

Универзитет у Крагујевцу
Машински факултет у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Машински материјали

Број индекса: 103/2016

Владимир П. Вуковић

ЛЕПКОВИ

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Драган Адамовић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да да преглед развоја и употребе лепкова. На почетку дати историјски развој лепкова и објаснити механизам лепљења. У даљем делу рада описати њихову класификацију и својства, као и методе добијања и технологију лепљења. На крају дати примере примене лепкова у разним областима технике.

Оквирни садржај рада:

1. УВОД
 2. ПОДЕЛА И ВРСТЕ ЛЕПКОВА
 3. ТЕХНОЛОГИЈА ЛЕПЉЕЊА
 4. СВОЈСТВА ЛЕПКОВА И ЛЕПЉЕНИХ СПОЈЕВА
 5. ПРИМЕНА ЛЕПКОВА
 6. ЗАКЉУЧАК
- ЛИТЕРАТУРА

Препоручена литература:

- [1].Pizzi, K. L. Mittal, ed. Handbook of Adhesive Technology, Second Edition, Revised and Expanded, Marcel Dekker, New York-Basel, 2003.
- [2]. Edward M. Petrie, Handbook of Adhesives and Sealants, McGraw-Hill Handbooks, New York, 2007.
- [3].Walter Brockmann, Paul Ludwig Geiß, Jürgen Klingen, Bernhard Schröder, Adhesive Bonding, Materials, Applications and Technology, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2009.
- [4].David A. Dillard, ed., Advances in structural adhesive bonding, CRC Press, New York, 2010.
- [5].Jovanović, M, Adamović, D. i drugi, Mašinski materijali, Kragujevac, 2003.

Крагујевац, 13. мај 2019. год.

Ментор:
Др Драган Адамовић, ред. проф

РЕЗИМЕ

У оквиру овог завршног рада наведени су основни појмови о лепковима, као и сам процес лепљења. Поред тога, наведене су врсте лепкова који се користе, као и њихова подела према различитим карактеристикама. Описана је и технологија лепљења (избор лепка, припрема површине и лепка), као и својства лепкова и лепљених спојева. Уз све то, дата је и примена лепка у разним производним индустријама.

Кључне речи: лепкови, врсте лепкова, својства лепкова, примена лепка

SUMMARY

The basic concepts of adhesive and bonding process are given in this thesis. In addition, the types of adhesives used and their classification according to various characteristics are listed. The adhesive technology (choice of adhesive, surface preparation and adhesive) is described as well as the properties of adhesives and adhesives. In addition, the application of adhesives in various manufacturing industries is given.

Keywords: adhesives, types of adhesives, properties of adhesives, application of adhesive

Садржај

1. УВОД.....	2
1.1 Историјски развој.....	2
1.2 Механизам лепљења.....	4
1.2.1 Адхезија.....	5
1.2.2 Кохезија.....	7
1.3 Важни фактори за успешну употребу лепкова.....	7
2. ВРСТЕ ЛЕПКОВА.....	9
2.1 Подела лепкова.....	9
2.1.1 Подела лепкова према функцији.....	9
2.1.2 Подела лепкова према хемијском саставу.....	10
2.1.3 Подела лепкова према механизму очвршћавања.....	12
2.1.4 Подела лепкова према физичком облику.....	15
2.2 Врсте лепкова.....	17
2.2.1 Лепкови биљног и животињског порекла.....	17
2.2.2 Лепкови синтетичког порекла.....	19
2.3 Додаци лепковима.....	20
3. ТЕХНОЛОГИЈА ЛЕПЉЕЊА.....	21
3.1 Избор лепка.....	21
3.2 Припрема површина за лепљење.....	22
3.3 Припрема лепка.....	26
3.3.1 Мешање лепка.....	26
3.3.2 Наношење лепка.....	26
3.4 Обликовање лепљених спојева.....	28
4. СВОЈСТВА ЛЕПКОВА И ЛЕПЉЕНИХ СПОЈЕВА.....	31
4.1 Својства лепкова.....	31
4.2 Својства лепљених спојева.....	32
4.3 Начини одређивања карактеристика лепкова и лепљених спојева.....	34
4.4 Чување лепкова.....	36
4.5 Предности и недостаци спајања лепљењем.....	37
4.6 Лепкови и животна средина	37
5. ПРИМЕНА ЛЕПКОВА.....	39
5.1 Транспортна индустрија.....	39
5.2 Дрвна индустрија.....	41
5.3 Грађевинарство.....	42
5.4 Електроника	43
5.5 Текстилна индустрија.....	44
5.6 Машинска индустрија.....	45
5.7 Материјали за паковање.....	45
5.8 Биомедицина и фармација.....	47
5.9 Употреба заптивних маса.....	48
6. ЗАКЉУЧАК.....	49
Литература.....	50

1. Увод

Лепак или адхезив је материја која служи за спајање делова истих или различитих материјала, пријањањем површина тих делова и стварањем везног филма између њих. Лепкови се могу дефинисати као неметални материјали, који могу различите делове, од истих или различитих материјала, повезати површинским причвршћивањем [1].

Лепљење је процес нераздвојивог спајања делова применом различитих врста лепкова. Лепљење се заснива на физичком принципу *адхезије* (силе привлачења на сучељу два материјала) и *кохезије* (међумолекуларне силе у самом лепку), при томе, најчешће су силе кохезије веће од адхезионих сила [2].

Наносе се у танком слоју, на једну или обе површине које се спајају, уз могућност повишеног притиска на спој. Стврдњавање лепка, тј. његов прелазак из течног у чврсто стање, може настати услед:

- физичких промена (настају због испаравања или дифузије растварача) и
- хемијских промена (услед хемијских реакција).

Теорија лепљења је врло сложена, јер притом учествује низ чиниоца који се односе на својства површина које се лепе (хемијска активност, чистоћа, храпавост површине и хомогеност), на својства лепка (површинска напетост, вискозност, поларност, киселост или базност и брзина сушења) и физичка и механичка својства створеног везног филма [1].

Основна карактеристика је коришћење релативно мале количине лепка, која је потребна за спајање, у односу на масу залепљених спојева. Једна од главних предности је могућност брзог и поузданог спајања готово свих врста материјала (могуће је спајати различите врсте материјала, попут метала са неметалом) и због тога се лепкови сматрају стандардним поступком спајања многих производних процеса [3].

Велика предност лепљених спојева, у односу на друге врсте спајања (заваривање и лемљење), је у томе што нема уношења топлоте у површине материјала који се спајају, чиме се спречава мењање структуре материјала и пад чврстоће [3].

1.1. Историјски развој

Лепљење је један од најстаријих начина спајања материјала. У почетку су се користили лепкови на бази биљног и животињског порекла, који су се добијали од коже и костију животиња, а улогу згушњавања имали су угљени хидрати, добијани од житарица и поврћа (слика 1.1) [1].



Слика 1.1 Кромпир и пшеница богати угљеним хидратима [1]

Најстарији докази о коришћењу лепка, датирају од пре 200 000 година, пронађених у Италији, где је камени врх копља лепљен за дрвену дршку катраном, добијеним од брезине коре. Лепак од брезине коре био је једноставан, једнокомпонентни лепак, са добрим лепљивим својствима, али веома крт и подложен утицајима околине. Прва употреба сложенијих, по саставу, лепкова, откривена је у Јужној Африци, где су пронађени камени сегменти стари 70 000 година, који су били уметани у секире, прекривени лепком, сасављеним од латекса (сок који отпушта гумено дрво, при засецању коре) (слика 1.2) и црвеног окера (природни оксид гвожђа), јер је додавањем окера, спој материјала био јачи, а биљна гума заштићена од временских услова [1,4].



Слика 1.2 Латекс [1]

Могућност производње лепкова са ојачаним својствима, омогућило је људима из средњег каменог доба, да спајају камен и остале материјале у више комбинација, што је довело до развоја нових алата. За време старог Вавилона, око 6000 година пре нове ере, коришћени су лепкови од животињских костију за лепљење керамике. Почетком нове ере, Грци и Римљани су дали велики допринос развоју лепкова, што је утицало на већу употребу дрвета у конструисању предмета, попут лукова и намештаја, чији је радни век био повећан употребом лепкова на бази казеина (млечни протеин) (слика 1.3) [1].



Слика 1.3 Припрема и наношење казеина за лепљење [1]

Римљани су били први људи, за које се знало, да су користили катран и пчелињи восак (слика 1.4) за заптивање дрвених дасака на бродовима и другим објектима.



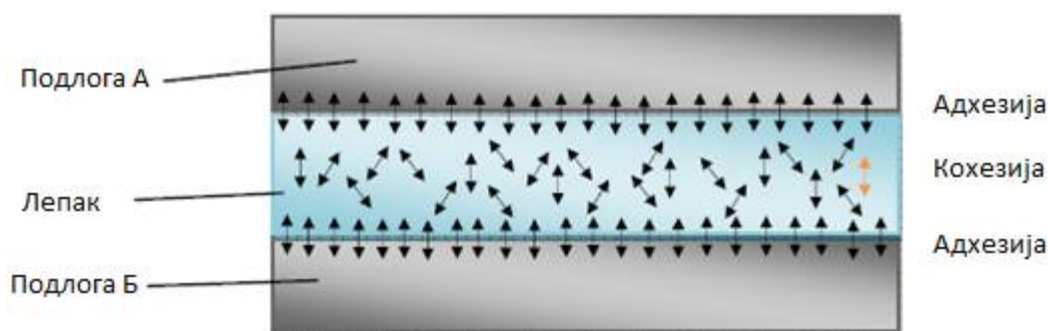
Слика 1.4 Пчелињи восак [1]

У средњем веку, у Европи, користило се беланце из јајета за израду украсних пергамената са златним листићима. Развој модерних лепкова почео је 1690. године, оснивањем прве комерцијалне фабрике лепка у Холандији. Ова фабрика је производила лепкове од животињске коже. Око 1750. године, Британци су направили рибљи лепак. Након тога, за израду лепка се користило мноштво других материјала, попут костију, скроби, рибље коже и мехура, казеина и других. Од половине 19. века, у медицини су почели да се користе фластери (лепљење засновано на природном каучуку). Све до краја 19. века су се користили лепкови биљног и животињског порекла. Услед наглог индустријског развоја у 20. веку, долази и до развоја лепкова и технологије лепљења. У периоду између два светска рата, дошло је до наглог развоја производње вештачких полимера, а сходно томе и употреба полимера као саставних материја лепкова. Прво су се користиле фенолформалдехидне, па затим аминске, полиметакрилне, полиестерске, епоксидне и полиуретанске смоле. После Другог светског рата, развила се и теорија лепљења, па је тако технологија лепљења добила на додатној важности [1,4].

1.2. Механизам лепљења

Механизам лепљења функционише на принципу дејства две врсте привлачних сила, које се јављају у лепљеном споју (слика 1.5), и то:

1. Адхезија
2. Кохезија



Слика 1.5 Адхезионе и кохезионе везе у лепљеном споју [5]

1.2.1. Адхезија

Адхезија је стање у ком се две површине држе заједно, посредством дејства међусобних привлачних сила, услед интеракције молекула и атома на обе површине. Адхезионе привлачне силе омогућавају добро приањање лепка на површинама на које се наноси. Адхезија се може поделити на неколико делова, и то [5]:

- адсорпција,
- хемијско повезивање,
- механичко блокирање,
- дифузија и
- електростатичко повезивање.

Адсорпција

Адсорпција представља најважнији механизам за постизање адхезије. Адсорпција је појава да се на површини фазе, повећава или смањује концентрација појединих компонената, при чему долази до смањивања слободне енергије граничне површине. Најучесталије површинске силе које се јављају код адсорпције су Ван дер Валсове силе и Левисова интеракција киселина-база (слика 1.6) [5].



Слика 1.6 Приказ Ван дер Валсове везе [5]

Најважнији услов за остваривање доброг лепљеног споја је квашење (влажење) површине. Квашење је процес успостављања константног контакта између адхезива и адхенда (површина на коју се наноси лепак). Добра влажност се јавља када се лепак улије у поре и пукотине на површини подлоге. Теорија влажења објашњава да адхезија настаје из молекуларног контакта између два материјала и површинских сила које се развијају.

Хемијско повезивање

Овај механизам дефинише формирање адхезионе везе преко површинских хемијских сила (слика 1.7). Ковалентни и јонски спојеви формирају се између адхезива и адхенда, који су јачи од дисперзионих привлачних сила.

Постоје четири типа интеракција које се одвијају током хемијског повезивања: ковалентне везе, воденикове везе, Лифшиц-ван дер Валсове силе и интеракције база-киселина. Ковалентне и јонске везе су примери хемијског везивања, које обезбеђују много веће вредности адхезије, од оних веза које обезбеђују секундарне силе. Секундарно валентно везивање заснива се на слабијим физичким силама, које су изражене водениковим везама. Ове силе више су заступљене у материјалу који садржи поларне

групе, као што су групе карбоксилних киселина, него у неполарним материјалима као што су полиолефини [5].

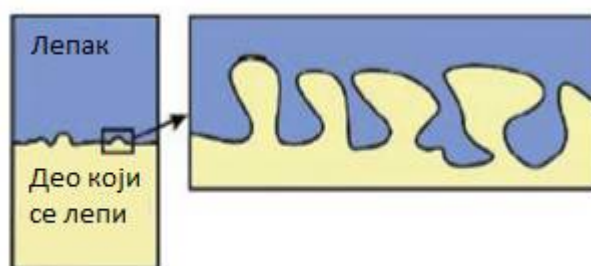


Слика 1.7 Приказ хемијског повезивања [5]

Механичко блокирање

Према овој теорији, адхезија се одвија продирањем лепка у поре, шупљине и друге површинске неправилности површине која се лепи (слика 1.8). Овај механизам је специфичан за порозне материјале, као што су дрво, папир, текстил и сл. Код материјала високе густоће, попут метала и керамике, због немогућности дифузије молекула лепка у површину материјала за лепљење, долази до адсорпције молекула лепка на ту површину. Другим речима, молекули адхезива бивају привучени на лепљену површину. Да би дошло до механичког блокирања, морају бити испуњена два услова [6]:

- лепак мора добро оквасити површину која се лепи и
- лепак мора бити довољно ниске вискозности да би могао попунити шупљине и из њих истиснуо ваздух.

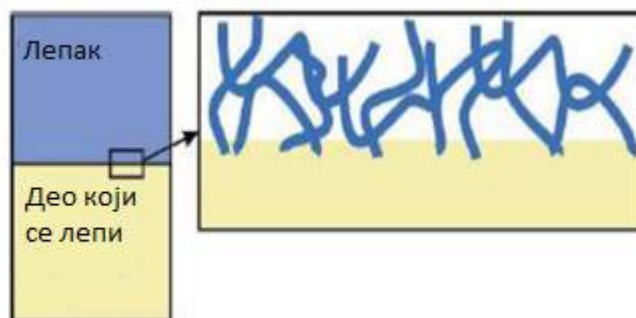


Слика 1.8 Приказ механичког блокирања [5]

Дифузија

По дифузионој теорији, адхезија се развија кроз интердифузију молекула између лепка и адхенда (слика 1.9). Теорија дифузије примарно се примењује када су и лепак и адхенд полимери са релативно дугим ланцем молекула, способним за кретање. Природа материјала и услови везивања утичу на то, да ли се и у којој мери, одвија дифузија. Постоје и други фактори који утичу на процес дифузије, а то су [5]:

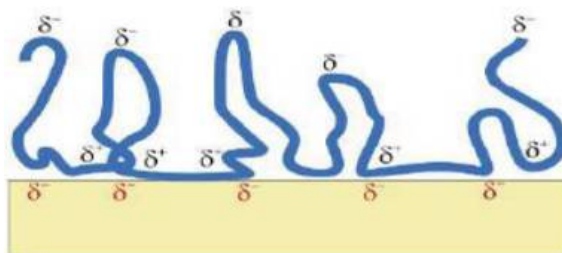
- време додир,а,
- температура,
- молекуларна маса полимера (лепка) и
- стање полимера (лепка).



Слика 1.9 Приказ процеса дифузије [5]

Електростатичко повезивање

Електростатичка теорија објашњава да услед разлике у електронегативности између лепка и материјала површине која се лепи, долази до стварања електростатичких сила, које својим деловањем доприносе чврстоћи лепљеног споја (слика 1.10). Ова теорија се може приказати на примеру спајања органског полимера и метала, где долази до преноса електрона из метала у полимер и до стварања тзв. „дуплог електричног слоја“ (енг. *electrical double layer*) [5].



Слика 1.10 Електростатичко повезивање [5]

1.2.2. Кохезија

Кохезија је привлачна међуатомска или међумолекуларна сила која делује између суседних честица материје. Кохезија представља унутрашњу чврстоћу лепка. Кохезионе привлачне силе омогућавају постизање довољне чврстоће лепка у очврслом стању [5].

1.3. Важни фактори за успешну употребу лепкова

На квалитет залепљеног споја утичу многи фактори, међу којима се истичу храпавост површина које се лепе, чистоћа тих површина, геометријски чланови лепљеног споја (дужина и ширина преклопа, дебљина делова који се лепе, дебљина слоја лепка), врста лепка, експлоатацијски услови и један од најважнијих фактора, адхезија. Што је већа површина на коју се наноси лепак, то има више остварених адхезијских веза, а самим тим је и чврстоћа лепљеног споја већа. Неки од спољашњих и унутрашњих фактора који утичу на адхезију су [7,8]:

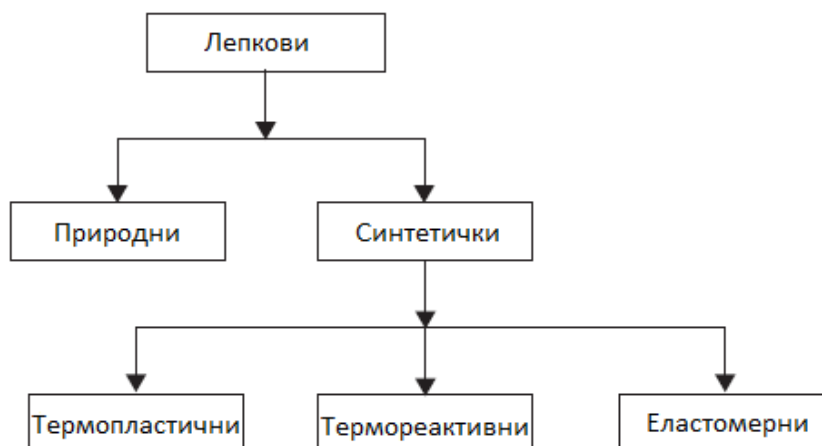
- нормални напони (силе које делују нормално на раван лепка; обично се не сусрећу при спајању пластичних делова, металних лимова, коже и др.),
- смицање (силе које делују у равни лепка; чисто смицање се ректо сусреће у залепљеним склоповима),

- удар (минимална сила која је потребна да би дошло до оштећења лепљеног слоја),
- раздвајање (силе које дејствују на једном крају чврсто спојеног споја, које теже раздвајању спојених елемената),
- замор (дуготрајна промена оптерећења током времена),
- спољашњи хемијски фактори (утицаји хемијских средстава, попут слане воде, бензина, уља, киселина итд.),
- изложеност временским условим (влага, сунце, температурна разлика итд.) и
- оксидација (изложеност споја утицају кисеоника).

2. Поделе и врсте лепкова

2.1. Поделе лепкова

Постоји велики број поделе лепкова, а неке од значајнијих су подела према функцији, хемијском саставу, механизму очвршћавања, физичком облику, начину примене. У основи, све врсте лепкова се могу поделити у неколико група, приказаних следећом табелом (слика 2.1).



Слика 2.1 Основна подела лепкова [9]

2.1.1. Подела лепкова према функцији

Лепкови се, према функцији, могу поделити на структурне и неструктурне лепкове [9].

Структурни лепкови су материјали велике чврстоће и трајности. Генерално, структурни лепкови су дефинисани као они, који имају чврстоћу смицања већу од 7 МПа и отпорни су на најчешће радне средине. Њихова примарна функција је држање спојева заједно и отпорност на велика оптерећења без деформација.

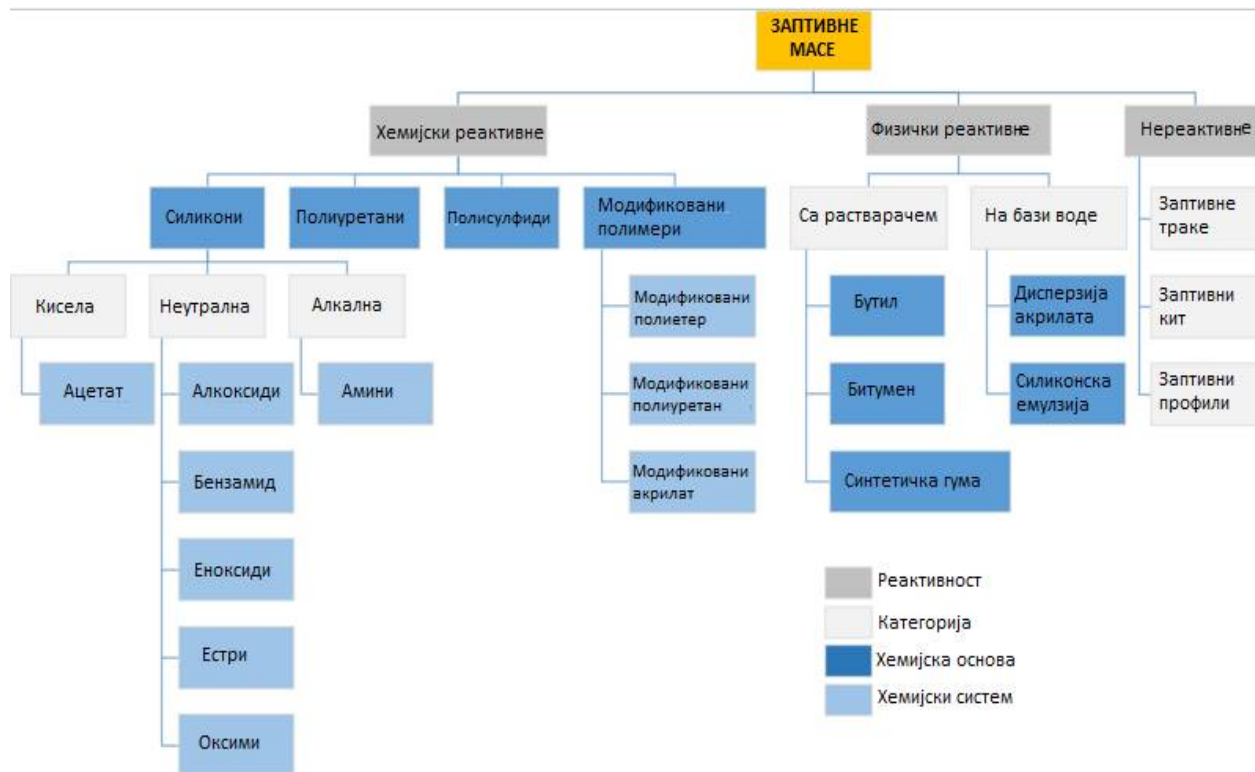
Неструктурни лепкови, на супрот структурним, су лепкови који не могу издрже значајна оптерећења, па се самим тим користе за спајање лакших материјала, који нису изложени већим деформацијама. Под умереним оптерећењем, код неструктурних лепкова, долази до пузања и често се деградирају под дуготрајном изложеношћу околини. Често се користе за привремено или краткорочно причвршћивање. Одређени лепкови осетљиви на притисак, врели топителји и лепкови за емулзију воде су примери неструктурних лепкова, јер имају умерено ниску чврстоћу на смицање, високо пузање и слабу отпорност на топлоту и хемикалије. Неструктурни лепкови се понекад користе са другим причвршћивачима, укључујући механичке причвршћиваче. У овој примени, адхезивна веза се сматра секундарним причвршћивачем. Комбинацијом ових лепкова и причвршћивача, омогућује се мањи број комада потребних за причвршћивање, као и пригушење вибрација, заптивање и изолација.

Посебна врста лепкова, која нема функцију лепљивости, већ служи за заптивање различитих спојева, су **масе за заптивање** или **заптивне масе**.

Заптивне масе су први пут коришћене у праисторији, као мешавина блата, траве и трске, за заштиту домова од временских прилика. Природна заптивна средства су била

прављена на бази биљне смоле, попут смоле од бора и брезе, битумена, воска, катрана, латекса, глине, кречног малтера, крви и јаја. Од 1920. године, развијене су прве заптивне масе од полимера (акрилних, бутил и силиконских). До шездесетих година прошлог века, широко су се примењивали заптивачи на бази синтетичких полимера.

Заптивне масе немају функцију лепка, осим неких специјалних врста које имају лепљиве особине и називају се лепљивим или структурним заптивачима. Главна разлика између лепка и заптивних маса је у томе што заптивне масе обично имају мању чврстоћу и веће издужење од лепкова. Када се заптивне масе употребљавају између подлога које имају различите топлотне коефицијенте ширења или различитог издужења под напрезањем, оне морају имати одговарајућу флексибилност и издужење. Обично имају конзистенцију пасте, како би се омогућило попуњавање празнина између подлога [33].

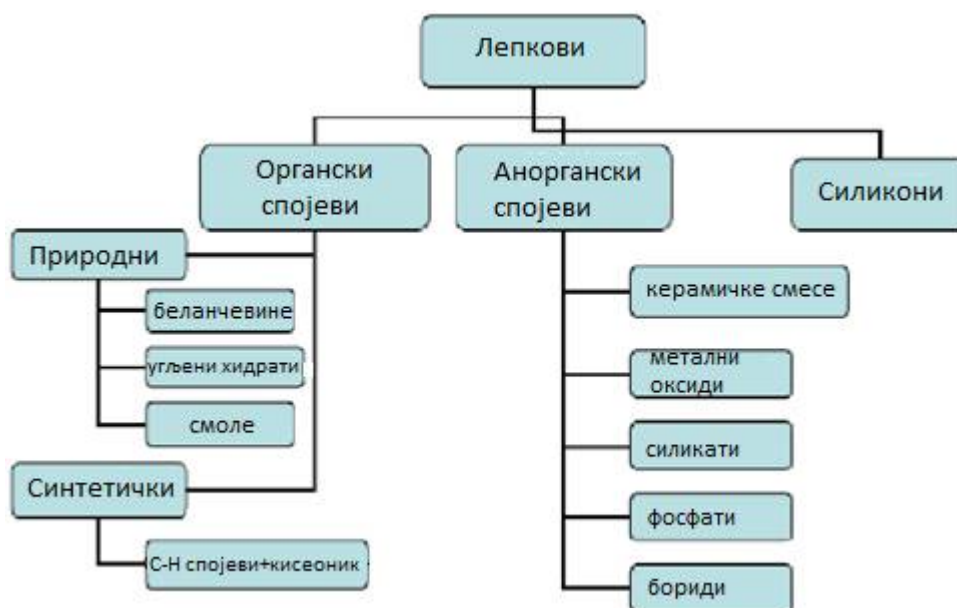


Слика 2.2 Подела заптивних маса[33]

2.1.2. Подела лепкова према хемијском саставу

Основна подела лепкова, према хемијском саставу, је на (слика 2.3) [10]:

- органске спојеве,
- анорганске спојеве и
- силиконе.



Слика 2.3 Подела лепкова према хемијском саставу [10]

Лепкови на органској основи познати су од давнина, али се у новије време ретко користе, због ниске чврстоће, слабе постојаности на старење и непогодности лепљења метала. У последње време, користе се за лепљење папира, картона и дрвета.

Лепкови на аногранској основи постојанији су на повишеној температури, и за разлику од органских леповка, имају знатно већу чврстоћу. Ову врсту лепкова представљају мешавине силицијумовог диоксида, натријум карбоната, борне киселине, алуминијумског диоксида и додатака никла, гвожђа и бабра. Највећа чврстоћа споја се постиже на температурама изнад 400 °С.

Силикони (полисилоксани) су полимери који се производе као флуиди смоле или еластомера. Делимично су органска једињења, али не садрже угљеник, већ се састоје од наизменичних атома силицијума и кисеоника. Код већине силикона, две органске групе везују се за сваки атом силицијума.

Следећа подела лепкова је на термореактивне, термопластичне, еластомерне лепкове и комбинација наведених врста лепкова (хибриди) [9].

Термореактивни лепкови су материјали који се не могу загревати и растапати након почетног очвршћавања. Под дејством топлоте, настала веза може омекшати, али се не може вратити у течно стање, које је постојало пре отврдњавања. Ови адхезиви се, генерално, разграђују и слабе након загревања на довољно високим температурама. Термореактивни адхезивни системи очвршћују неповратном хемијском реакцијом, на собној или повишеној температури, у зависности од типа лепка. Ова хемијска реакција се често назива умрежавање. Умрежавање које се дешава у реакцији очвршћавања, настаје повезивањем два линеарна полимера, што резултира тродимензионалном крутом хемијском структуром.

Термопластични лепкови се разликују од термореактивних лепкова, по томе што се могу растопити без значајних промена у њиховим својствима. Термопласти су првобитно чврсти полимери, који се по потреби загревају и растапају. Пошто термопластични молекули не стврдњавају у умрежену структуру, могу се растопити и нанети на супстрат. Термичко старење, које настаје поновним излагањем високим температурама, узрокује деградацију материјала оксидацијом, што ограничава број циклуса поновног загревања. Материјали који се најчешће везују су неметали, нарочито дрво, кожа, пластика и папир.

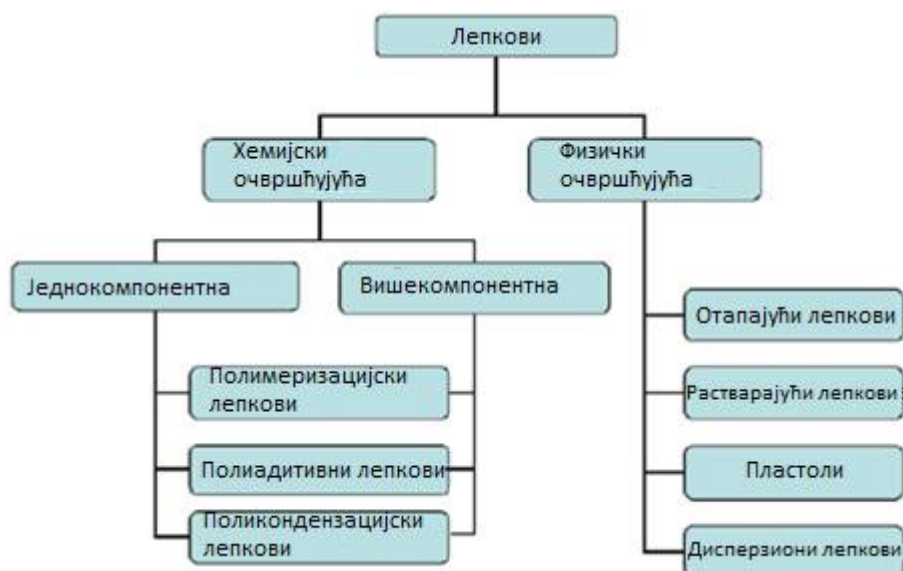
Еластомерни лепкови се заснивају на синтетичким или природно насталим еластомерним полимерима, који имају велику жилавост и елонгацију. Ови адхезиви су направљени од полимерних смола, које су способне за висок степен ширења и скупљања. Након престанка дејства оптерећења, враћају се брзо у првобитне димензије и облик. Еластомерни адхезиви имају карактеристике велике апсорпције енергије и нуде високу чврстоћу у спојевима који имају неједнако оптерећење. Ова врста лепкова користи се за заптивање, пригушивање вибрација и звучне кутије.

Хибридни лепкови се добијају комбиновањем термореактивних, термопластичних и еластомерних лепкова, спајањем у једну целину. Хибриди су развијени како би се добио лепак који се одликује најбољим карактеристикама од наведених врста лепкова. Ови лепкови имају широку примену, нарочито у ваздухопловној и транспортној индустрији.

2.1.3. Подела лепкова према механизму очвршћавања

Лепкови се, према механизму очвршћавања, деле на (слика 2.4) [6,11]:

- хемијски очвршћујући лепкови (хемијски везиви лепкови) и
- физички очвршћујући лепкови (физички везиви лепкови).



Слика 2.4 Подела лепкова према механизму очвршћавања [14]

Хемијски очвршћујући лепкови су направљени на бази епоксида, полиуретана, фенола, акрила и полиестера, као вештачке смоле. Битан састојак ове врсте лепка је катализатор, чији је задатак да изазове хемијску реакцију која доводи до стварања макромолекуларних мрежа полимера, а настаће након спајања основне смоле и катализатора, који су под утицајем температуре, влаге или UV зрака. Због таквог начина спајања, називају се двокомпонентни лепкови. Хемијски очвршћујући лепкови се деле на:

- полимеризацијске лепкове,
- полиадитивне лепкове и
- поликондензацијске лепкове.

Полимеризацијски лепкови могу бити једнокомпонентни или двокомпонентни, а поспешују се катализатором. Брзина реакције катализатора се регулише његовом количином у лепку, као и температуром околине. Најпознатији полимеризацијски лепкови су: цијаноакрилни, анаеробни, метакрилни лепкови и лепкови који очвршћују под утицајем зрачења.

Цијаноакрилни лепкови су једнокомпонентни лепкови који су крти и крути, па су због тога погодни за лепљење мањих површина. То су лепкови који лепе у „тренутку“. Залепљени предмет је спреман за употребу већ након неколико секунди, а температура примене је до 100°C (слика 2.5).



Слика 2.5 Приказ цијаноакрилног лепка „Delta Cyno110“ [36]

Анаеробни лепкови су лепкови у течном облику, све док су у контакту са кисеоником, што је једна од предности ове врсте лепка. Вишак који исцури приликом лепљења лако се отклања, јер је лепак због кисеоника у течном стању. Спојеви лепљени анаеробним лепком су отпорни на ударце и вибрације (слика 2.6).



Слика 2.6 Приказ анаеробних лепкова „Loctite“ [37]

Полимеризација зрачењем очвршћујућих лепкова одвија се под деловањем катализатора, а ту улогу имају азотни спојеви.

Метакрили су полимеризацијски једнокомпонентни или двокомпонентни лепкови (слика 2.7). Њихова предност је неосетљивост на масне површине, имају једноставну примену и брзо очвршћују, па су због тога погодни за лепљење крутих материјала. Осим лепљења крутих материјала, погодни су и за лепљење материјала различитог топлотног ширења (метал-стакло).



Слика 2.7 Приказ метакрилног лепка „Cybercryl“ I [38]

Полиадитивни лепкови су лепкови који се састоје од минимално две компоненте које међусобно реагују. Основу ове врсте лепкова чине епоксид и полиуретан.

Епоксидни лепкови се састоје од епоксидне смоле и умреживача. Ови лепкови дају чврсте и трајне спојеве, а очвршћавање је могуће убрзати повишеном температуром. Температура примене је до 120°C (слика 2.8).



Слика 2.8 Приказ епоксидног лепка „151“ [39]

Полиуретански лепкови су жилави и еластични лепкови који се користе за веће површине. Добро приањају на различите површине, постојани су на високим температурама, а посебно се истичу флексибилношћу код ниских температура (слика 2.9).



Слика 2.9 Приказ полиуретанског лепка „Titebond“ [40]

Поликондензацијски лепкови су лепкови који очвршћавају на такав начин, да морају елиминисати текућу примесу из лепка под деловањем притиска од $0,5 \text{ N/mm}^2$ и температуре око 150°C . Примеса може бити вода или алкохол. Најпознатији поликондензацијски лепкови су: формалдехиди, полиамиди, полиестери, силикони, полибензимидазоли и полисулфони.

Међу **физичким очвршћујућим лепковима**, најпознатији су *отапајући лепкови*, који врло брзо очвршћују, не садрже растварач, нису штетни за околину и поуздани су при коришћењу. Како су ови лепкови из групе пластомера, склони су деформацијама при повишеним температурама.

Растварајући (растапајући) лепкови су лепкови за чију обраду је потребан испаравајући органски растварач, који не улази у слој лепка. У ову групу лепкова спадају влажни лепкови, контактни лепкови, приањајући лепкови и врући печатни лепкови.

Пластоли су нерастапајући лепкови, који очвршћују при температурама између 150 и 180°C . Врло су флексибилни, тешко се љуште и не поседују високу чврстоћу.

Дисперзиони лепкови настају испаравањем течне фазе из водених дисперзионих средстава, у којима се налазе чврсте честице полимера, које након тога стварају лепљиви слој.

2.1.4. Подела лепкова према физичком облику

Широко распрострањен метод разликовања лепкова је њихов физички облик. Лепкови су, према физичком облику, доступни у више облика [9]:

- вишекомпонентни без растварача (течност или паста),
- једнокомпонентни без растварача (течност или паста),
- једнокомпонентни са растварачем (течност) и
- чврсти (прах, трака, филм).

Разлика између пасте и течног лепка је углавном у вискозности и начину примене. Течни лепкови су флуиди, који се могу наносити у танким филмовима. Они имају тенденцију да теку, шире се и опуштају током очвршћавања, посебно на повишеним температурама, када се њихов вискозитет додатно смањује. Пасте су чврсти, често тиксотропни¹ системи, који се морају наносити одговарајућом опремом, као што су лопатица или пиштољ за заптивање. Лепкови у облику пасте се примењују за попуњавање

¹ Тиксотропни- системи који постају све гушћи, што се више мешају

ззора и друге врсте везивања, где је отпорност на увијање важна током очвршћавања лепка.

Вишекомпонентни лепкови без растварача, обично захтевају мешање пре употребе. Већина може да очврсне на ниским температурама или у краћем времену на повишеним температурама. Једном промешани, ови лепкови имају ограничени радни век. Како се смеша суши, вискозност се повећава до те мере да се више не може применити. Ако систем лепљења има велику егзотерму, радни век такође зависи од масе мешавине која је мешана. Течни вишекомпонентни лепкови могу се користити у свим везивним операцијама, без обзира на величину, облик и приањање подлога. Вискозност адхезива генерално одређује како ће се наносити. Пасте имају високу вискозност за примену на вертикалним површинама, са мало опасности од улегнућа или капања.

Једнокомпонентни лепкови без растварача се испоручују у стању спремном за примену. Већина ових система термички отврдњава или отврдњава реакцијом влаге у ваздуху. Неки системи очвршћавају под ултравиолентним, анаеробним или неким другим каталитичким механизмом реакције. Користе се у многим производним операцијама, јер нема потребе за мешањем, а нема ни отпада. Већина лепкова ове врсте садрже латентни учвршћивач, који активира и очвршћава лепак при повишеним температурама. Време потребно за очвршћавање може бити неколико секунди до неколико сати, у зависности од температуре околине (слика 2.10). Полиуретани и силикони отврдњавају реакцијом влаге у ваздуху.



Слика 2.10 Крива очвршћавања једнокомпонентног лепка на собној температури [18]

Једнокомпонентни лепкови са растварачем користе органски растварач за смањење вискозности, ради лакше примене. Наносе се прскањем, потапањем или четком, али растварач се мора уклонити, пре него што дође до очвршћавања споја. Системи за лепљење који садрже раствараче, морају имати начин да допусте да растварач изађе из споја. До елиминисања растварача долази његовим испаравањем пре спајања или ако је један од делова порозан, растварач може да испари кроз поре.

Чврсти лепкови се најчешће јављају у облику праха, траке и филма. Главне предности ових лепкова су у томе што мерење и мешање нису потребни, а могу се наносити једнолико на подлогу, без икаквог отпада. Тако су чврсти лепкови присутни у многим производним системима. Термопластични и термореактивни лепкови могу бити формулисани као чврсти системи.

2.2. Врсте лепкова

2.2.1. Лепкови биљног и животињског порекла

Лепкови биљног и животињског порекла укључују лепкове на бази биљака, животиња и природне гуме. Ту спадају органске материје, као што су: казеин, крв, албумин, кожа, риба, скроб, смола, асфалт, шелак² и неоргански лепкови, као што је натријум силикат. Њихова употреба, осим неорганских лепкова, углавном је ограничена на папир, картон, фолију и неке врсте дрвета. Јефтини су, лако се наносе и имају дуг рок трајања. Већина је растворљива у води и користи воду као растварач. Испоручују се као течности или суви прашкови, који се мешају са водом [12].

Лепкови животињског порекла

Постоје два главна типа животињског лепка, лепкови од костију и лепкови од коже животиња (туткало и албумински лепак). Оба типа се добијају хидролизом колагена у кожи и везивном ткиву или коштане структуре сировина. Основни производни поступци за животињске лепкове обично укључују алкалну предобраду (за лепкове од коже) или предобраду киселином (за лепкове од костију) [12].

Туткало је макромолекул колагена, који даје тврде и желатинске масе, а када је диспергован у води, даје колоидни раствор туткала (слика 2.11). Колаген је протеин који се налази у костима, рожнатим деловима, везивном ткиву и кожи рогатих животиња (најчешће говеда). Постоје две основне врсте туткала, туткало из костију и туткало из коже. Туткало је производ светло жуте боје, без мириса. Производи се у виду гранула као топли лепак и у течном стању, спремном за употребу. Растворљив је само у води, док је у уљима и органским растварачима нерастворљив. Користи се првенствено за спајање дрвета. Еколошки је прихватљив.



Слика 2.11 Туткало у виду желатинских гранула [24]

Албумински лепак се добија употребом албумина из животињске крви (крвни албумин), а ређе од беланчевина јаја (јајни албумин). Поступком дехидрације животињске крви на ниској температури, добија се тамноцрвени прах, без укуса и мириса, који садржи албумин и до 10% воде. На температури од око 60°C, албумин се згрушава, а на преко 70°C стврдњава се и не може се растварати у води. За добијање овог лепка, прах албумина се убацује у воду собне температуре и када лепак довољно набубри, поступно се долива кречно млеко, а затим се та мешавина загрева до 30°C. На овај начин се добија смеша у виду желатина, која се може одмах употребити. Може се употребити у времену од 6 до 7 часова, после чега долази до стврдњавања и неупотребљивости лепка.

² Шелак- органска смола коју лучи инсект *laccifera lassa*, приликом сисања сока из различитих врста дрвета.

Лепкови биљног порекла

У ову групу спадају лепкови који се добијају из протеина разних биљака, растварањем природних смола, скроба из житарица, поврћа и других.

Казеински лепак је беланчевина, која се добија из куваног млека, када се из њега издвоји масноћа. Издвајање се врши загревањем млека на 40 до 45°C и поступним уливањем десетопроцентног раствора сумпорне киселине, при чему долази до издвајања и таложења казеина. Овако добијен, казеин се прво добро испира, а затим суши (слика 2.12). Казеински лепак се примењује у индустрији боја, за лепљење папира, а нарочито за лепљење дрвета. За лепљење фурнирских плоча, употребљава се у комбинацији са каустичном содом. Казеински лепак даје чврсте, трајне и отпорне везе, сличне спајањем туткалом. Предност у односу на туткало је та што је постојанији на влази, а са разним додацима може постати потпуно отпоран на влагу.



Слика 2.12 Казеин у прашастом облику [25]

Скробни лепак је лепак који се добија издвајањем скроби, углавном од семена житарица и кромпира. Скроб је смеша полисахарида, амилозе и амилопектина. Настаје фотосинтезом у листовима биљака. Лепкови на бази скроба припремају се директно пред употребу, тако што се одмери количина скроба и неке супстанце, која има антисептичка својства, затим се тој мешавини додаје одређена количина воде на температури од 35 до 40°C и уз непрекидно мешање, смеша се даље загрева до температуре од око 70°C, све док се не добије полупровидан раствор. Скробни лепак се најчешће користи за лепљење папира и картона, као и у столарским пословима (слика 2.13).



Слика 2.13 Скробни лепак спреман за употребу [26]

2.2.2. Лепкови синтетичког порекла

Под синтетичким лепковима се подразумевају лепкови који се не добијају коришћењем природних сировина. Сви структурни лепкови спадају у групу синтетичких

лепкова. Синтетички лепкови се могу поделити на органске и полимерне синтетичке лепкове [15].

Органски синтетички лепкови имају највећу примену у аутомобилској индустрији. Ту спадају:

Хлоропрен лепкови, произведени из вештачког каучука. Отпорни су на уље и воду и могу се употребити за лепљење делова који раде на температури испод 60°C.

Лепкови на бази бутапрена, са додатком изоцијанида (до 5%) имају отпорност на вишим температурама (до 80°C, а краткорочно и до 100°C). Ови лепкови се користе за спајање лимова и гумених простирки, као и за спајање комбинација лим- гумени заптивачи, лим-кожа, лим- PVC, дрво- кожа, стакло-филц. Пре наношења лепка, неопходно је одмашћивање спојних површина. На површину материјала који тешко прима лепак, обично се наноси један слој, док се на површину која га лако упија, наноси два слоја. Други слој се наноси после 20 минута. Пожељно је притиснути делове након постављања у жељени положај. Максимална јачина лепљеног споја постиже се након истека од 72h.

Полимерни синтетички лепкови се израђују од синтетичких смола и целулозе. Могу бити термореактивни (дуропласти) и термопластични.

Термореактивни лепкови очвршћавају после загревања. Израђују се од различитих врста смола. Ту спадају:

Епоксидни лепкови – употребљавају се за стакло, керамику, челик и дрво.

Фенолни лепкови – добијају се од смоле и формалдехида, отврдњавају истовременим дејством топлоте и притиска. Користе се за лепљење абразивних материјала за папирну основу (шмиргл папир, траке за полирање, сл.). Такође, од фенолних смола праве се лепкови за метале. Испоручују се у облику прашка и у течном стању.

Меламин-формалдехид лепкови – активирају се само под притиском и топлотом. Понекад се комбинују са уретанском смолом, како би се добио водоотпоран лепак за укрштено дрво.

Полиуретански лепкови – користе се за лепљење дрвета, метала и пластике.

Полиестерски лепкови – полимеризују се мешањем везивих смола и стирена. Варирају од групе врло чврстих лепкова до тестасто желатинске масе. Отпорни су и нерастворљиви у води, али нису термо постојани.

Силиконски лепкови – користе се заједно са лепковима на бази каучука, за лепљење пластике, метала, керамике, у широком дијапазону радних температура.

Термопластични лепкови (пасте) се одликују тиме, што при накнадном загревању поновно омекшавају. Израђени су од целулозе, акрилата и поливинила. У овој групи лепкова се налазе:

Полихлорпропен (неопрен) лепкови – најшире коришћени термопластични лепкови. Испоручују се у течном облику, а комбинују се са пуниоцем за ојачавањем и агенсом за стврдњавање. Ови лепкови се мешају непосредно пре употребе.

Поливинил алкохол лепкови – употребљавају се као заштитне превлаке, али и као лепкови за папир, кожу и текстил. Поливинил ацетат лепкови намењени су за превлачење гумених трака, бродске опреме и за лепљење порозних и непорозних материјала (стакло, метал).

Поливинил бутил лепкови – употребљавају се за израду вишеслојног сигурносног стакла.

Акрилати – акрилати, као што су луцит и плексиглас, растварају се у ацетону и у том облику употребљавају. Етил акрилни лепак може бити коришћен за лепљење притиском, пошто је гибак и увек задржава добру приоњивост за основни материјал.

2.3. Додаци лепковима

Додаци лепковима могу бити они који омогућавају или побољшавају производњу лепка и који побољшавају употребну вредност лепљеног споја [13].

У додатке који омогућавају или побољшавају производњу лепка спадају:

Растварачи – користе се за лепкове који се прерађују у течной фази (не користе се за отапајуће лепкове). Многи лепкови за дораду папира се заснивају на води, а лепкови засновани на еластомерима и пластомерима користе органске раствараче (метил-ацетат, ацетон, метанол, бензен, тоунел).

Разлагачи – то су пластомерне, лепљиве компоненте, лако топљиве у лепку. Природне лепљиве компоненте делимично су нетопљиве, због своје надмолекуларне структуре. Да би се превеле у водене скупове, користе се разлагачи. Разлагачи су материје које делују хидрирајуће и омогућују лакши улазак воде у макромолекуле. То су хидрати и соли алкалних метала (NaOH, сода), соли које делују хидрирајуће (хлориди Zn, Ca), киселине које уз хидратацију делимично и разграђују материјале, као и неки ензими.

Угушћивачи – материје које у отопљеном стању имају врло високу вискозност (поливинил алкохол, алкалне соли), додају се за повећање концентрације основне лепљиве компоненте, јер са повећањем вискозности лепка, побољшава се његова прерада.

Емулгатори – материје топљиве у води, које диспергованим честицама дају одређени електрични набој и омогућују стабилну дисперзију лепка. Недостатак код овог додатка је то што током дисперзије, због присуства емулгатора, долази до појаве пене у лепку.

Стабилизатори – материје које одлажу непожељне промене на макромолекулима (промене које би смањиле употребну вредност лепка). Најчешће се користе френоли и амини. Стабилизатори који одлажу разградњу су хлорисани макромолекуларни спојеви.

Конзерванси – материје које у потпуности могу спречити или инхибирати раст микроорганизама. Додају се лепковима од природних сировина, који су погодни развоју микроорганизама (као што су плесни и бактерије млечно киселинског врења).

Средства против пењења – лепковима који имају мању површинску напетост и већу површинску вискозност, додају се површинске активне материје, мале површинске вискозности.

Средства за квашење – Од лепка се захтева добро квашење, односно натапање површина које се лепе, па се из тог разлога додају средства за квашење. Она се шире на граници фаза само у мономолекуларном споју, па би их требало додавати у малим количинама.

Додаци који побољшавају употребну вредност лепљеног споја су:

Омекшивачи или пластификатори – како би између спојених површина слој лепка био гибак и савитљив, често се додају пластификатори, што повећава чврстоћу приањања. То су растварачи чији се молекули уграде у макромолекуле основне компоненте лепка (за лепкове природног порекла, то су често молекули воде, па њих би требало задржати у слоју лепка).

Пуниоци – то су круте, нелепљиве материје које појефтињују лепак и побољшавају његову употребну вредност. Користе се fine, влакнасте материје (дрвено и кожно брашно, прашина од вуне и др.)

Средства за отврђивање или ојачивачи – изазивају повећање макромолекула основне компоненте лепка, што ствара иреверзибилни слој лепка, који више ниједан растварач не може вратити у првобитни облик.

3. Технологија лепљења

3.1. Избор лепка

При избору лепка, потребно је познавати својства материјала делова који се спајају, првенствено њихову порозност и карактеристике површина. Такође, потребно је познавати технолошка својства лепка, попут начина и брзине квашења површине, износа и брзине достизања коначне кохезијске чврстоће, специфичне адхезије на додирним површинама, применљивост у постојећим условима. Код избора лепка, требало би водити рачуна и о економским факторима, као што су цена и потребна маса лепка по јединици површине. Требало би обратити пажњу на стезање при стврдњавању, које мора бити што мање. Исто тако, лепак не сме бити крући од материјала делова у склопу [2].

Табела 3.1 Избор лепка према материјалу површине који се лепи [6]

Материјал	ЕП	МА	ПУ	ЦА
Алуминијум и легуре	хх	х	х	х
Челик и легуре гвожђа	хх	х	х	х
Нерђајући челик	хх	х	х	х
Полиамид (ПА)	х	х	х	х
Поликарбонат (ПК)	х	хх	х	х
Полиолефински пластомери (ПЕ,ПП)		хх		х
Поли (метил метакрилат) (ПММА)	х	хх	х	х
Поли (винил хлорид) (ПВЦ)	х	хх	х	х
Поли (етилен терефталат) (ПЕТ)	х	хх	х	х
Стиренски пластомери (ПС,АБС)	х	хх	х	х
Полиуретани (ПУР)	х	хх	хх	х
Епоксидни композити	хх	хх	х	х
Фенални композити	хх	хх	х	х
Полиестерски композити	хх	хх	х	х
Дрво	х	хх	хх	х
Текстил				х

При чему су:

- х — може се употребљавати
- хх — препоручљиво употребљавати
- ЕП — епоксидни лепкови
- МА — метакрилни лепкови
- ПУ — полиуретански лепкови

- ЦА – цијаноакрилни лепкови

Постоји неколико основних фактора који утичу на избор лепка, приказаних на слици 3.1:



Слика 3.1 Важни аспекти који утичу на избор лепка [14]

При избору лепка у производњи, врло је битно да ли се ради о појединачној или серијској производњи. За производњу једног комада, потребна је знатно мања количина лепка, а могу се користити разна учвршћења. Код серијске производње, било да се ради о малосеријској или вишесеријској производњи, учвршћивачи се најчешће не могу користити. Требало би размотрити која ће врста наношења лепка се применити, ручно, механичко или аутоматизовано [2].

3.2. Припрема површина за лепљење

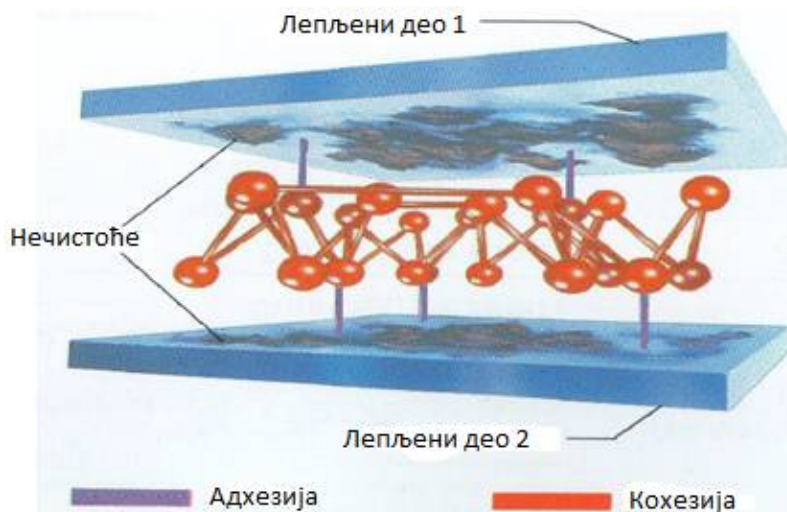
Припрема површине за лепљење врши се у циљу повећања приањајућих сила између површина залепљених делова и слоја лепка. Припремом површина, побољшава се отпорност лепљеног споја на атмосферске промене, побољшава се хемијска постојаност, као и отпорност према различитим врстама оптерећења. Припрема се врши помоћу неколико могућих поступака, а то су [2]:

- чишћење и одмашћивање,
- механичка припрема површине,
- топлотна припрема површине,
- електрична припрема површине,
- хемијска припрема површине,
- припрема зрачењем и
- облагање другим материјалом.

Наведеним поступцима, повећавају се важне међумолекуларне силе у граничном слоју између лепка и површине залепљених делова. Адхезионе везе су делотворне само, ако је површина приањања чиста, охрапављена и одмашћена. Уколико спој није правилно очишћен и на себи има присутне честице масти, уља, корозије или друге прљавштине, лепак се не може повезати са основним материјалом, тј. адхезионе везе се не могу формирати, па је чврстоћа споја знатно мања, него код правилно очишћеног споја. У том случају, врло је могуће да ће доћи до адхезијског лома, тј. један део или цела страна

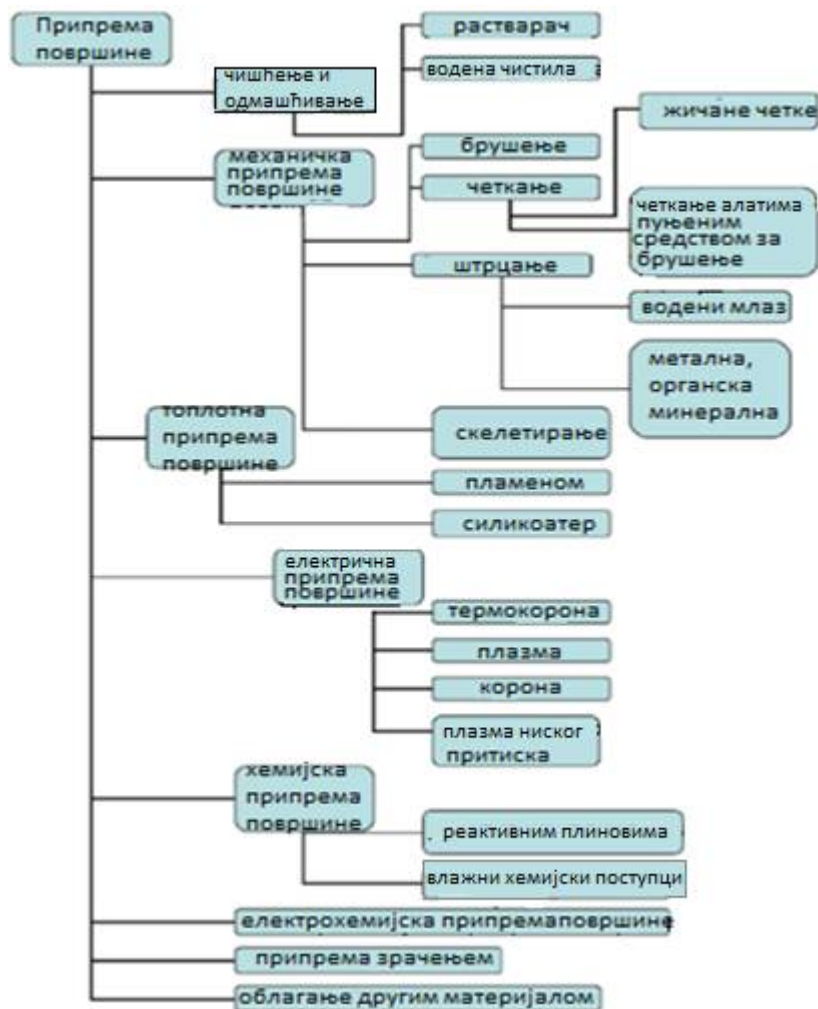
лепљеног споја ће се у потпуности одлепити. Лепљени спој је чвршћи што је темељније спроведено чишћење површина, а адхезионе везе се могу значајно повећати [14]:

- скидањем неодговарајућег површинског слоја материјала механичком обрадом или одмашћивањем и
- стварањем новог, активног површинског слоја хемијским поступком.



Слика 3.2 Утицај нечистоћа на адхезију и чврстоћу споја [27]

Шематски приказ начина припрема површине приказан је на слици 3.3.



Слика 3.3 Шематски приказ начина припреме површине [14]

Чишћење и одмашћивање

Чишћењем површине уклањају се: корозија, боје и лакови и прљавштина. Поступак се изводи брушењем или чишћењем. Чишћење је један од основних предуслова за постизање очекиване чврстоће споја.

Одмашћивање површине врши се у циљу постизања добре повезаности. Помоћу овог поступка, отклањају се масноће и уља, а као средства се користе органски растварачи или алкални раствори за чишћење. Одмашћивање се сматра поступком који је обавезно спровести пре лепљења. Позната средства која се користе су: халогени угљоводоници попут трихлоретилена³, перхлореилена и метиленхлорида, а не препоручује се коришћење алкохола и засићених угљоводоника, попут бензина или петролеја. При избору одговарајућег раствора за одмашћивање, потребно је водити рачуна о томе да не дође до негативних промена на материјалу, попут стварања мехурића [2,14].

Механичка припрема површине

Механичка припрема површине може се обавити већ приликом производње делова за лепљење или приликом додатне механичке припреме брушењем, четкањем или млазним

³ Трихлоретилен- органско једињење, најчешће се користи као растварач многих органских једињења.

поступцима. Механичко чишћење може се обавити ручно, машински или млазом абразива.

Ручно чишћење је поступак који обухвата жичане четке или брусни папир. Сам поступак не даје довољно чисту површину, а и временски дуго траје. Најчешће се користи на местима где је отежан приступ машинском чишћењу (слика 3.4) [34].



Слика 3.4 Жичана четка за ручно чишћење површина [34]

Машинско чишћење је поступак који је бољи од ручног чишћења површина. Предност је та што је могућ бржи рад и боља припрема површине. Обавља се помоћу ротирајућих челичних плоча најчешће (слика 3.5).



Слика 3.5 Приказ машинског чишћења површина [10]

Чишћење површине млазом абразива може се изводити помоћу каменог песка, силицијум карбида, алуминијумовог оксида или челичне сачме. Као најјефтинији начин спровођења поступка чишћења је пескарење помоћу каменог песка. Међутим, код овог поступка јавља се велики недостатак, а то је да се приликом коришћења, песок претвара у ситну прашину, коју радник удише и тако штети свом здрављу (слика 3.6).



Слика 3.6 Приказ чишћења површине помоћу каменог песка [10]

3.3. Припрема лепка

Пре наношења, лепкови се морају на одређени начин припремити. Код лепкова који хемијски реагују, то је по правилу мешање, по саставу, зависних компоненти. Код лепкова који очвршћују на физички начин, ради се о хомогенизовању раствора лепка. Реолошка својства лепка су важна за производњу и понашање лепљених спојева. Она одређују способност лепка да се, у зависности од времена, равномерно распореди по површини [10].

Важан фактор за квашење површине лепком је вискозност. Вискозност неког лепка темељи се на молекуларном саставу. Припремом лепка, коефицијент вискозности се доводи на жељени ниво, што је један од услова за постизање равномерне и континуалне дебљине лепка на површини која се лепи. У случају мале вискозности, додају се средства за згушњавање, а у случају велике вискозности, додају се одговарајући растварачи, како би се вискозност смањила.

3.3.1 Мешање лепка

Приликом мешања лепка, потребно је постићи два циља [10]:

- 1 Промена физичких својства лепка, што се постиже додавањем згушњивача или растварача. При томе треба узети у обзир:
 - избегавање ваздушних мехурића код лепка високе вискозности и
 - избор одговарајућег растварача погодног за одређени састав.
- 2 Остваривање хемијске реакције до очвршћавања, при чему се разликују два основна типа реакција:
 - реакције до којих долази додавањем очвршћивача (убрзавач, катализатор), који се у мањим количинама додају основном мономеру и
 - реакције до којих доводе две компонентне основних мономера. Важна ствар за те две компоненте је да се оне, при употреби лепка, равномерно и хомогено распоређене. При реактивности компоненти које се мешају, долази до одређеног ослобађања топлоте. При томе важе следеће законитости:
 - састави који очвршћују на хладном, имају краће време очвршћавања (секунде, минути, сати),
 - састави који очвршћују на топлотом, имају дуже време очвршћавања (сати, дани, седмице) и
 - хлађењем се време очвршћавања може продужити.

3.3.2 Наношење лепка

Лепак се може наносити на различите начине, који се бирају према димензијама делова за лепљење, вискозности лепка и према врсти производње. Начини на које се лепак може наносити су: прскање, умакање, наношење ваљком, наношење лопатицом, мазање итд.

Без обзира на начин наношења лепка, потребно је узети у обзир следеће:

- лепак треба наносити непосредно након површинске обраде,
- избегавати кондензоване слојеве влаге на површини делова за лепљење,
- одржавати равномерну дебљину лепка избором параметара, притиска и температуре,

- наносити лепак на оба дела за лепљење, што омогућава равномерно квашење и стварање граничних слојева,
- лепкове са растварачем, који се брзо суше, наносити на оба дела за лепљење,
- ако лепак садржи растварач, предвидети најкраће време сушења и
- након наношења лепка, потребно је осигурати непокретност лепљених делова помоћу стезача.

Ручно наношење лепка

Ручно наношење лепка један је од најстаријих начина наношења. Може се изводити помоћу четке и ваљака. Предност се огледа у могућности доброг утрљавања и доброг пријањања лепка, ниских трошкова и није потребна квалификована радна снага. Недостатак ручног наношења је неједнакост дебљине нанесеног слоја лепка. Наношење ваљком се ретко примењује, због лошег утрљавања лепка у подлогу (слика 3.7).



Слика 3.7 Ручно наношење лепка четком [10]

Наношење лепка млазницама

Наношење лепка млазницама омогућава већу брзину рада и прикладно је за серијску производњу. Најважнији део уређаја, који се користи за овај поступак наношења, назива се пиштољ, кроз чију се млазницу потискује лепак, помоћу компримованог ваздуха. Лепак се усисава из посуде на врху или дну пиштоља помоћу створеног потпритиска, а затим га компримовани ваздух распршује по објекту. Предност овог поступка је велики капацитет и брзина рада, уз могућност наношења различитих дебљина слојева у једном прскању (слика 3.8).



Слика 3.8 Пиштољ за наношење лепка [35]

Наношење лепка ваљцима

Наношење лепка ваљцима је савремени и високо аутоматизовани поступак, којим се на површину наносе уједначени филмови лепка. Притом се дебљина слоја лепка регулише уз помоћ ножева или размаком и брзином окретања ваљака.

3.4. Обликовање лепљених спојева

Обликовање лепљених спојева у великој мери утиче на његову носивост. Највећи утицај има врста споја, односно да ли је у питању једноструки преклоп, двоструки преклоп или сучеони спој. Параметри који такође значајно утичу на носивост споја су дебљина и површина места лепљења.

У једноструком преклопном споју, осим напрезања на смицање, јавља се и нормално напрезање услед савијања. Због тога је ова врста споја лошија од двоструког преклопног споја. На носивост лепљеног споја утиче и дужина преклопа. Највећа носивост се постиже при оптималној дужини преклопа. Свако даље повећање дужине преклопа смањује носивост споја. Дијаграм на слици 3.9 приказује зависност носивости лепљеног споја од дужине преклапања [14].



Слика 3.9 Зависност носивости лепљеног споја од дужине преклапања [14]

Опадање носивости са повећањем дужине преклопа, може се објаснити утицајем концентрисаних напрезања на крајевима преклопног споја. Исто тако, носивост лепљеног споја опада са порастом дебљине слоја лепка. Оптимална дебљина слоја лепка креће се од 0,05 до 0,1 mm, што зависи од врсте лепка који се користи.

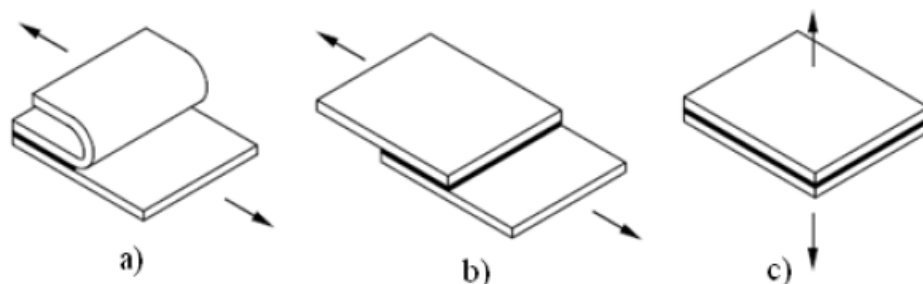
Носивост лепљеног споја зависи и од својства материјала који се лепе. Код једноструког преклопног споја, са порастом дебљине материјала који се лепе, расте и његова носивост. Међутим, то се догађа само до постизања граничне вредности дебљине материјала, након чега даље повећање дебљине не доноси већу носивост (слика 3.10) [14].



Слика 3.10 Лепљени преклопни спој лимова, A-површина лепљеног споја; l- дужина; s- дебљина лима [17]

Лепљене спојеве требало би обликовати тако, да су по могућности изложени смичућем напрезању. Као допуштено напрезање, узима се око 30 до 50% ломне чврстоће лепљеног споја. У обзир би требало узети и радну температуру, као и различито

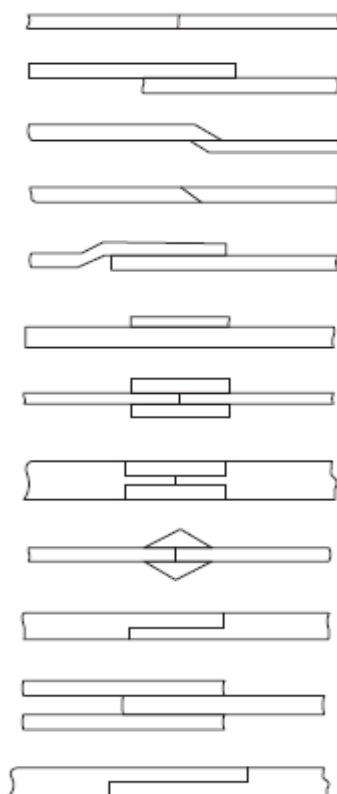
понашање различитих врста лепка. Код хладних лепкова, у већој мери пада чврстоћа споја на вишим радним температурама, него код топлих лепкова. Лепљени спојеви се никако не би смели обликовати тако да дође до љуштења лепљеног споја или да спој буде напрегнут на затезање. На слици 3.11 приказане су неке врсте обликовања, од којих је пример у средини једини правилно обликован [14].



Слика 3.11 а) љуштење споја; б) спој напрегнут на смицање; с) спој напрегнут на затезање [28]

Осигурање довољних површина за лепљење

Лепкови обично имају знатно мању чврстоћу у поређењу са деловима који се лепе, па је потребно осигурати довољно површине за лепљење. Повећањем површине лепљења, постиже се довољна чврстоћа лепљеног споја. Како би се повећала површина лепљења, користе се различити преклопни спојеви, код којих је могућа једноставна промена површине лепљења (слика 3.12) [14].



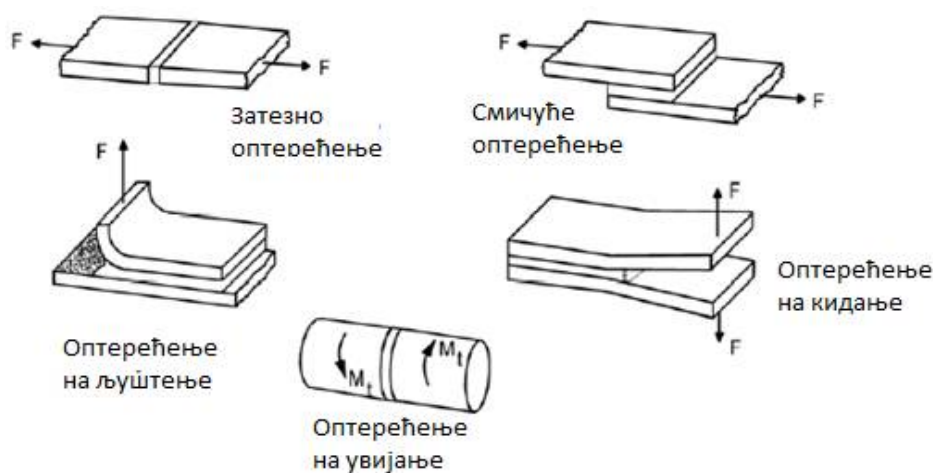
Слика 3.12 Неки од могућих облика преклопних лепљених спојева[9]

Смањење напрезања

Једноструки преклопни спојеви, који се најчешће користе, имају проблем ограничене носивости, због напрезања које се јавља на рубовима преклапања. Та напрезања се могу смањити или елиминисати прикладним конструкцијским обликовањима:

- механичким ојачањем споја,
- савијањем,
- повећањем крутости,
- повећањем лепљене површине и
- додатним заковицама и вијцима.

Већа оптерећења се могу избећи спречавањем настанка момената савијања, који доводе до нормалних напрезања. Препоручује се примена геометрије која елиминише овај ефекат, што се постиже двоструким преклопним спојем, двоструким преклопним спојем са подметачем и спојем са уметком. Исто тако, препорука је избегавати цепање, постављањем додатних заковица или вијака на почетак преклапања [14].



Слика 3.13 Најчешће врсте оптерећења различитих лепљених спојева [14]

4. Својства лепкова и лепљених спојева

4.1. Својства лепкова

Површински напон

Да ли ће се неки материјал лакше или теже залепити, зависи од површинског напона, односно од слободне површинске енергије. Површински напон је настојање течности или чврстог тела, да постигне што повољније енергетско стање, смањењем слободне површинске енергије. Молекули који се налазе у унутрашњости течности или чврстог тела, својим привлачним силама привлаче молекуле са површине, смањујући тако број молекула који остају на површини, око којих се ствара додатни простор и на тај начин молекули на површини постижу већу енергију. Управо, количина енергије, коју садрже молекули на површини, има главну улогу у томе, хоће ли способност неког тела за лепљење бити велика или мала.

Слободна енергија лепљеног материјала мора бити већа или бар једнака слободној енергији лепка, да би се остварило успешно лепљење. Полимерни материјали имају мале вредности слободне површинске енергије, што је узрок томе да се неки полимери врло тешко могу залепити, а понекад и никако не могу залепити [14].

Табела 4.1 Слободне површинске енергије неких полимера и метала [14]

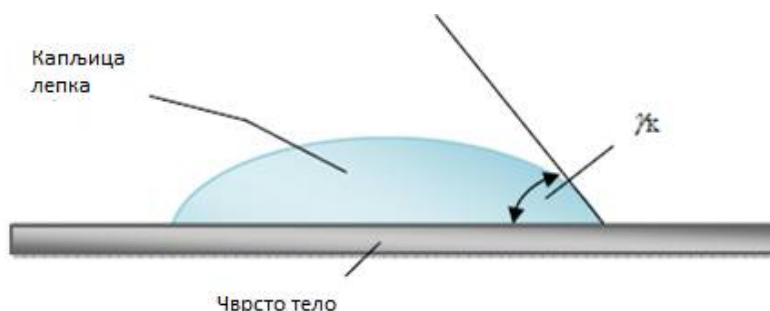
СЛОБОДНА ПОВРШИНСКА ЕНЕРГИЈА					
Ниска		Средња		Висока	
ПОЛИМЕРИ		ПОЛИМЕРИ		МЕТАЛИ	
ПТФЕ	18 mJ/m ²	ПММА	38 mJ/m ²	Олово	450 mJ/m ²
Силикони	24 mJ/m ²	ПВЦ	40 mJ/m ²	Цинк	750 mJ/m ²
ПП	29 mJ/m ²	АБС	42 mJ/m ²	Алуминијум	840 mJ/m ²
ПЕ	31 mJ/m ²	Фенолна гума	42 mJ/m ²	Бакар	1100 mJ/m ²
		Полиуретан	43 mJ/m ²	Гвожђе	2030 mJ/m ²
		РА66	46 mJ/m ²	Волфрам	6800 mJ/m ²
		СБР (гума)	50 mJ/m ²		
				Керамика	300-500 mJ/m ²

Као што се може видети са табеле 4.1, полимери имају мале и средње вредности површинске енергије, за разлику од метала, који се боље лепе, управо из разлога што имају јако високе вредности слободне површинске енергије. Како би се повећао енергетски ниво и на тај начина повећала способност лепљења, полимерни материјали се

често подвргавају различитим хемијским, електричним и термичким поступцима обраде површине.

Квашење површине

Способност лепка да оствари потпуни додир са обе површине за лепљење, назива се способност квашења. Квашење је мера привлачности између течности (лепка) и површине материјала. Када је угао квашења једнак нули ($\gamma_k = 0$), течност се слободно распршује по површини и потпуно кваси површину (слика 4.1). Како би се постигло то, да лепак оствари потпуни контакт са обе површине и при томе продре у све поре и неравнине површине, наноси се у течном стању и подвргава потребном притиску. Да би се смањила могућност заосталих напрезања, током очвршћавања, лепак не би требало знатно да мења своју запремину [14].



Слика 4.1 Угао квашења површине [14]

4.2. Својства лепљених спојева

На својства слоја лепка, нанешеног на површине за лепљење, као и на чврстоћу таквог споја, у великој мери утичу следећи елементи: модул еластичности, модул клизања, пузање, кристална структура и нехомогеност слоја лепка.

Модул еластичности

Различита зависност температуре лепка и подлоге, узрок је значајним разликама у деформацијским карактеристикама те две компоненте. Табела 4.2 приказује како модул еластичности зависи од услова очвршћавања [14].

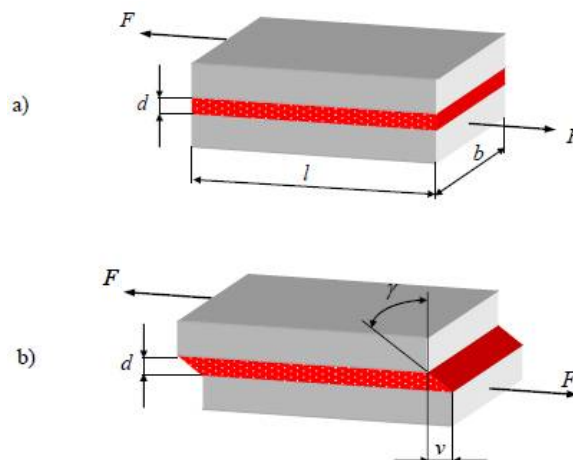
Табела 4.2 Зависност модула еластичности од услова очвршћавања [14]

Температура, °C	Време, h	Модул еластичности, N/mm ²
80	2,5	1400
120	2,5	1800
160	2,5	2100
80	10	1800
120	10	2600
160	10	2800

Модул клизања

Модул клизања представља однос смичућег напрезања (τ) и њему одговарајуће угаоне деформације (γ) [14].

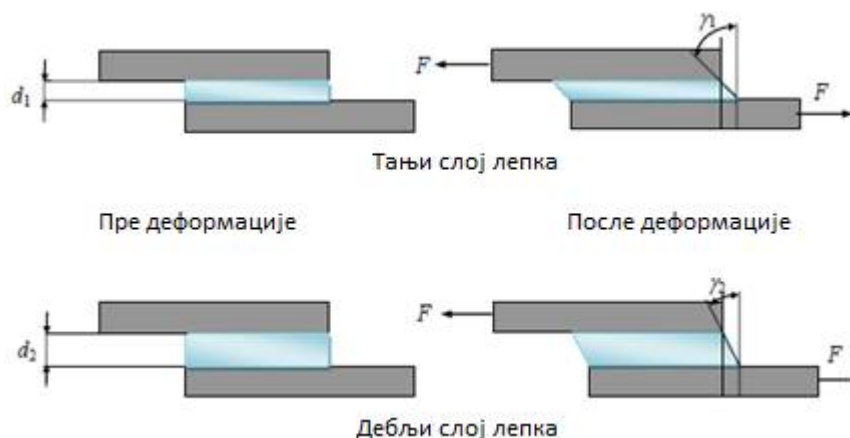
$$G = \tau / \gamma \dots\dots\dots (4.1)$$



Слика 4.2 Деформације услед напрезања на смицање; а) недеформисано стање, б) деформисано стање [14]

Деформација у великој мери зависи од дебљине слоја лепка. Дебљи слој лепка, уз исто спољашње оптерећење, узрокује мањи угао смицања (γ). Према томе, могло би се закључити да дебљи слој лепка даје већу чврстоћу споја, што није тачно, јер дебљи слој лепка узрокује:

- пораст момента савијања, због кога на крајевима преклапања долази до нормалног напрезања, односно напрезања због љуштења,
- повећану могућност попречне контракције (сужење пресека у односу на танке слојеве лепка) и
- појаву стезања и нехомогености код дебљих слојева лепка.

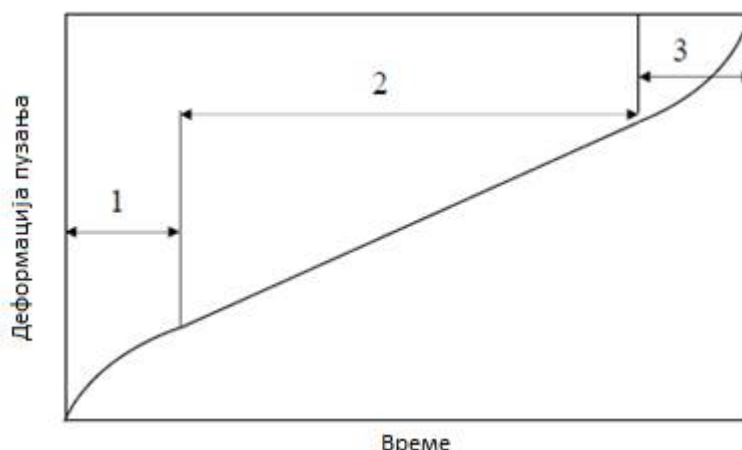


Слика 4.3 Зависност деформације слоја лепка и његове дебљине [14]

Пузање

Пузање је временски зависна деформација високоеластичних материја при константном оптерећењу. До пузања долази услед попуштања неких веза међу

молекулима лепка. Високоеластична својства лепкова карактеристична за пузање, могу бити линеарна и нелинеарна.



Слика 4.4 Подручја пузања слоја полимерних лепкова [14]

Подручја означена на слици 4.4 представљају:

- 1 – подручје примарног (прелазног) пузања
- 2 – подручје секундарног (стационарног) пузања
- 3 – подручје терцијалног (убрзаног) пузања

Подручје примарног пузања карактерише деформација молекуларне структуре, а осим код полимерних лепкова, јавља се и код аморфних кристалних лепкова. За подручје секундарног, односно стационарног пузања, карактеристична је стална брзина пузања, при чему долази до одређеног одвајања молекула. У подручју терцијалног, односно убрзаног пузања, долази до коначног пузања лепљеног споја [14].

Кристална структура лепка

Кристалну, односно делимично кристалну структуру, имају само пластомерни лепкови након очвршћавања, док су дуромерни лепкови најчешће аморфни. Кристална структура знатно утиче на чврстоћу лепљеног споја, на начин да већи удео кристалне структуре повећава чврстоћу и модул еластичности лепка у чврстом стању [14].

Нехомогеност слоја лепка

Због присуства ваздуха или остатака растварача, у структури лепка у чврстом стању, јављају се многе неправилности које смањују чврстоћу споја. Иако снижавају чврстоћу слоја лепка, знатно повећавају отпорност на љуштење [14].

4.3. Начини одређивања карактеристика лепкова и лепљених спојева

За одређивање карактеристика лепкова и лепљених спојева, развијени су и утврђени различити поступци испитивања за оцену лепљивих спојева, укључујући ISO (међународна организација за стандардизацију), EN (Европски комитет за организацију) и ASTM (Америчка заједница за тестирање и материјале) стандарде.

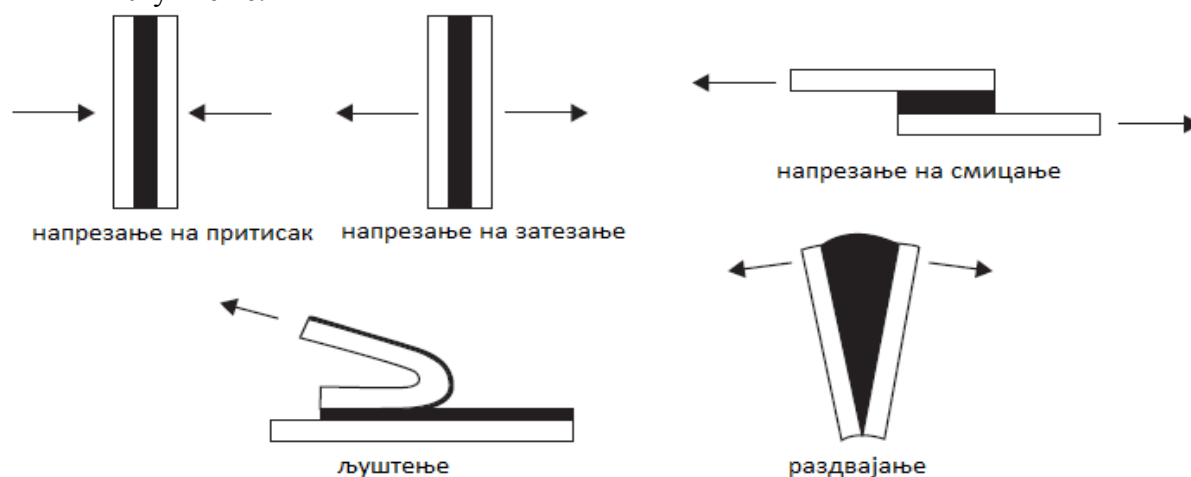
Док неки поступци испитивања захтевају софистицирану опрему за процену карактеристика лепљених спојева, други протоколи испитивања могу представљати једноставна средства за процењивање карактеристичних својстава споја.

Основни поступци за оцену својстава очврслих лепкова укључују:

- анализа напона и напрезања основног узорка,
- одређивање температуре стакленог прелаза⁴ (T_g), динамичком механичком термоанализом (DMTA) или динамичком скенирајућом калориметријом⁵ (DSC),
- одређивање коефицијента топлотног ширења (СТЕ) и
- температурна отпорност термогравиметријом⁶ (TG).

Механичка испитивања лепљивих спојева могу се поделити према врсти механичког напрезања, која се јављају у лепљеном споју:

- напрезање на притисак,
- напрезање на затезање,
- напрезање на смицање,
- раздвајање и
- љуштење.



Слика 4.5 Механичка испитивања лепљених спојева

У погледу времена трајања теста, могу се применити следећи услови испитивања:

- краткотрајни тестови,
- дугорочни статички тестови,
- тестови удара и
- циклично оптерећење (тестови замора).

Механичка испитивања често се комбинују са горе наведеним временским тестовима, ради процене трајности лепљених спојева. Тестови за убрзано старење обично укључују једно, или комбинацију следећих стања:

- влага,
- урањање у воду или друге течности,
- повишена температура,
- корозивно окружење и

⁴Стаклени прелаз - постепени прелаз у аморфне материјале, из тврдог и релативно кртог стања, у вискозно или гумено стање, са порастом температуре.

⁵ Калориметрија- мерна метода за одређивање количине топлоте.

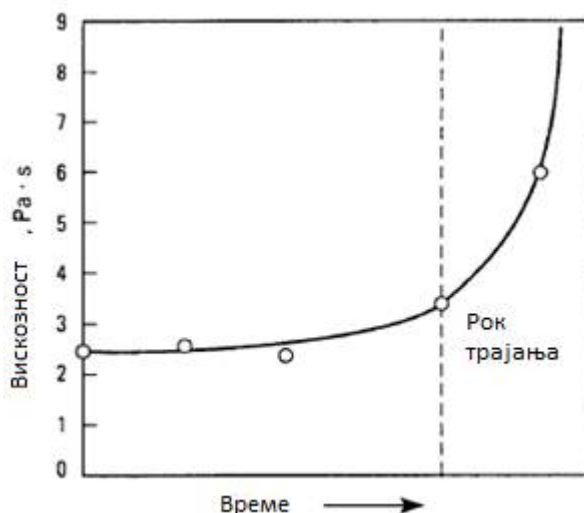
⁶Термогравиметрија - начин одређивања хемијског састава узорка, један од поузданијих начина.

— излагање UV зрачењу.

4.4. Чување лепкова

Начин чувања лепкова може утицати на квалитет везе и пре њиховог коришћења. Упутства која приписују произвођачи за складиштење лепкова, обично се налазе у техничким билтенима, који описују одређени лепак или заптивно средство. Као опште правило, све лепкове и заптивне масе требало би чувати на сувом и хладном месту, све док не дође време за њихову употребу. Одређени лепкови су врло толерантни на услове складиштења, али одређене врсте захтевају чување на ниским температурама или у посебним условима. На неке врсте лепкова утиче светлост или влага, а неким врстама је потребно периодично мешање, да би се осигурало да се неке компоненте не би таложиле на дну [8].

При складиштењу органских смола, због изложености температури, влази, светлости или другим окружењима, вискозност система ће бити подложна променама. Након што се прекорачи рок складиштења, систем ће бити превише вискозан за употребу или ће бити неупотребљив при одвајању његових компоненти. На слици 4.5 приказана је промена вискозности лепка, услед повећања времена његовог складиштења на собној температури. Обично је рок трајања изабран тако да се већина промене вискозности догоди одмах након истека рока трајања лепка [8].



Слика 4.6 Промена вискозности лепка у функцији времена [8]

Три нивоа температуре складиштења су уобичајена за лепкове: собна температура (15-25°C), фрижидер (1-5°C) и замрзивач (0- (-20)°C). Уопштено, лепкови који се испоручују као вишекомпонентни састави, имају дуг рок трајања и могу се складиштити дуго. Обично се могу чувати 6 до 12 месеци на собној температури, а понекад и дуже. Једнокомпонентни системи, где се катализатор и основна смола комбинују у истом производу, углавном захтевају складиштење у фрижидеру или замрзивачу, у зависности од врсте коришћеног катализатора и реактивности система. Ови системи могу имати век складиштења од неколико недеља или месеци, под одређеним условима [8].

Требало би узети у обзир сигурно складиштење лепкова и заптивача који садрже запаљиве, корозивне или отровне материје. Многи органски растварачи су запаљиви, а одређени лепкове ће створити велику количину топлоте уколико реагују. Из тог разлога, различите посуде, које се користе за два или три дела материјала, требало би складиштити одвојено, како би се спречило случајно мешање компоненти у случају изливања.

Опаснији лепкови требало би да се чувају у посебној згради, одвојено од главне зграде или складишта у постројењу. Одвојена зграда се препоручује, ако треба да се одложи више посуда запаљивих лепкова. Складиште би требало бити изграђено од материјала отпорних на ватру, са зидовима од опеке или цигле и са инсталираним системом за гашење пожара [8].

4.5. Предности и недостаци спајања лепљењем

Предности спајања лепљењем су [6,9]:

- могућност спајања делова од различитих врста материјала,
- уједначена расподела напрезања у поређењу са другим поступцима спајања,
- могућност спајања материјала који нису погодни за спајање класичним поступцима (заваривање, лемљење, закивање, вијчани спој...), као што су композити, порозни материјали, посебне легуре и др.
- спречавање настанка галванске корозије металних делова који се спајају,
- истовремено заптивање на месту спајања,
- добра динамичка својства: постојаност на замор, пригушивање вибрација,
- смањен утрошак материјала због мање масе,
- нема уношења топлоте на месту споја,
- могућност спајања великих површина,
- могућност прецизног спајања врло малих површина,
- могућност спајања врло танких делова и делова различитих дебљина,
- могућност једноставног комбиновања са другим поступцима спајања,
- једноставно аутоматизовање поступка спајања,
- врло економичан начин спајања за појединачну производњу и мање серије и
- површине лепљених спојева су глатке, за разлику од осталих поступака спајања (главе вијака и заковица, вар).

Недостаци спајања лепљењем су [6,9]:

- релативно ниска ударна жилавост и чврстоћа љуштења споја,
- опасност од попуштања споја, због неједнаког топлотног ширења делова који се лепе,
- потребна је пажљива припрема површине која се лепи,
- потребно је осигурати добру адхезију лепка на подлогу,
- при високим температурама, чврстоћа опада,
- отежано растављање спојева без разарања,
- поступак лепљења није могуће поуздано контролисати,
- повећана опасност за здравље и сигурност при лепљењу,
- већина лепкова, при трајном статичком оптерећењу, склона је пузању и
- неке врсте лепкова захтевају дуже време за потпуно очвршћавање.

4.6. Лепкови и животна средина

Лепкови на бази растварача имају растварач као своју течну базу, за разлику од лепкова на бази воде, који имају воду као основну течност. Неки растварачи су запаљиви, многи су отровни, већина брзо испарава, а чишћење и руковање обично захтевају посебне мере предострожности. Лепкови на бази растварача користе се у многим производним процесима, попут аутомобилске индустрије, производње обуће, индустрије намештаја и грађевинарству. Упркос својој свестраности, један од главних проблема ових лепкова је тај, што они штетно делују на животну средину. Они могу на бројне начине негативно утицати на екосистем и здравље људи и животиња [16].

Загађење ваздуха

Растварачи су штетни за квалитет ваздуха. Удисање паре из брзоиспаравајућих лепкова представља озбиљне ризике за здравље, попут астме и плућних болести. Растварачи који често улазе у тело, могу се задржавати у ћелијама дуго времена, изазивајући тако различите врсте обољења [16].

Загађење воде

Загађење воде може бити проблем, посебно са дисперзивним лепковима (емулзијски лепкови). Отпад из ових лепкова, као и лепкова на бази растварача, није лако биоразградљив. У прерађивачкој индустрији, он се може елиминисати заједно са вишком талога, биоразградљивим постројењима за пречишћавање вода. Међутим, ако растварачи доспеју у воду и контаминирају је, то може довести до уништења животињског света и могуће контаминације воде за пиће (слика 4.7) [16].



Слика 4.7 Контаминација воде посредством остатка лепка [16]

Загађење земљишта

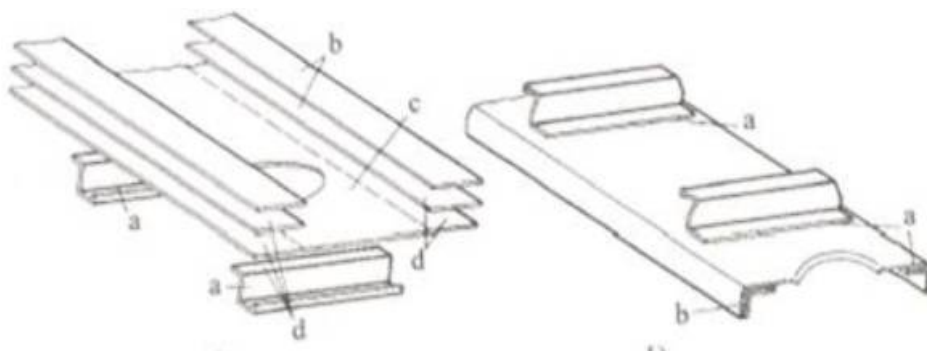
Када се течни остаци лепка неадекватно депонују у постројењима за сакупљање опасног отпада, они могу контаминирати тло и после неког времена подземне воде. То може довести до уништавања флоре и фауне и опасних здравствених ризика за сва жива бића која су у контакту са тим отпадом [16].

5. Примена лепка

5.1. Транспортна индустрија

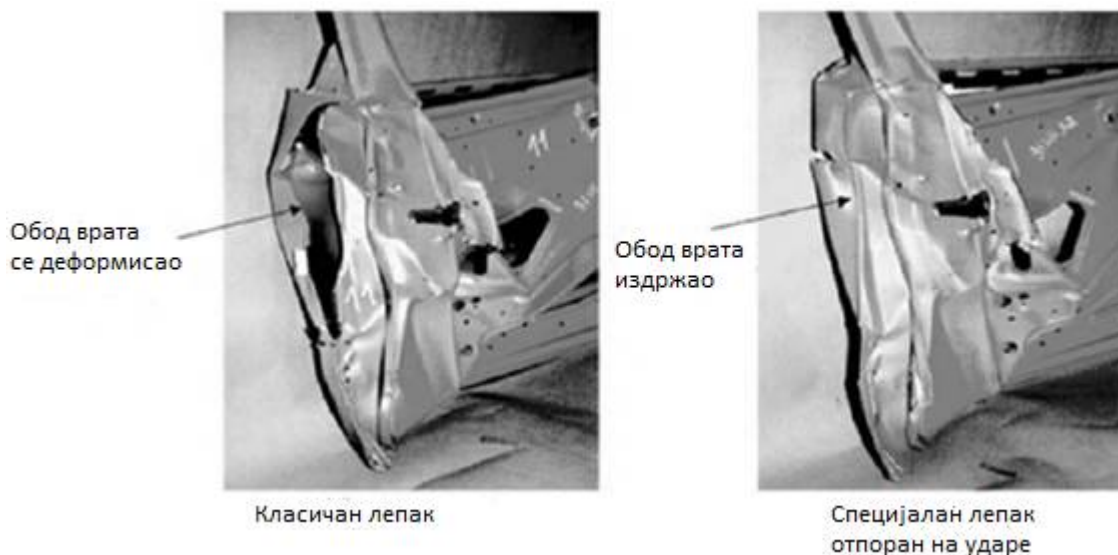
Лепак се, упркос релативно малој чврстоћи, старењу споја и губитку чврстоће, у многим случајевима користи, јер пружа нека јединствена својства. Најчешће се користи у аутомобилској, железничкој, бродској и авио индустрији, за заптивање и осигурање вијака. У ваздухопловној индустрији је изузетно важна примена лакских легура, а самим тим и што лакших спојева тих легура. Лепкови, због своје мале специфичне масе, као и због танког слоја који се користи при спајању елемената, имају предност у односу на заварене и вијчане спојеве, као и заковице [17].

На слици 5.1 је приказано лепљење ваздухопловних носача. На левом делу слике су делови носача пре лепљења: а- укрупњење вертикалних носача, б- појасне плоче, с- вертикални носач, d- површине које се лепе. На десном делу је приказан носач са доње стране.



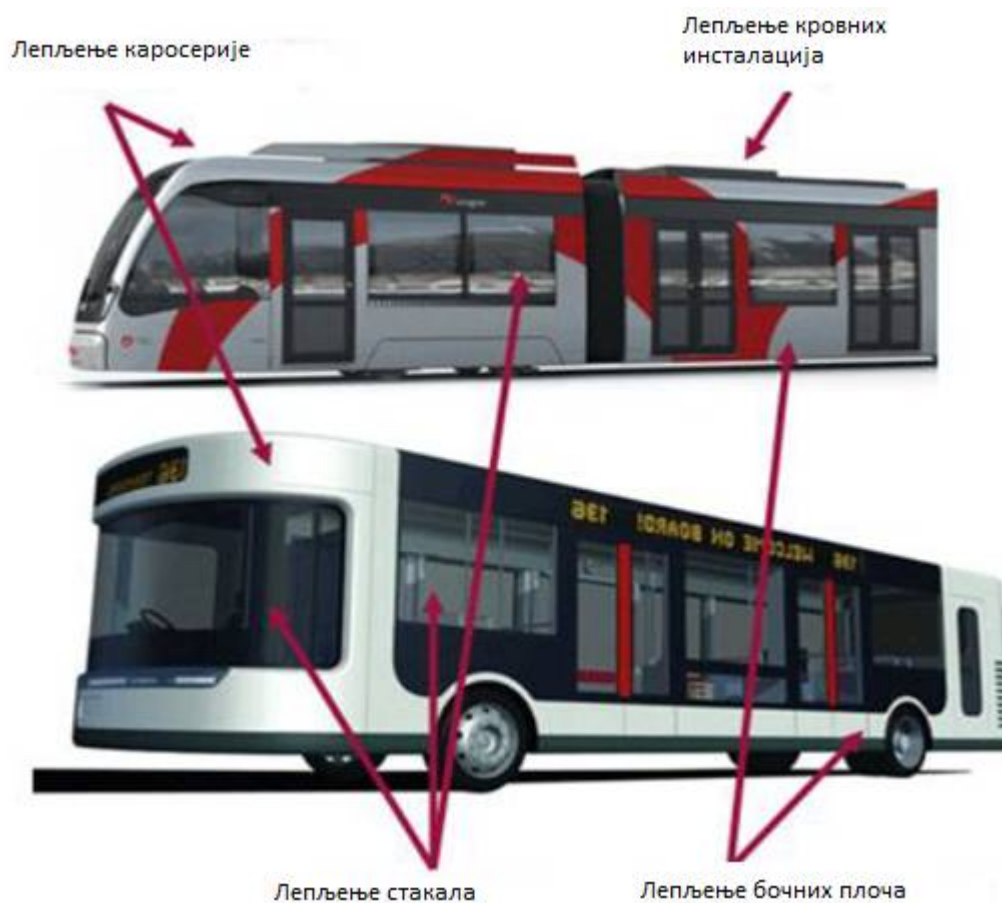
Слика 5.1 Примена лепка на ваздухопловним носачима [17]

Осим у ваздухопловној индустрији, лепкови се све више употребљавају и у производњи осталих транспортних средстава: аутомобила, камион, возова, трамваја... Лепкови имају многе предности у односу на остале начине спајања, јер омогућују заптивање делова у возилу, заптивање прозора и врата, отпорност на вибрације, изолацију у електричним инсталацијама и још много других предности. У новије време, све се више развијају и специфични лепкови отпорни на ударце и сударе (слика 5.2) [17].



Слика 5.2 Примена лепка отпорног на ударе [29]

Код возова и аутобуса се такође сусреће велика примена лепкова, а највише у састављању прозора и плоча (панела) (слика 5.3).



Слика 5.3 Лепљени спојеви на возилима [30]

Због естетике унутрашњости возила, лепкови се користе за спајање већине делова, који нису механички значајно оптерећени (слика 5.4).



Слика 5.4 Лепљени спојеви у ентеријеру авиона [31]

Лепљење и заптивање се користе за разне примене у савременој аутомобилској индустрији, од флексибилних заптивача каросерије до високо ефикасних структурних лепкова (слика 5.5) [17].



Слика 5.5 Лепљење делова аутомобила [31]

5.2. Дрвна индустрија

Напредак у истраживању и развоју у дрвној индустрији и индустрији лепљења, показао је много успеха у последњих неколико деценија. Без обзира на то, индустријске потребе дрвне индустрије и даље подстичу технолошки напредак лепкова и њихову примену у овој области. Оно што покреће технолошки развој је потрага за „јефтинијим, брзо очвршћавајућим и сложенијим“ лепковима. Прва два захтева су узрокована појачаном конкуренцијом у дрвној индустрији и напорима да се смање трошкови на одређеном нивоу квалитета и карактеристика производа. Трећи захтев „сложенији“, односи се на нове и специјализоване производе и процесе [18].



Слика 5.6 Наношење лепка на дрвене клинове при спајању намештаја[43]

Постоје две врсте лепкова који се користе у дрвној индустрији: лепкови природног порекла и термопластични лепкови [18].

У лепкове природног порекла спадају лепкови добијени на бази танина и лигнина.

Танини су полихидроксифеноли биљног порекла, растворљиви у води, алкохолу и ацетону и могу коагулирати протеине. Они се добијају екстракцијом из дрвета, коре, лишћа и плодова. Остале компоненте екстракционих раствора су шећери, пектин, угљени хидрати, аминокиселине и друге супстанце.

Лигнини су велики, тродимензионални полимери, које производе све земљасте биљке. Лигнини у биљци представљају „лепак“, који држи биљна влакна заједно. Лигнини су фенолни материјали. Првенствено се добијају као нуспродукт у поступцима прераде целулозе из дрвета, са проценама већим од 75 милиона тона годишње. Најчешће се употребљавају у производњи панела од дрвета.

У термопластичне лепкове спадају топљиви лепкови и ПВА (поливинил-ацетат) лепкови [18].

Топљиви лепкови су чврста, термопластична једињења, која се мешају и наносе у растопљеном стању, на повишеној температури. При томе, обликовање би требало извршити у што краћем року, јер након наношења, долази до брзог хлађења и очвршћавања лепка. Предности ове врсте лепка су: не садржи органске раствараче, нема воде или растварача који би испаравали, ниски захтеви у погледу безбедности у раду и заштите животне средине, једноставан за употребу, брза чврстоћа везивања повећава велику чврстоћу лепљења, неограничен век складиштења. Недостаци су: нежељено загревање лепка под механичким оптерећењем, при чему долази до постепеног отапања и губитка чврстоће, ниска отпорност на топлоту на повишеним температурама, због термопластичних својстава лепка.

ПВА (поливинил-ацетат) лепкови су друга важна врста термопластичних лепкова, посебно у производњи намештаја и столарије. Производе се у готовом стању, спремном за директну употребу, имају кратко време за обликовање и дају флексибилне и невидљиве спојеве. Лако се чисте и могу се дуго држати у складишту. Ограничења су њихова термопластичност и понашање при пузању. Принцип лепљења се заснива на уклањању воде, њеним испаравањем, пре него што лепак продре у дрвену површину. Формирање везе такође захтева примену одговарајућег притиска. Минимална температура стварања филма је 4-18°C. Параметри који утичу на време сушења су врста лепка, врста дрвета, ниво влаге у дрвету, температура околног ваздуха, количина нанесеног лепка и температура лепка и дрвених површина.

5.3. Грађевинарство

Растућа потражња за грађевинским лепковима широм света, подстакнута је све већим грађевинским и инфраструктурним активностима. Поред тога, предвиђа се да ће употреба грађевинског лепка за комерцијалне и стамбене јединице повећати глобално тржиште. Ниска цена и лака доступност, могу подстаћи раст у будућности, заједно са побољшаним својствима и бољим производним техникама. Међутим, нестабилне цене материјала, главна су препрека расту глобалног тржишта.

Лепкови у грађевинарству се могу користити за спајање различитих типова спојева: полагање тепиха, лепљење керамичких плочица, лепљење подних подлога, спајање прикључака за грејање и вентилацију, пресвлачење дрветом, еластичне подове, кровне конструкције, зидне облоге...[19].

Карактеристике које треба да поседује одређени грађевински лепак, како би се сматрао добрим, су [19]:

- требало би да буде на бази воде или на бази растварача,
- због заптивања делова на које се наноси, потребно је да буде водоотпоран,
- након исушивања, потребно је да остане флексибилан, за разлику од осталих лепкова,
- да се осуши за мање од једног дана и
- да се може користити за лепљење скоро свих врста грађевинских материјала.

Постоји неколико типова лепкова који се користе у грађевинарству: [20]

- **Специјални лепак** - дизајниран је као брзо решење за самосталне врсте поправака на оштећеним деловима. Могу да садрже тренутне лепкове и оне типове који су идеални за тешко доступне површине
- **Лепкови отпорни на влагу** – погодан је за материјале који захтевају јаке грађевинске лепкове, јер може да издржи влагу или екстремне температуре, велика оптерећења и отпоран је на воду. Може се користити за стакло, дрво, челик, пластику и много других материјала. Постоје две врсте лепка отпорних на влагу, а то су полиуретански и силиконски лепак.
- **Лепкови на бази воде** – лепкови који се лако чисте водом и пружају велику снагу спајања делова. Постоји много врста лепкова на воденој основи, као што су цементне смоле, протеински лепкови, биљни и животињски лепкови и латекс цементи.
- **Кровни и контактни лепак** – грађевински лепак који може да издржи екстремне атмосферске услове, као што су топлота сунца, вода и снег.
- **Лепкови за конструкцију подова** – створени да се користе за дрвене подове, такође погодни су и за винил, кожу, гуму, за тапацирање и друге радове.
- **Лепкови за плочице** – врсте лепкова који су створени да олакшају постављање и поправке плочица. Постоји врста лепка који представља мешавину малтера и лепка.
- **Термички лепак** – врста лепка који се претвара у течно стање приликом загревања
- **Двокомпонентни лепак** – лепкови код којих корисник мора да комбинује два или више материјала, како би хемијски реаговали и формирали снажан лепак.



Слика 5.7 Наношење лепка за спајање панела и дрвета [19]

5.4. Електроника

Иако је примена лепка у индустрији електронике широко распрострањена, производња штампаних плоча PCB (printed circuit boards, енг.) ствара потражњу за широким спектром својстава. Технички напредак у истраживању и развоју, доводи до веће минијатуризације компоненти и кола, до већег нивоа интеграције штампаних кола, а самим тим и до веће електричне енергије која се разија по квадратној јединици површине. Много проблема, насталих овим развојем, могло би се решити употребом специјалних лепкова, заптивних маса и ламинатних смола.

Примарна поља за примену лепкова у производњи електронских кола су лепкови за површински монтиране уређаје (SMD), везива за ламинат и лепкови за PCB основни материјал и материјали за капсулирање и заптивање за засебне електронске компоненте или комплетне склопове [18].



Слика 5.8 Термички проводљив лепак се наноси за лепљење хладњака у индустрији електронике[41]

Хемија полимерних материјала који се користе за лепљење у индустрији електронике, не разликује се од полимера других примена. Врсте лепкова које се користе у електронској индустрији су [18]:

- *епоксиди* (немодификоване врсте бисфенола, веће функционалне смоле, циклоалифатске смоле, хетероцикличне смоле, једнокомпонентни и двокомпонентни системи) – користе се за стварање облога око електронских делова и везивања ламината,
- *акрили* (цијаноакрилати, анаеробни лепкови, акрилати умрежени загревањем или UV зрачењем)- користе се за заптивање и производњу лепљивих трака за електронска кола,

- *силиконске смоле* (на собној температури, загревањем или UV зрачењем) – користе се углавном за заптивање и као облоге и
- *полиамиди* – користе се као лепкови за монтажу.

Лепкови за монтажу користе се за учвршћавање компонената на електронским плочама, помоћу технологије површинске монтаже. За спајање се користе електропроводни лепкови. Предност у коришћењу ових лепкова је та, што се може избећи поступак лемљења.

5.5. Текстилна индустрија

Текстилна индустрија једна је од најиновативнијих технолошких покретачких снага глобалне економије, посебно у одећи. То је стални извор нових комбинација материјала и технологија. Разноликост лепкова који се користе у текстилној индустрији расте истом брзином као и захтеви за беспрекорним процесима и врхунским квалитетом производа. У индустрији текстила производи се мноштво различитих текстилних врста, сваки са појединачним комбинацијама материјала и функцијама, у зависности од намене производа. Због тога, лепкови за ламинирање и премазивање текстила морају удовољити широком спектру посебних захтева. Без обзира да ли су текстилни производи за одећу свих врста, текстил за делове аутомобила, производи за грађевинску индустрију или производи за кућну употребу, везане подлоге у ламинираном текстилу су различите, у зависности од намене производа: пене, мреже, памук, полиестер, тканине...

Мембране и текстил су ламинирани помоћу термопластичних и рективних топљивих лепкова. Термопластични топљиви лепкови прилагођени су појединачним и често специфичним захтевима. Код ламинирања мембране, подржавају посебна својства у крајњем производу, као што су прозрачност, запаљивост и апсорпција буке. Код ламинирања мембране, превелика количина лепка има штетан ефекат и с тога требало би веома прецизно одредити количину наношења [21].

Постоје четири начина везивања лепка са текстилом [21]:

Механичко лепљење –лепак се наноси као материјал који се преноси водом или растварачем током процеса потапања. Након очвршћавања, очврсли лепак механички се причвршћује на тканину.

Везивање водоника – везивање водоника могуће је у индустријском текстилу само са поларним влакнима. У овом случају, постоји снажна електрична привлачност између лепка и влакана.

Хемијско лепљење –хемијско или ковалентно лепљење се дешава када постоји хемијска реакција између влакана и лепка.

Термодинамичко лепљење –лепак бубри горњи слој текстила и механички се „закључава“ у слоју влакана.

5.6. Машинска индустрија

У машинској индустрији, заваривање и спајање вијцима представљају најчешће коришћене технике спајања делова. Спајање лепковима је погодно за производњу малих серија, јер је за ову технику потребна само мања опрема. Пожељни су лепкови који се могу наносити без скувих уређаја (као што су аутоклави⁷ или опреме за мешање и дозирање). Предуслови за поуздане лепљиве везе су исправан дизајн који испуњава

⁷ - Аутоклав- комора под притиском, која се користи у индустрији за процесе који захтевају повишену температуру и притисак различит од атмосферског.

захтеве лепљења, поуздана припрема површине лепка и знање о дугорочном понашању лепљивих веза.

Велики број лепкова је погодан за лепљење метала који се користе у машинству, а нарочито епоксидне смоле и акрилни лепак. Лепљење се углавном користи за производњу композитних материјала, где се заваривање не може користити. Делови који се најчешће спајају су од обичног челика, нисколегираног и високолегираног челика, као и различите легуре алуминијума.

Лепљење такође нуди предности у производњи алата за резање, као што су машинске бушилице и глодалице. У оба случаја, врхови за резање од тврдог метала (карбиди утиснути у металну матрицу), везују се на челичне шипке, најчешће помоћу епоксидних смола. Првобитно су ови алати произведени лемљењем, али то је изазивало изобличавање и омекшавање челика и непотпуно спајање шипке и резног алата.

Кључне предности лепљења у машинству су:

- спајање тврдог метала (карбида) и челика по целој површини, без оштећења материјала,
- спречавање корозије у пукотинама,
- равномерна расподела напона и
- пригушење вибрација.

5.7. Материјали за паковање

Три најважније употребе лепкова приликом производње амбалаже за паковање укључују производњу валовите кутије, ламинирање филма и причвршћивање налепница. Последњих година је дошло до великог пораста различитих врста лепкова за амбалажу и очекује се да ће се наставити, јер земље у развоју користе више амбалажу, како би се спречило кварење хране током дистрибуције [21].

Лепкови за паковање се, према технологији и хемији, могу поделити на [22]:

- лепкови за суву везу, која се растварају,
- лепкови за суво везивање, на воденој бази,
- лепкови под притиском, на бази растварача,
- лепкови под притиском, осетљиви на воду,
- лепкови за влажно везивање,
- топлјиви лепкови,
- течни лепкови,
- енергетски очврсли лепкови (очвршћавају помоћу ултраљубичастог UV и електронског зрачења) и
- кохезиви.

Лепкови за суву везу се наносе растворени водом или растварачем, суше се загревањем или циркулацијом ваздуха, а затим се активирају, обично коришћењем грејача. Материјали који се претежно користе су полиуретани и акрили.

Лепкови осетљиви на притисак се претежно користе за лепљење налепница на амбалажама.

Лепкови за влажно везивање користе се првенствено на подлогама на бази папира. Користе се лепкови од скроба за лепљење валовитих кутија, казеински лепкови за етикетирање производа, полиуретани и акрили за захтевније означавање пластиком.

Топљиви лепкови се користе за затварање картона и као лепак за брзо етикетирање паковања и боца.

Течни лепкови служе за ламинирање и то су углавном полиуретани. Испоручују се као дводелни системи.

Кохезиви се наносе на обе површине које се лепе, а затим притискају, како би се створила веза. Материјали који се претежно користе су природни гумени латекс и полихлоропрен. Кохезиви су посебно корисни за паковања производа који су осетљиви на температуру, попут сладоледа и чоколаде.



Слика 5.9 Лепљење картонске кутије[44]

5.8. Биомедицина и фармација

Подстакнуто сталним растом на тржишту медицинских и хируршких производа, како би се задовољиле потребе старије популације, истраживање лепкова за медицинске примене ствара нове производе, са побољшаном функционалношћу, већом чистоћом и јединственим својствима.

Међу материјалима који се користе у производњи медицинских средстава, све је веће интересовање за полиолефине. Ова категорија материјала укључује полистирен, поликарбонат, акрил, силиконску гуму, полиетилен, полипропилен и синтетичке гуме. Сваки материјал има своје предности и ограничења. Лепкови за медицинску опрему укључују акриле, епоксиде, силиконе и блок кополимера од стирена.

Акрилни састојци за брзо очвршћавање доступни су као једноделни анаеробни лепкови, који се стврдњавају у недостатку кисеоника, једноделни лепак за очвршћавање који очвршћава у тренутку и дводелна формулација са побољшаном вискозношћу и карактеристикама руковања.

Епоксиди се широко користе, посебно са лепковима за филм. Ове врсте систем за лепљење танких филмова су добар избор када геометрија линије везе представља шупљину која мора да се испуни.

Напредне формулације лепкова

Без обзира да ли се користи у производима за негу рана или за лепљење медицинских електрода на кожу, створени су напредни лепкова за побољшање растезљивости, комфорности, прозрачности, апсорпције, порозности и трајности. Нове врсте лепкова, са прилагођеним формулацијама, укључују хидроколоидне, хидрофилне и електрични проводљиве лепкове. Ови лепкови пружају пријатније и нежније приањање на кожи, а у

неким случајевима и способност да издрже или апсорбују течност. Имају следећа општа својства [23]:

- нетоксичност,
- лепљење на органске и неорганске површине,
- чврсте супстанце пре и после стврдњавања,
- оптимизовани за квашење и попуњавање празнина,
- радне карактеристике погодне за производњу великог обима,
- компатибилност са различитим облицима стерилизације и
- антимикробне карактеристике.

Хидроколоиди

Хидроколоидни лепкови су најповољнија алтернатива кожи и отпорни су на течности. Ови лепкови су постали кључни састојци у производњи фластера за кожу и остале опреме која доспева у контакт са кожом. Доступни су у различитим формулацијама, у зависности од примене. Примењују се при изради трака за фиксирање, фластера за ране, за негу акутних и хроничних рана, различитих медицинских прибора и уређаја...

Хидрофили

Ови лепкови имају способност ефикасног лепљења на влажним површинама и површинама које ће се после неког времена овлажити. Ови лепкови су током очвршћавања отпорна на воду или телесне течности, тако да током адекватне примене, течности не утичу на њихова адхезиона својства. Лепљени састав дизајниран је тако да буде пропусан за влагу, а истовремено може да обезбеди заптивање против цурења течности.

Електрично- проводљиви лепкови

Лепкови који обезбеђују електричну проводљивост, широко се примењују у медицинским производима, који захтевају високо и трајно приањање, без остатака након уклањања. Примењује се код ЕКГ електрода за једнократну употребу, плоча за уземљење, етикета електрода.

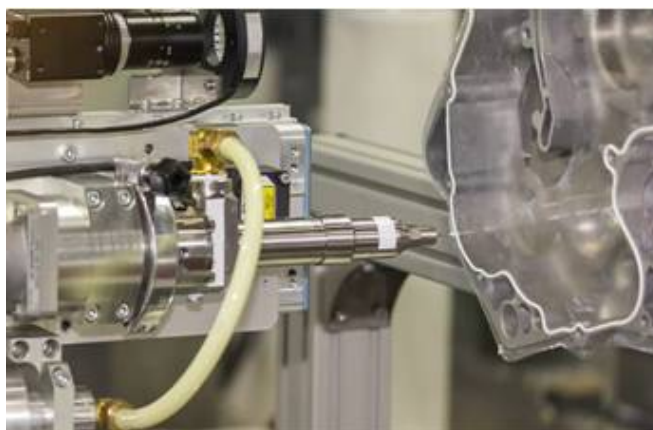


Слика 5.10 Лепљење медицинске опреме[45]

5.9. Употреба заптивних маса

Заптивне масе се првенствено користе за заптивање, односно спречавање проласка течности кроз површине на које се наносе. Заптивне масе се такође могу користити за обезбеђивање акустичке изолације, пригушивање вибрација и електричне изолације или проводљивости, у зависности од проводљивости пуниоца. Специјална заптивна средства се могу користити и за топлотну изолацију.

Заптивни материјали се широко користе у разним индустријским, комерцијалним и стамбеним условима. Примењују се за попуњавање пукотина, структурно полирање, за заптивање на ободима прозора и врата, кровним завршецима, санитарије у стамбеним просторима. Због широке употребе заптивних маса, глобално тржиште ових материјала прелази 800 000 тона у количини и 3 милијарде долара у продајној вредности.



Слика 5.11 Машинско наношење заптивне масе на кућиште механизма[42]

6. Закључак

Технологија лепљења је значајна у индустрији, због својих јединствених предности у поређењу са другим поступцима спајања.

Неке од најважнијих предности су заштита од корозије, мала маса самог споја, уједначен распоред напрезања и добро пригушивање вибрација. Додатна предност коришћења лепкова је та, што нема уношења топлоте у основни материјал, па самим тим, не долази до промене у микроструктури и механичким својствима основног материјала.

Ова технологија спајања захтева изузетно чисте површине и радне услове, јер се у односу на друге технологије, у великој мери одражава на чврстоћу лепљеног споја.

Лепљени спојеви, уз своје предности, имају и недостатке, међу којима је најзначајнији век трајања лепљеног споја и немогућност његовог одређивања. Лепљени спојеви након неког времена почињу губити своја механичка својства, па их је потребно обновити или заменити.

Разлог распрострањеној употреби лепкова је у томе што лепкови омогућавају добијање врло чврстих спојева, уз правилну примену, нарочито за спајање материјала који се не могу спојити неким другим поступцима, попут дрвета, камена, керамике, стакла...

Литература

- [1]. <https://sr.wikipedia.org/sr-ec/Lepak>, приступљено 2.5.2019.
- [2]. Kožuh, Z., Kralj, S., Cvirn, Ž.: Tehnologij lijepljenja, Dio I. Zavarivanje, 1997., 40/3., 85-94
- [3]. https://www.fsb.unizg.hr/elemstroj/pdf/pmf/osnove_strojarstva/lijepljeni_spojevi.pdf, приступљено 3.5.2019.
- [4]. S. Zebić, Ž. Viličić: Ljepila, Tehnička enciklopedija, 1980,
- [5]. Bujanić B.; Magdalenić Bujanić J. (2011.) „Mehanizmi stvaranja lijepljenog spoja“
- [6]. hrcak.srce.hr/file/124722, приступљено 10.5.2019.
- [7]. Pero Raos „Tehnike spajanja lijepljenja“ PowerPoint prezentacija, приступљено 11.5.2019.
- [8]. Hrvatska enciklopedija, <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=37713>, приступљено 15.5.2019. Leksikografski zavod Miroslav Krleža
- [9]. Edward M. Petrie, Handbook of Adhesives and Sealants, McGraw-Hill Handbooks, New York, 2007.
- [10]. Sina Ebnesajjad; Arthur H. Landrock “Adhesives Technology Book”
- [11]. Ivan Žolo „Lijepljenje polimernih materijala“ Diplomski rad, приступљено 1.6.2019. http://repozitorij.fsb.hr/417/1/17_11_2008_Diplomski_moj1SVE.pdf
- [12]. J. Kranželić (2016.) „Primijena lijepljenja za spajanje metala“
- [13]. Vlastimir Tufegdžić, Gradevinski materijali, Poznavanje i ispitivanje, Naučna knjiga, Beograd 1966.
- [14]. <https://www.skriptarnica.net/skripte/doc.../24-ispitna-pitanja-polimeri.html>, приступљено 7.7.2019.
- [15]. Raos, P., Lucić, M.: Konstrukcijsko lijepljenje, Autorizirana predavanja, Slavonski Brod, 2003
- [16]. Dragan Adamović „Drvo, papir, lepkovi, prevlake“, PowerPoint prezentacija, <http://moodle.mfkg.rs/course/view.php?id=5> приступљено 9.7.2019.
- [17]. <https://suretacksystems.com/2016/11/are-solvent-based-adhesives-bad-for-environment/>, приступљено 25.7.2019.
- [18]. Karl-Heinz Decker: Elementi strojeva, Tehnička knjiga, 2006.
- [19]. „Handbook of Adhesive Technology“ A. Pizzi; K.L.Mittal
- [20]. <https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Adhesives>, приступљено 28.7.2019.
- [21]. <https://contentinjection.com/construction-adhesive/>, приступљено 28.7.2019.
- [22]. <https://www.packagingdigest.com/adhesives>, приступљено 31.7.2019.
- [23]. “Adhesives and Sealants” David J. Dunn
- [24]. <https://www.ecnmag.com/article/2011/08/advanced-adhesives-medical-applications>, приступљено 4.8.2019.
- [25]. <https://slikarskatehnologija.wordpress.com/2014/03/20/tutkalo/>, приступљено 23.8.2019.
- [26]. <https://www.fitway.hr/dodaci-prehrani-detaljno/kazein-casein-nocni-protein>, приступљено 23.8.2019.
- [27]. <http://sanatocka.blogspot.com/2012/12/skuvajte-lepak.html>, приступљено 23.8.2019.
- [28]. LOCTITE: World design handbook, 2nd edition
- [29]. M. Opalić: Predavanja iz kolegija Elementi strojeva, 2010., FSB
- [30]. R. D. Adams: Adhesive bonding, Science, Technology and Applications, Woodhead publishing, 2005
- [31]. <http://www.adhesiveandglue.com/adhesive-applications.html>, приступљено 23.8.2019.
- [32]. Magd Abdel Wahab: Joining Composites with Adhesives: Theory and Applications, DEStech Publications, Inc., 2015.

- [33]. The Aluminium joining manual, European Aluminium association, 2015.
- [34]. en.wikipedia.org/wiki/Sealant, приступљено 9.9.2019.
- [35]. <https://www.gabi-boje.rs/proizvodi/cetke/schuller-zicana-cetka-5-red-celik-6823>, приступљено 17.9.2019
- [36]. <http://www.spraycat.com/adhesives.html>, приступљено 17.9.2019.
- [37]. [rsic.co.uk/maintenance-and-consumables-c1497/adhesives-c1553/adhesives-glues-activators-c1554/delta-cyanoacrylate-adhesive-bonding-cyno110-500g-p5921](https://www.rsic.co.uk/maintenance-and-consumables-c1497/adhesives-c1553/adhesives-glues-activators-c1554/delta-cyanoacrylate-adhesive-bonding-cyno110-500g-p5921), приступљено 18.9.2019.
- [38]. <https://www.indiamart.com/proddetail/loctite-270-243-anaerobic-adhesives-12174048630.html>, приступљено 18.9.2019.
- [39]. <https://www.eal.com.au/products/cybercyl-1300-methyl-methacrylate-structural-adhesive/>, приступљено 18.9.2019.
- [40]. <https://www.amazon.co.uk/EPOXY-ADHESIVE-GLASS-LEATHER-PLASTIC/dp/B003BPX9EK>, приступљено 18.9.2019.
- [41]. <https://www.amazon.com/Franklin-2303-Titebond-Polyurethane-Glue/dp/B000Y11WDY>, приступљено 18.9.2019.
- [42]. <https://www.panacol.com/adhesive-applications/electronics/thermally-conductive-adhesive>, приступљено 20.9.2019.
- [43]. <https://www.bostik-industrial.com/3-adhesive-technologies-to-consider-when-replacing-mechanical-fasteners/>, приступљено 20.9.2019.
- [44]. <https://www.gluespec.com/blog/water-based-adhesives-in-furniture>, приступљено 24.9.2019.
- [45]. <https://suretacksystems.com/2015/03/hot-melt-adhesives-and-the-packaging-industry/>, приступљено 24.9.2019.
- [46]. <https://www.medicaldesignbriefs.com/component/content/article/mdb/features/articles/26073>, приступљено 24.9.2019.
- [47]. Pizzi, K. L. Mittal, ed. Handbook of Adhesive Technology, Second Edition, Revised and Expanded, Marcel Dekker, New York-Basel, 2003.
- [48]. Walter Brockmann, Paul Ludwig Geiß, Jürgen Klingen, Bernhard Schröder, Adhesive Bonding, Materials, Applications and Technology, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2009.
- [49]. David A. Dillard, ed., Advances in structural adhesive bonding, CRC Press, New York, 2010.
- [50]. Jovanović, M, Adamović, D. i drugi, Mašinski materijali, Kragujevac, 2003.