



PIŠE: prof. dr Vladislav Zdravković

Kvalitet obrađene površine drveta pre lepljenja igra važniju ulogu nego kod neporoznih materijala i bitno utiče na kontaktni ugao dok je lepak još u tečnoj fazi a kasnije, posle očvršćavanja, na distribuciju i iznos naprezanja u lepljenom spoju, odnosno na čvrstoću samog lepljenog spoja.

Adhezija i kohezija – mehanika lepljenja

Adhezija predstavlja vezu između različitih čvrstih ili tečnih materijala koja nastaje kao rezultat delovanja međumolekularnih sila, različitih molekula, atoma, jona i funkcionalnih grupa koje se nalaze u površinskom sloju materijala koji su u kontaktu. Kohezija je međusobna veza molekula, atoma i jona unutar nekog materijala. Čvrstoća lepljenja određena je odnosom sila adhezije i kohezije, pri čemu sila adhezije treba da bude veća od sila kohezije, pa je stoga jedan od kriterijuma za ocenu kvaliteta lepljenja, pored sile koju lepljeni spoj može da izdrži, i procenat loma po drvetu. Visoka čvrstoća i trajnost lepljenog spoja zavisi od razvoja interakcije spoja drvo-lepak i ravnomerne raspodele unutrašnjih i spoljašnjih sila tokom eksploatacije lepljenog spoja, što se najčešće odnosi na promenu vlažnosti okoline i samog drveta.

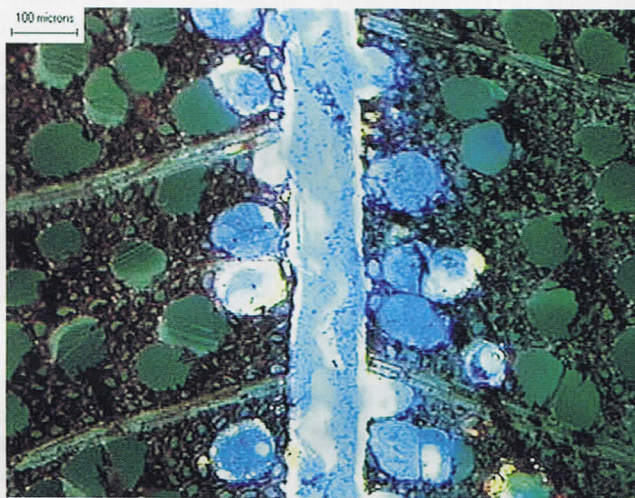
Postoje mnoge teorije adhezije a jedna od najstarijih je mehanička teorija adhezije kojom Mc Bain objašnjava čvrstoću lepljenja sposobnošću lepka da prodre u pore materijala koji se lepi. Prema ovoj teoriji, kod drveta, kao poroznog materijala, usled prodiranja lepka u drvo, povećava se površina kontakta lepka i drveta, a lepak posle očvršćavanja biva ankerisan u lumene ćelija. Proces lepljenja se posmatra kao mehanička veza očvrstnutog lepka i drveta. Ova teorija ne može da objasni lepljenje neporoznih materijala kakvi su staklo ili metali, tako da savremena mehanika lepljenja posmatra lepljenje kroz mehaniku, površinu i materijal.

Mašinska priprema

Proces lepljenja drveta je u svojoj osnovi mnogo kompleksniji nego lepljenje drugih materijala. Sa traheidama, parenhimičnim ćelijama, vlaknima libriforma, sudovima, smolnim kanalima i srčnim zracima koji variraju u strukturi ranog ili kasnog drveta, srčevine ili beljike, supstrat koji se lepi postaje izuzetno kompleksan i varijabilan. Ovo se sve

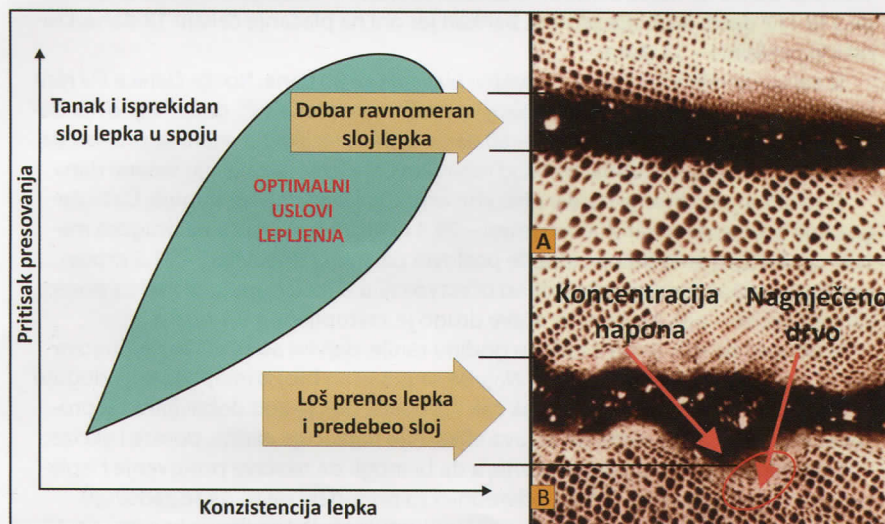
dešava u okviru jedne vrste drveta, a u okviru različitih vrsta drveta to postaje još izraženije, zbog razlike u samoj njihovoj ćelijskoj strukturi.

Faktori dobrog lepljenog spoja uključuju: hrapavost drveta, stepen i način penetracije lepka u drvo, višepolimernu strukturu ćelijskog zida i varijabilnost drveta. Horioka ilustruje pojave u leplje-



Masa drveta Međufaza drveta Faza interakcije Masa lepka Faza interakcije Međufaza drveta Masa drveta

Slika 1: Mikroskopski snimak lepljenog spoja, svaka od navedenih faza predstavlja kariku lanca po kojoj može da nastane lom



Slika 2: Optimalni uslovi lepljenja – odnos konzistencije lepka, pritiska presovanja i kvaliteta pripremljene površine za lepljenje

masivnog drveta za lepljenje

nom spoju i faze lepljenog spoja praveći analogiju sa karikama lanca, gde svaka karika predstavlja jednu fazu lepljenog spoja. Lepljeni spoj puca po najslabijoj karici a to može da bude bilo gde. Iako su različita međudejstva važna, dubina i način prodiranja lepka u drvo igra jednu od najvažnijih uloga (slika 1).

Lepak ne sme da prodre u drvo ni premalo ni previše, što je problem koji se ne javlja kod neporoznih materijala. Za lepljenje, prodiranje u lumene ćelija zavisi od kontaktnog ugla lepka, i viskozitetu faze mase lepka (lepljenog spoja pre očvršćavanja), dok prodiranje lepka u ćelijski zid, zavisi od molarne mase lepka odnosno stepena njegove kondenzacije u toku proizvodnje.

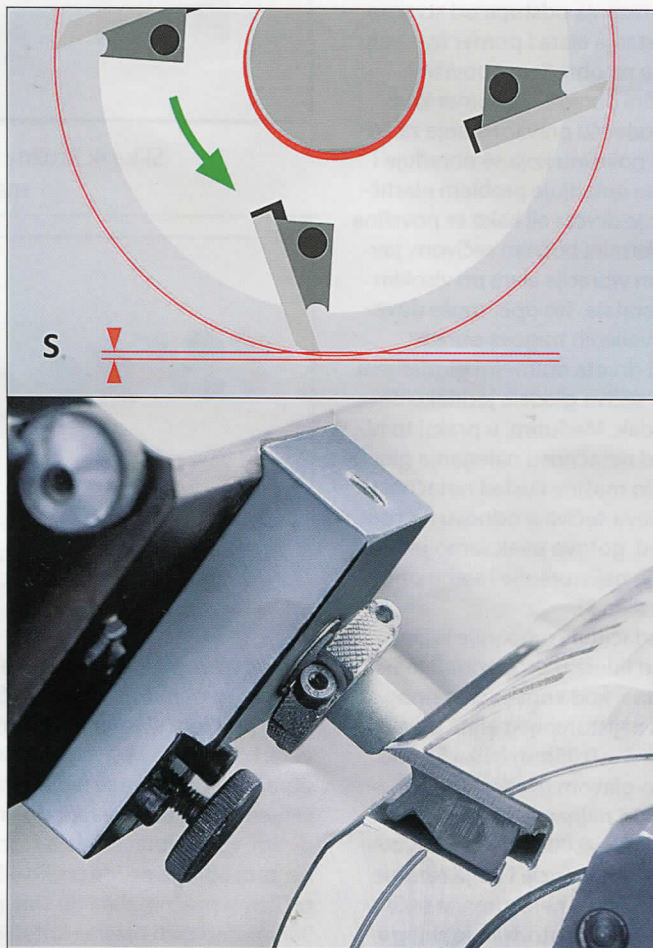
Tanka je linija lepljenja

Ranije je rečeno da ni jedna karika lanca lepljenja ne sme da bude prekinuta da bi lepljeni spoj bio dobar.

Optimalni uslovi lepljenja nalaze se u površini označenoj zelenom bojom prikazanoj na slici 2.

Konzistencija lepka (viskozitet, sadržaj suve materije, stepen polimerizacije, temperatura i količina nanosa) moraju da budu u skladu sa pritiskom presovanja i kvalitetom obrađene površine drveta (slika 2). Čvrstoća lepljenog spoja zavisi od čvrstoće osušenog filma lepka, koji mora da bude što tanji, i od broja otvorenih elemenata ćelijske građe drveta. Na slici 2A se vidi tanak, ravnomeran sloj lepka, dobra mašinska priprema, sa prerezanim vlaknim libriforma, što obezbeđuje veliku površinu kontakta lepka i drveta i optimalno prodiranje lepka u strukturu drveta. Na slici 2B se vidi debeo sloj lepka, sa neravnomernom debljinom sloja lepka, nagnječenim drvetom, gde lepak ne može da prodre u strukturu drveta i mesta koncentracije napona usled tragova loše mašinske obrade. Povećanje pritiska presovanja neće doneti poboljšanje, jer će lepak samo biti istisnut iz lepljenog spoja a neće biti utisnut u strukturu drveta i nastaje loš spoj („starved joint“). Situacija se ne može popraviti ni povećanjem nanosa lepka.

Samo pravilna mašinska priprema, gde nema prevelikih tragova obrade nastalih od alata, konzistencija lepka, kva-



Slika 3: Položaj vrha najisturenije oštrice alata (usled netačnosti naleganja na vratilo) i alat za kalibraciju svih sečiva na samoj mašini

litet sušenja drveta i optimalni pritisak presovanja za određenu vrstu drveta stvaraju preduslove za kvalitetan lepljeni spoj.

Mašinska priprema masivnog drveta za lepljenje

U istoriji obrade drveta priprema drveta za lepljenje svodila se na ručno rendisanje (blanjanje) drveta. U vreme izrade stilskeg nameštaja, kada su se koristili kuvani lepkovi životinjskog porekla, smatralo se da što je površina drveta hrapavija, to je bolji kontakt lepka sa drvetom i spoj je bolji. Čak je postojalo rende sa nazubljenom oštricom, čime se dobijala zupčasta površina sljubnice što zaista jeste povećavalo površinu kontakta. Na-

učna ispitivanja kvaliteta lepljenog spoja pokazala su da je lepljeni spoj utoliko čvršći ukoliko je tanja linija lepljenja, uz uslov da je lepak dovoljno prodru u strukturu drveta.

Savremena mašinska priprema drveta za lepljenje vodi se upravo ovim rezultatima. Svi proizvođači mašina se trude da površina koju mašina obarđuje bude što čistija i ravnija.

Za mašinsku pripremu najčešće se koristi obarada obimnim glodanjem na viševretenim rendisaljama, obrada na kružnim pilama sa blanajućim rezom i princip kružne poprečne obrade („Rotoles“).

Kod obrade obimnim glodanjem pravac obarade i dominantna sila rezanja usmereni su prema površini koja se obra-

đuje. Tu se javlja problem poprečne elastične deformacije drveta (koeficijent poprečne deformacije drveta zavisi od vrste drveta, da li je dejstvo u tangencijalnoj ili radialnoj ravni, da li je prisutno reakciono drvo i od vlažnosti drveta), tako da teorijska linija rezanja odstupa od stvarne a priroda kretanja alata i pomer izazivaju pojavu talasa na obrađenoj površini.

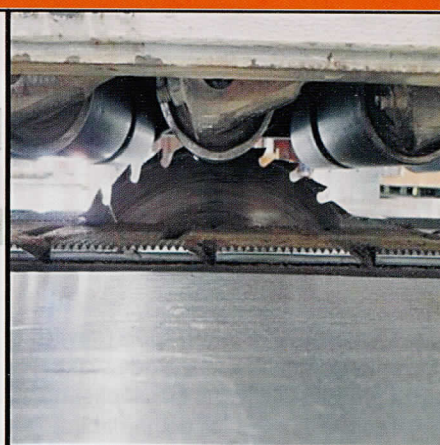
Drugi načini obrade, na primer kružnom pilom, zakreću pravac rezanja za 90° u odnosu na površinu koja se obrađuje i na taj način se umanjuje problem elastične deformacije drveta ali kako se površina za lepljenje formira bočnim sečivom, javlja se problem vibracija alata pri visokim brojevima obrtaja, što opet može dovesti do nedozvoljenih tragova obrade.

Pri obradi drveta obimnim glodanjem teorijski, sva sečiva glodala jednako deluju na obradak. Međutim, u praksi to nije tako. Usled netačnosti naleganja glodala na vratilo mašine i usled netačnosti položaja vrhova sečiva u odnosu na osu alata u suštini, gotovo uvek samo jedno sečivo alata je najisturenije i samo ono vrši obradu (slika 3).

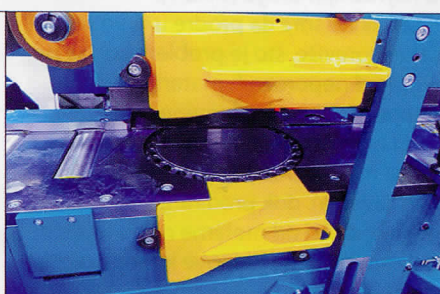
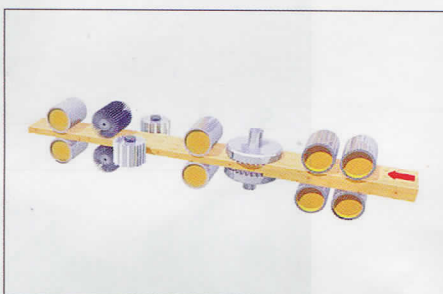
Prema podacima kompanije WEINIG koja jedan od lidera u proizvodnji mašina ovoga tipa, kod konvencionalnog alata, razlika najisturenijeg alata od cilindra obrade je $S \sim 0,05\text{mm}$ (slika 3), kod alata sa hidro glavom (Hydromat) je $S \sim 0,005\text{mm}$ a kod najnaprednijeg Power-Lock sistema je $S \sim 0,003\text{mm}$. Uprkos ovako minimalnoj toleranciji i dalje rezanje obavlja samo jedno, najisturenije sečivo. Da bi se to rešilo, konstruisan je sintero van kamen za kalibrisanje svih sečiva da budu u cilindru obrade, tako da sva sečiva vrše rezanje. Postoje posebni kameni za HSS i za karbidne noževe. Kalibracija se vrši na samoj mašini, pri operativnoj brzini vratila. Sekundarna oštrica koja nastaje kalibracijom ne sme imati širinu veću od 0,5mm za meke vrste drveta i ne veću od 0,7mm za tvrde vrste drveta.

Kao jedna od mera kvaliteta obrađene površine drveta je broj tragova koje ostavljaju sečiva na drvetu (broj „talasa“) po jedinici dužine (1 cm). Kod grubih površina broj talasa nije više od 2-3 talasa/cm, kod finije obrađenih površina broj talasa je više od 8 talasa/cm, dok je kod mašina sa automatskim sistemom za kalibraciju to mnogo više, to znači da se kvalitet obrađene površine približava kvalitetu brušenja.

Drugi tip mašina za pripremu masivnog drveta za lepljenje su kružne pile sa blanajućim rezom. Kao što je ranije rečeno, kinematika ovakve obrade zakreću



Slika 4: Kružna pila sa blanajućim rezom za pripremu masivnog drveta za lepljenje



Slika 5: Mašina za pripremu masivnog drveta za lepljenje sa krunskim alatom („Rotoles“ princip)

pravac rezanja za 90° u odnosu na površinu koja se obrađuje i na taj način se umanjuje problem elastične deformacije drveta. I ovde, kao kod rendisanja, kvalitet obrađene površine se povećava sa povećanjem broja obrtaja radnog vretena. Međutim, zbog vibracija alata i same mašine, broj obrtaja ne ide preko 4.500 o/min pri čemu prečnik alata ne sme da pređe 30cm. Kod ovih mašina kriterijum kvaliteta obrađene površine je indirektan a to je srednja debljina strugotine. Srednja debljina strugotine za masivno drvo ne sme da pređe 0,0125mm za masivno drvo i 0,005mm za furnirane površine i furnirsku ploču. Da bi to postiglo, vrlo je bitan izbor pile tako da grupa zuba u zahvatu obezbedi navedenu srednju debljinu strugotine, odnosno kvalitet reza. Ako je pila postavljena ispod stola mašine, ona treba da bude samo malo iznad obratka ali transportni lanac mora čvrsto da drži obradak i ne sme da bude bočnih vibracija alata. Kod mašina sa pilama postavljenim iznad stola mašine ove vibracije su manje i list pile može da bude tanji (time je iskorišćenje materijala veće) ali se one uglavnom koriste za grubu obradu drveta.

Kod tipa mašina sa rotirajućim kružnim alatom krunskog oblika („Rotoles“ princip) tekođe se zakreću pravac rezanja za 90° u odnosu na površinu koja se obrađuje, problem vibracija alata koji postoji pri visokim brojevima obrtaja kod

kružnih pila se znatno umanjuje, i u svakom trenutku je veliki broj sečiva u zahvatu. Kvalitet obrađene površine je dobar za lepljenje drveta. Ovakve mašine mogu da obrađuju veliku širinu drveta i rez je dovoljno kvalitetan za lepljenje.

Režim lepljenja masivnog drveta obuhvata sledeće osnovne parametre:

- vlažnost drveta
- količinu nanosa lepka
- specifični pritisak presovanja
- vreme presovanja
- način i kvalitet obrađene površine drveta
- temperature lepka i radnog prostora
- otvoreno i zatvoreno vreme lepljenja

Prethodno su nabrojani samo osnovni parametri režima lepljenja. Na primeru lepljenja ploča od masivnog drveta jasena može se videti šta sve obuhvata režim lepljenja, da bi se uslovi lepljenja našli u optimalnoj, zelenoj zoni prikazanoj na slici 2.

I podaci u tabeli 1 i slika 2 ukazuju da je dobar kvalitet lepljenja ploča od masivnog drveta stvar optimizacije svih parametara režima lepljenja. Zbog toga važi preporuka da se prilikom pripreme drveta za mašinsko lepljenje i samog lepljenja svi parametri beleže, kako bi se kasnije eventualne greške locirale i otklonile.

Tabela 1: Režim presovanja za ploče od masivnog drveta PVAc lepkom

Tip lepka	DIN EN 204 D4 Classification: PVAc termoplastični nestrukturani lepak klase D4 Sadržaj suve materije: 53.2 – 56.2% Viskozitet lepka: 3200 – 4800 cps (bez katalizatora) Catalyzed: 2300 - 4000 cps (sa katalizatorom) Specifična masa lepka: 1,11 pH vrednost: 5.0 - 6.0 (bez katalizatora): 2.0 - 4.0 (sa katalizatorom) Preporučena minimalna temperatura lepka: 16°C (preporučena temperatura u presi 20°C) Dodatak katalizatora (Aluminum Chloride): do šest procentata u odnosu na težinu Vreme delovanja katalizatora: 7-8h (posle toga kvalitet lepljenja pada na D3 ili niže)
Sadržaj vlage drveta	6-8% (često se toleriše u praksi $8\pm 2\%$, uz produžavanje vremena presovanja)
Mašinska priprema	Ako je na kružnoj pili: ne sme biti vidljivih tragova obrade na sljubnici (može se meriti direktno ili prema maksimalnoj debljini strugotine) Ako je na rendisaljci: ne sme biti vidljivih tragova obrade na sljubnici (može se meriti direktno ili prema minimalnom broju talasa po 1cm) Varijacija debljine (širine) elementa ne sme biti veća od $\pm 0,12\text{mm}$ Od mašinske obrade do lepljenja ne sme da prođe više od 24 časa.
Nanos lepka	Jednostrani nanos lepka: 170-250 grama po kvadratnom metru
Specifični pritisak presovanja: (zvezda presa)	Lake vrste drveta: $7-10\text{ kg/cm}^2$ (0,67-0,98 Mpa) Srednje teške vrste drveta: $9-13\text{ kg/cm}^2$ (0,88-1,27 Mpa) Teške vrste drveta: $13-18\text{ kg/cm}^2$ (1,27-1,76 Mpa) Razmak između vretena na zvezda presi: od krajeva 5 cm Međusobni razmak vretena na zvezda presi: 20-38cm Maksimalni ukupan pritisak po vretenu prese: 1.500 kg, pri pritisku vazduha 4-6 Bara Kod hidraulične ili VF prese ukupni pritisak se određuje pomoću grafikona. Stvarni specifični pritisak u sljubnici moguće izmeriti samo kompresometrom.
Vreme presovanja	Otvoreno vreme: 5 minuta Zatvoreno vreme: 15 minuta Vreme držanja pod pritiskom: minimum 30 minuta do više od 120 minuta
Sledeća mašinska obrada	Najmanje 24 časa posle vađenja iz prese

Zaključak

Ovde nije cilj da se favorizuje ni jedan tip mašina ili proizvođač mašina, već samo da se ukaže na moguće načine pripreme površine masivnog drveta za lepljenje i važnost držanja i režima mašinske obrade i režima lepljenja pod kontrolom, jer oni samo zajedno obezbeđuju dobar kvalitet lepljenja.

Neizbežan faktor je i kvalitet sušenja. Ako je bilo šta od pomenutog van potpune kontrole, moguće su male korekcije (na primer povećanjem nanosa, povećanjem specifičnog pritiska presovanja, dužim držanjem pod pritiskom...) ali to ne treba da postane manir u proizvodnji, jer mnogo je efikasnije otkloniti uzroke nego vršiti kasnije korekcije.

Ono što je sigurno, zbog konstantnog smanjenja kvaliteta ulaznog materijala, samo uslojevanje drveta lepljenjem može da obezbedi kvalitetan finalni proizvod, ali početak je još u primarnoj preradi drveta. ■