Цепанје / раздвајање

Цепање је варијација љуштења у којој су два субстрата повезана. Оптерећење је нормално на подручје везивања на једном крају узорка. Силе цепања обично су концентрисане на једној ивици субстрата. [7]

- Ударац

Испитивањима удара мери се способност лепка да пригуши или апсорбује силе. Примењује се у врло кратком временском интервалу. У основи, ови тестови мере стопу осетљивост лепка на примењено оптерећење. Неке машине користе гравитацију да би убрзале дато оптерећење које изазива тест примерак. [7]

4.2 Тестирање залепљеног споја љуштењем

Испитивање љуштењем се врши код еластичних лепкова ради тестирања њихове отпорности на високе локалне напоне. На наредном сликама се користи лепак Sika PowerCure или Sikaflex 268.

Пре сваког лепљења критичних делова и делова који захтевају виши степен сигурности потребно је одрадiti радну пробу. Тиме проверавамо површину дела који лепимо, стручност практичара при обради површине, да ли лепак који користимо ваља, да ли су атмосферски услови одговарајући за лепљење.

Радна проба се врши на материјалу сличном оном који треба да се лепи, или се ради пре лепљења на оригиналном делу. Пробе се раде минимум 24 сата пре лепљења дела, како би лепак очврсну и био спреман за тестирање. Поступак израде радне пробе је исти као при лепљењу. Површина се чисти одговарајућим средствима, па се чека време одветравања. Затим се површина активира и прајмује, такође се чека одређено време одветравања, па се наноси лепак. Лепак се обликује у трапезасте облик уз помоћ шаблона (слика 23). Након 24 сата, када лепак очврсне може се приступити тестирању лепљеног споја љуштењем. [6]



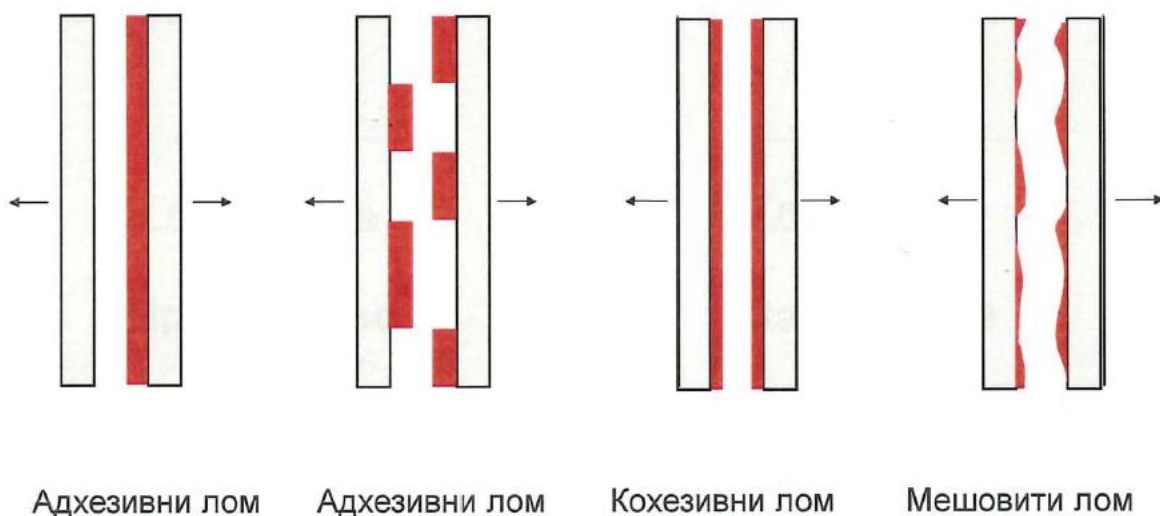
Слика 23. Облик гусенице и шаблон за обликовање. [6]

Тестирање се обавља затезањем лепка и сечењем на месту највећег развлачења (слика 24). Гусеница се сече под углом од 45 степени у пределу највећег растезања лепка при

затезању. Гусеницу лепка сечемо све док не одстранимо целу дужину лепка. Резултат љуштења оцењујемо визуелном методом. На слици 25. видимо врсте ломова лепљеног споја на односу ког оцењујемо нашу радну пробу.



Слика 24. Сечење пробе приликом затезања. [5]



Слика 25. Разне врсте ломова лепљеног споја. [5]

На основу EN ISO 10365 изглед лома оцењујемо:

- Оцена 1 – Више од 95% кохезивног лома и мање од 5% адхезивног лома
- Оцена 2 – 75% до 95% кохезивног лома
- Оцена 3 – 25% до 75% кохезивног лома
- Оцена 4 – Мање од 25% кохезивног лома

Оцена 1 и 2 су успешно одрађене пробе, док 3 није добра, а оцена 4 је тотални отказ споја.



Слика 26. Лоша радна проба и добра радна проба. [6]

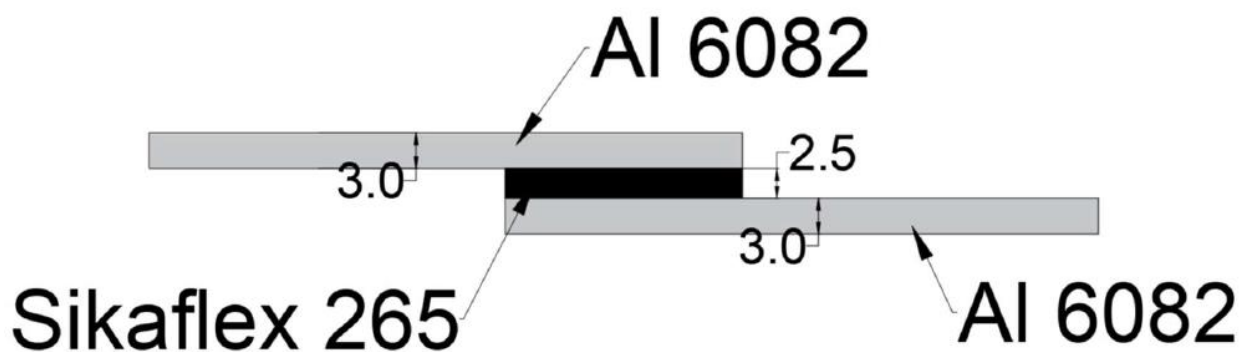
На слици 26 имамо два примера радне пробе. Прва слика је лоша радна проба где се јавио лом у фарби субстрата. Силе у лепку (кохезивне силе) су биле јаке, као и силе између

фарбе субстрата и лепка (адхезивне силе). Док су силе између основног материјала и фарбе биле доста слабије па је проурокован лом.

На другој слици приказана је добра ранда проба са оценом 1. Овде је приказан чист кохезивни лом. Што значи да је површина добро припремљена и да су адхезивне силе довољно јаке.

4.3 Тестирање залепљеног споја кидањем

Испитивање залепљеног споја на кидањем је извршено у институту IMW који је у оквиру MIND PARKA, а чија је примарна делатност истраживање и развој у области техничко-технолошких наука. За експеримент је узет узорак од претходно залепљене алуминијумске епрувете Sikaflex лепком (слика 27). [11]



Слика 27. Приказ епрувете која ће се кидати. [11]

Експеримент је изведен на машини SHIMADZU AG-X, која служи за испитивање затезања, потискивања и савијања. Максимална сила за тестирање је 300 kN док је опсег брзина којим се могу вршити експерименти од 0,0005 mm/min до 500 mm/min. Машина омогућава континуално и циклично задавање оптерећења током испитивања. На слици 28. приказано је постављање узорка у чељусти кидалице. [11]



Слика 28. Узорак постављен у чељусти кидалице [11]

Резултати добијени испитивањем приказани су на слици 29. Добијени резултати показују да је максимална сила коју је епрувета издржала једнака 2927.45 N померање епрувете при деловању ове силе износило је 8.1%. На графику се види однос напона [МПа] и деформације епрувете које је изражено у процентима.

Затезна чврстоћа материјала је максималан напон којим се материјал може оптеретити затезањем, а да притом не дође до лома. Дефиниција лома може да варира у зависности од материјала и методологије извођења експеримента. Аналитичким прорачуном то је однос силе F , кроз површину A :

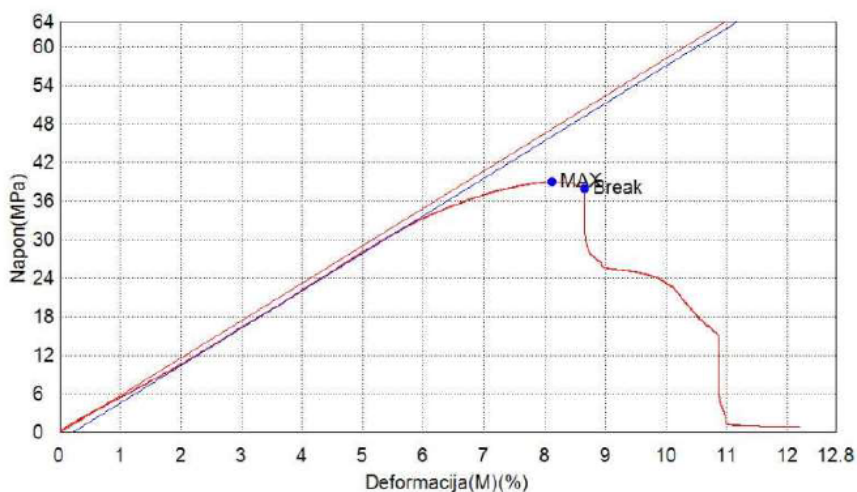
$$\tau = \frac{F}{A} \quad (4.3.1)$$

IMW INSTITUT

Podaci o ispitivanju:

Laboratorija	Laboratorija za mehaničko metalografska ispitivanja
Metoda ispitivanja	Ispitivanje zatezanjem
Standard	SRPS ISO
Materijal	Zalepljeni spoj
Vrsta epruvete	Pločasta epruveta
Temperatura	24°C
Mašina za ispitivanje	AG-X/MST-X/X-Type
Broj serija:	1
Komada/serija:	1
Operator	Nikola Marinković
Oznaka uzorka	MMK.19.086
Šifra izveštaja	3-1
Datum ispitivanja	13/08/2019
Datum izveštaja	13/08/2019

Name	Rp	Deformacija (M) Rp	Rm	Maksimalna Sila	Deformacija Rm	Sila (K)	Rk	Deformacija (M) (K)
Parameters	0.2 %	0.2 %	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10	Sensitivity: 10
Unit	MPa	%	MPa	N	%	N	MPa	%
1_1	10.5985	2.01851	39.0326	2927.45	8.12478	2846.96	37.9594	8.65810
Average	10.5985	2.01851	39.0326	2927.45	8.12478	2846.96	37.9594	8.65810
Standard Deviation	---	---	---	---	---	---	---	---
Range	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000



Komentar: Ispitivanje zatezanjem zalepljene epruvete, debljina lepljenja: a0=2.5mm ; sirina: b0=30mm:

Evidencioni broj: 00003/19
Obrazac broj: I

Izveštaj izradio:

Kontrolisano:

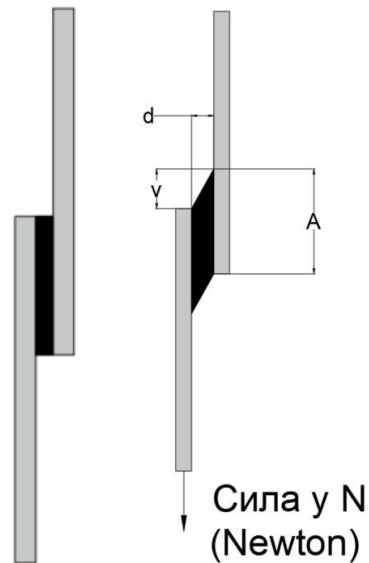
Odobrio:

Слика 29. Резултати добијени кидањем епрувете [11]

Еластичност је својство чврстих тела (материјала) да под утицајем спољашње силе мењају свој облик или запремину и да се, након престанка њеног деловања, враћају у првобитан облик. Код гуме и других полимера, еластичност је узрокована истезањем полимерних ланаца.

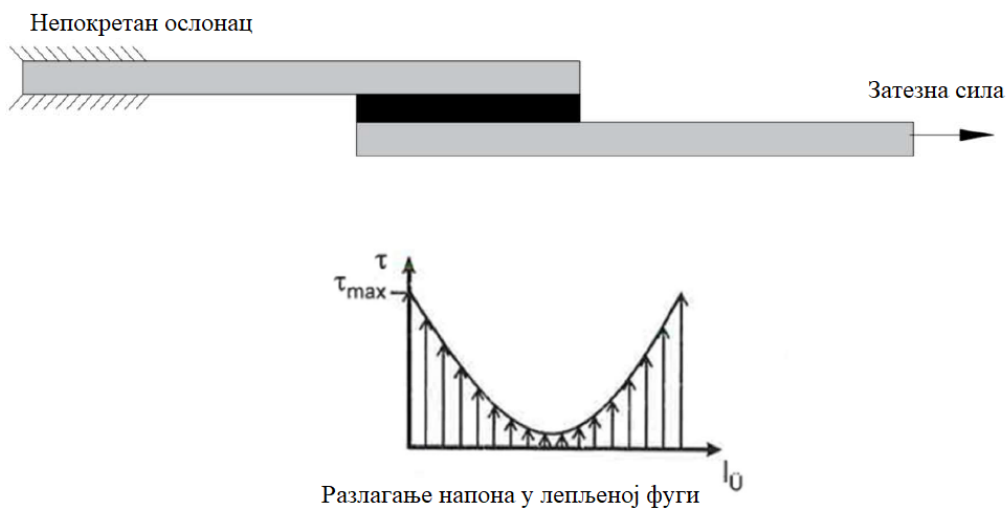
За гумасте материјале као што су еластомери, нагиб дијаграма напрезања се повећава са напоном, тако да је гуму прогресивно све теже даље истезати, док се за већину метала градијент смањује при веома високим напонима, тако да они прогресивно постају све растегљивији.

На слици 30. приказана је растеређена и оптерећена епрувета на којој су дате димензионе карактеристике које фигуришу у аналитичком рачуну за одређивање еластичности материјала.



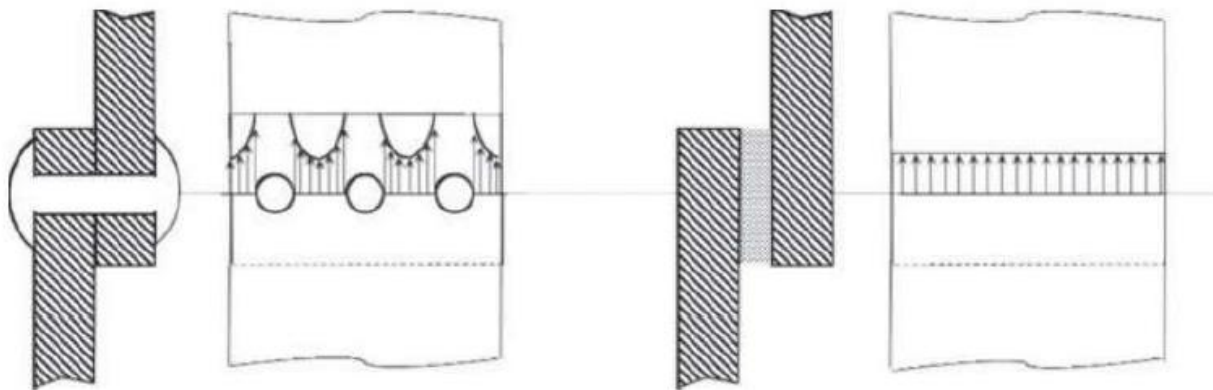
Слика 31. Епрувете пре и после оптерећења. [11]

Расподела напона кроз пресек залепљеног споја при деловању аксијалне затежуће силе приказан је на слици 32.



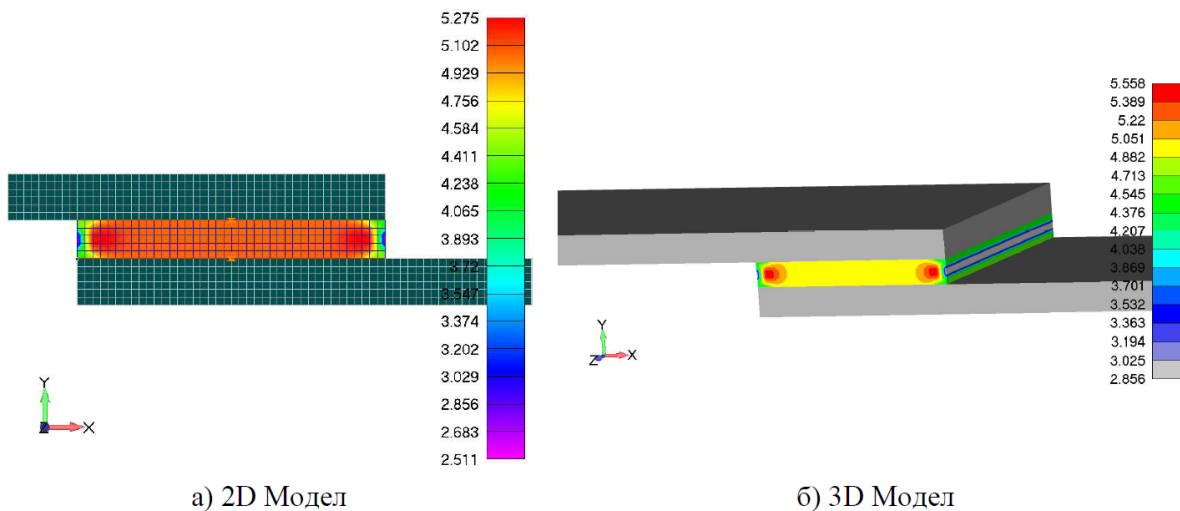
Слика 32. Распоред напона при затезању. [11]

Код залепљеног споја расподела напона је континуална кроз цео спој што се може видети на следећој слици где је направљено поређење између закованог споја и залепљеног споја, где се јасно види да залепљени спој боље разлаже деловање затежућих сила.

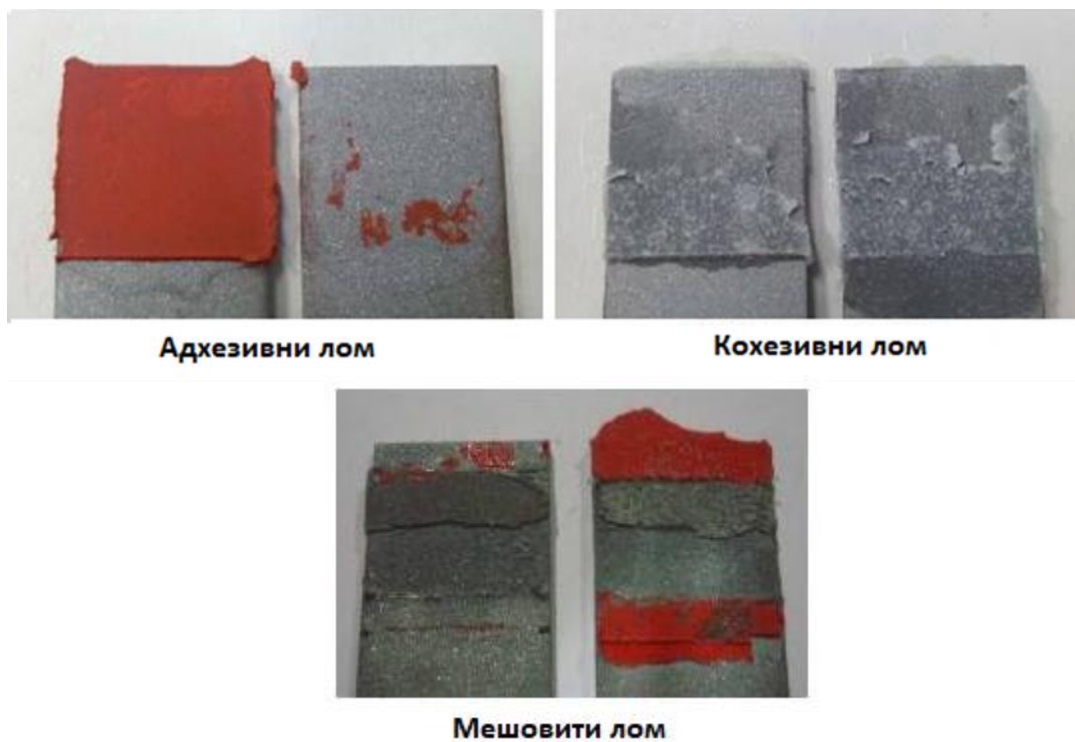


Слика 33. Упоредивање расподеле напона код залепљеног и закованог споја. [11]

На слици 34. приказано је деловање смичућих напона у адхезиву залепљеног споја.



Слика 34. Расподела смичућих напона кроз адхезив [MPa].



Слика 35. Резултати кидања на кидалици. [11]

5. Закључак

У овом раду је описан поступак лепљења као један од начина везивања елемената конструкција. Модерним лепковима могуће је вршити спајање посебно захтевних лаких металних конструкција. Посебан значај дат је припреми површине и начинима тестирања лепљених спојева. Технологија лепљења је све чешћа у различитим деловима индустрије због своје специфичности да спаја различите материјале и пружа одличне перформансе у лепљеним спојевима. Осим тога лепљени спојеви могу служити и као заптивна маса, могу се користити за смањење масе конструкције као и за бољу естетику финалног производа. Једна од већих мана лепљеног споја је то што може бити осетљив на високе температуре, UV зраке или хемијске реакције.

Приказано је како се припрема површина пред лепљење, као и пред тестирање лепљеног споја. Урађена су два различита теста. Један је на затезне силе при љуштењу, а други затезне силе при кидању на кидалици. Овакви тестови и анализе се раде у великим количинама како би обезбедили сигурност ваљаности лепка. Проверава се да ли је површина која се лепи погодна за лепљење, и да ли су практичари лепљења довољно обучени за рад.

Када сагледамо и упоредимо две врсте тестирања из овог рада, можемо рећи да је испитивање затезним силама приликом љуштења далеко опаснија за лепљени спој. Деловање сила се дешава у једној тачки што доводи до бржег лома лепљеног споја. Зато треба избегавати дизајн лепљеног споја који може довести до овакве врсте затезања.

6. Литература

- [1] Поповић Р., Шотра Д., Заваривање и спајање материјала, Висока техничка школа струковних студија у Новом Београду 2015.год.
- [2] Карл-Хеинз Декер, Елементи стројева, Техничка књига, Загреб, 1975. год.
- [3] Wikipedia, интернет станица:
https://en.wikipedia.org/wiki/Adhesive#/media/File:Animal_glue_liquid.jpg, приступљено 25.09.2020
- [4] Schreinergruop, интернет станица:
<https://www.schreinergruop-blog.com/en/fair-question-what-are-the-fortes-of-liquid-adhesives/>, приступљено 25.09.2020
- [5] Литература за европског специјалисту лепљења, SVV Praha, s.r.o., Centrum Lepení Brno.
- [6] Siemens Mobility, Sobovica.
- [7] Sina Ebnesajjad, Arthur H. Landrock, Adhesives Tehnology Handbook.
- [8]] Wikipedia, интернет станица:
[https://bs.wikipedia.org/wiki/Kohezija_\(hemija\)#/media/Datoteka:Hg_Mercury.jpg](https://bs.wikipedia.org/wiki/Kohezija_(hemija)#/media/Datoteka:Hg_Mercury.jpg), приступљено 28.09.2020
- [9] Томић Н., Утицај структуре адхезива и третмана материјала на јачину адхезивног споја, Универзитет у Београду 2012. год.
- [10] Thoughtco, интернет станица:
<https://www.thoughtco.com/monomers-and-polymers-intro-608928>, приступљено 30.09.2020
- [11] АММ, Sobovica.