

# MIKROTALASNA



PIŠE: prof. dr Vladislav Zdravković

Radiofrekventno lepljenje je jedan od najefikasniji načina lepljenja drveta. U proizvodnji zakrivljenih furnirskih otpresaka RF lepljenje je gotovo jedini izbor. Pored toga i mnogi drugi proizvodi se rade efikasnije primenom RF lepljenja koje omogućava korišćenje masivnog drveta manjih dimenzija za izradu raznih vrsta ploča. Uglavnom se koriste RF generatori frekvencije između 6 i 30 MHz ili mikrotalasi frekvencije od 1000 do 300.000 MHz.

## Prednosti RF lepljenja:

- **Niži troškovi rada:** pri RF lepljenju jedan radnik može da zameni više radnika koji rade klasičnim procesom lepljenja
- **Kratko vreme polimerizacije lepka:** u RF procesu polimerizacija lepka traje nekoliko minuta, za razliku od konvencionalnih procesa gde se to meri satima.
- **Bolji kvalitet lepljenog spoja:** linije spoja (sljubnice) kod RF lepljenja greju se ravnomernije nego kod drugih procesa lepljenja gde se polimerizacija odvija na povišenim temperaturama. Pored toga, kako se prilikom lepljenja zagreva samo sloj lepka, smanjena je opasnost od narezanja u drvetu i nastanka deformacija.
- **Bolja energetska efikasnost:** RF proces zahteva manje energije nego ostali vrući postupci lepljenja. U primeni gde je lepljeni spoj upravan na ploče prese, zagreva se samo lepljeni spoj a ne i drvo i to samo tokom trajanja lepljenja-nema prethodnog zagrevanja obratka.
- **Manja potreba za prostorom:** Kompaktni RF proces lepljenja zauzima manju površinu poda nego slični konvencionalni procesi.

- **Veliki izbor lepkova za RF grejanje:** Danas mođe kompanije nude posebno formulisane lepkove svih tipova.
- **Komforno radno okruženje:** RF proces generiše znatno manje toplote nego konvencionalni procesi lepljenja.

## Istorijat RF lepljenja

U 19 veku je porasla potražnja za furnirskim pločama. U ranoj fazi proizvodnje furnirskih ploča koristili su se hladni lepkovi koji otvrdnjavaju na sobnoj temperaturi, tako da je proces lepljenja trajao veoma dugo. Vrelo presovanje uz upotrebu *thermosetting* lepkova našlo je širu primenu 1880ih godina ali je i proces lepljenja je trajao dugo s obzirom na to da je drvo dobar toplotni izolator i da je bilo potrebno dugo vreme da se materijal zagreje na temperaturu polimerizacije lepka. Razvoj elektronike 1930-ih godina omogućio je proizvodnju prvih furnirskih ploča lepljenih pomoću RF tehnike. Međutim, u to vreme RF oprema bila je glomazna i skupa.

Drugi Svetski rat ubrzao je razvoj proizvodnje furnirskih slojevitih ploča. Čvrstoća, stabilnost i mala težina furnirskih ploča bili su glavi argumenti za primenu u avio industriji. Troškovi proizvodnje nisu više bili glavni faktor. Rat je takođe stimulisao razvoj elektronike, zamenjene su glomazne vakumske elektronske cevi sa vodenim hlađenjem savremenijim, vazdušno hlađenim, znatno manjim cevima. Klasične ravne furnirske ploče proizvodile su se u presama grejanim vodenom parom. Zakrivljeni otpresci proizvodili su se ređe zbog visokih cena kalupa. RF tehnologija omogućila je primenu jeftinih drvenih kalupa koji su prekriveni bakarnim ili aluminijumskim elektrodama. Odjednom je proizvodnja furnirskih otpresaka različitih oblika i složenosti postala dostupna. Dalji razvoj elektronike i proizvodnje kalupa omogućili su primenu furnirskih otpresaka i u oblastima kao što je kućna elektronika automobilska industrija, što je opet povuklo napred razvoj RF tehnologije.

Sa azvojem televizije pedesetih godina prošlog veka povećala se potražnja za radio i TV kutijama za koje je idealna bila furnirska ploča kao dobar izolator. Radio i TV kutije su se u to vreme pravile od slojeva furnira slepljenih RF tehnologijom. Lepljenje ivica masivnog drveta za ploče bila je sledeća primena RF tehnologije. Paralelno sa tim usavršavali su se lepkovi specijalno formulisani za RF lepljenje. Razvoj lepkova i elektronike da-

li su impuls daljoj primeni RF tehnologije ali najveći doprinos dali su proizvođači mašina i opreme za lepljenje drveta. Masovna proizvodnja furnirskih ploča u klasičnim presama dostigla je kvalitet bolji nego ikada. Međutim novi kontinualni procesi bazi RF grejanja postaju sve efikasniji i efikasniji tako da su RF mašine postale standard u mnogim fabrikama.

## Kako se proces RF lepljenja odvija

Drvo i lepak se sastoje od molekula i to polarne prirode koji u promenljivom električnom polju usciluju i ritmu frekvence RF generatora. Te brze oscilacije molekula izazivaju međusobno trenje koje generiše toplotu potrebnu za polimerizaciju lepka. Količina generisane toplote u jednom punjenju prese zavisi od snage RF generatora, vrste i vlažnosti drveta i provodljivosti lepka. Da bi se te varijable podesile i prilagodile RF generatori su podesivi. Svako punjenje prese ima svoja električna i druga svojstva. Čak u jednom punjenju prese ta svojstva nisu jednaka i menjanju se tokom procesa plimerizacije lepka. Princip rada je da RF generator pretvara struju iz mreže koja ima frekvencu 50Hz u struju koja ima frekvencu reda MHz i šalje je kroz punjenje prese preko pozitivne elektrode. RF generatori imaju tri osnovne komponente: izvor napajanja, oscilatorno kolo i odgovarajuću mrežu za podešavanje. Izvor napajanja preko transformatora pretvara struju iz mreže na napon od nekoliko hiljada volti, pomoću ispravljača pretvara naizmeničnu struju u jednosmernu. Ispravljena jednosmerna struja ide u oscilatorno kolo koje je ponovo pretvara u naizmeničnu struju visoke frekvence. Punjenje prese poseduje različita električna svojstva. Punjenje velikog kapaciteta zahteva manju frekvencu i obratno. Napon između elktroda opada kako frekvencu raste. Uloga mreže za podešavanje je da reguliše izlaznu snagu generatora kako bi se prilagodila svojstvima punjenja koje se presuje. Različiti merni instrumenti i elementi za regulaciju



# ZA DRVO

omogućavaju operatoru da prilagodi snagu RF generatora svakom individualnom punjenju prese. Tako se RF tehnika lepljenja može primeniti u mnogim oblastima.

## Sistemi RF grejanja

Na osnovu tri sistema lepljenja drveta razvijena su tri sistema za RF grejanje drveta:

1. *Upravno grejanje* - gde se punjenje uglavnom sastoji od slojeva furnira između kojih su linije lepljenja, na primer ravne ili zakrivljene furnirske ploče. Termin "upravno grejanje" se koristi zbog toga što RF struja prolazi između elektroda koje stoje upravno na linije lepljenja. Ovakav sistem proistekao je iz klasičnog sistema vrelorg presovanja gde je medijum vodena para ili vrela voda. Kod upravnog RF grejanja celokupna masa punjenja prese se greje, tako da je potrebna veća snaga RF generatora nego kod paralelnog grejanja i ciklus grejanja traje duže. Lepkovi za vrelorg presovanje najefikasnije polimerizuju kada se dostigne temperatura unutar punjenja prese od 94°C. Kod upravnog RF grejanja operatori moraju da vode računa o nekoliko svari:

a) Spoljašnji slojevi mogu biti neslepljeni, naročito ako se radi o tanjim furnirima jer elektrode odvođe toplotu sa obratka. To je zbog toga što se same elektrode ne greju i što su izrađene od bakra ili aluminijuma koji su dobri provodnici toplote. Problem se rešava umetanjem jednog sloja furnira bez lepka između punjenja prese i elektroda.

b) Loše slepljene ivice mogu nastati kada se presuje debeo otpresak i gde su elektrode jednake površine kao i punjenje prese. Problem se rešava primenom elektroda koje su veće od otpreska više nego što je njihovo međusobno rastojanje. To će formirati zonu lutajućih struja oko otpreska a on će se ravnomerno grejati.

c) Otpresci sa oštrim krivinama i radijusima savijanja mogu ostati neslepljeni. To

se dešava zbog težnje drveta da zadrži svoj prvobitni oblik. Problem se rešava tako što se otpresak ostavlja pod pritiskom izvesno vreme posle isključenja RF generatora.

2. *Paralelno grejanje* - nastaje kada RF struja teče paralelno sa linijom lepljenja. Tada električne karakteristike lepka postaju veoma važne. Punjenje mora biti obrađeno na jednaku debljinu kako bi sve linije lepljenja bile u kontaktu sa elektrodama. Sistem paralelnog grejanja za razliku od upravnog grejanja forsira grejanje samo lepljenog spoja. Struja uvek ide linijom manjeg otpora. Kod sistema paralelnog grejanja punjenje postaje serija naizmenično poređanih izolatora (drvo) i provodnika (linija lepljenja-sljubnica). Linija lepljenja sprovodi struju direktno od jedne do druge elektrode, pri čemu se greje samo sloj lepka dok drvo ostaje gotovo nezagrejano, tako da je i manja potrošnja energije nego kod upravnog grejanja. Ako obradak nije iste debljine, različito je rastojanje između elektroda što dovodi do neravnog grejanja. Problem se može rešiti produžavanjem vremena grejanja. Pored ovoga problema loše obrađena površina elemenata koji se lepe dovodi do nejednake debljine lepljenog spoja (sljubnice). U tom slučaju neophodno je povećati pritisak a to dovodi do prevelikog istiskivanja lepka u nekim spojevima i lošeg slepljivanja. Linija lepka koja je deblja od ostalih ima najmanji otpor prolasku struje. Čak u okviru jedne linije lepljenja debljina sloja lepka može da bude različita što dovodi do rasipanja snage. Pored toga, ako je debljina sloja lepka veća od optimalne, lepljeni spoj je slabiji. Pažljiva obrada elemenata koji se lepe i podešavanje RF generatora čine paralelno lepljenje efikasnim i kvalitetnim.

3. *Lepljenje u "lutajućem električnom polju"* - za razliku od upravnog i paralelnog grejanja, kod lepljenja u lutajućem električnom polju obe elektrode postavljene su sa iste

strane linije lepljenja. Elektrode su uglavnom u obliku uzanih metalnih traka koje čine mrežu. Polje RF struje se formira kako obradak prolazi kroz njega struja pronalazi put najmanjeg otpora a to je linija lepljenja i zagreva je. Postoje i ručni uređaji koji su namenjeni za tačkasto lepljenje na malim površinama (na primer kod lepljenja malih ramova).

## Izbor RF opreme

Prilikom izbora RF opreme najvažnije je odabrati opremu odgovarajućeg kapaciteta i kvaliteta a da pritom ona ne bude preskupa. Pritom treba voditi računa o nekoliko osnovnih stvari kao što su:

- Tip procesa lepljenja: lepljenje ivica, široko lepljenje, lepljenje kantova, furnirski otpresci...
- Maksimalni potreban kapacitet na sat.
- Maksimalne dimenzije obratka.
- Raspoloživi prostor gde će se oprema instalirati.
- Da li upotrebiti sistem šarži ili sistem kontinualnog lepljenja.

## Priprema punjenja za lepljenje

Pod optimalnim uslovima lepak penetriira u drvo u vrlo tankom sloju, pei čemu se različite vrste drveta različito ponašaju, zahvaljujući njihovoj različitoj anatomskoj građi. Penetracija lepka najviše zavisi od poroznosti. Sadržaj smole, ulja i mineralnih komponenti je takođe važan. Zbog toga se različite vrste drveta različito i ponašaju pri RF lepljenju, neke su pogodnije, neke ne. Optimalna vlažnost drveta za RF lepljenje je od 6% do 8%. Rukovanje materijalom pre lepljenja je važno, treba izbegavati vlažnu sredinu i prašinu koja ometa dobro lepljenje. Punjenje prese pripremljeno za lepljenje ne treba da stoji više od 24 časa. Za obradu elemenata za spajanje treba koristiti kvalitetan i oštar alat. Isto se odnosi i na proizvodnju i pripremu furnira za RF lepljenje.

Svi procesi RF lepljenja zahtevaju tačno definisani ujednačeni specifični pritisak bez koga nema dobro lepljenog spoja.

Preporučeni specifični pritisci su:

- Za lake vrste drveta ... 0,689 - 1,034MPa
- Za srednje teške vrste drveta ... 1,034 - 1,378MPa
- Za teške vrste drveta ... 1,378 - 1,723MPa

Kod furnirskih otpresaka neophodno je da debljina furnira bude ravnomerna. Spaja-



ni furniri su posebno osetljivi ako je njihova debljina neravnomerna.

## Lepkovi za RF lepljenje

Najveći deo lepkova koji se koriste za RF lepljenje polimerizuju putem hemijskih reakcija a ne putem gubitka vode. Dodavanjem katalizatora u lepak nastaje polimerizacija prilikom koje se formiraju prostorno orijentisani molekuli vezani u duge lance. Toplota koja se generiše putem RF talasa značajno ubrzava proces polimerizacije. Po pravilu, povećanje temperature za svakih 10°C dvostruko ubrzava polimerizaciju. Izbor odgovarajućeg lepka za odgovarajući proizvod nije ništa manje značajno od izbora opreme i pripreme obradaka za lepljenje. Bilo kakav kompromis prilikom izbora lepka može da ugrozi ceo proces proizvodnje. Prilikom izbora lepka treba obavezno razmotriti sledeće: tip lepljenog spoja, način pripreme i rukovanja lepkom, trajnost lepka, vreme polimerizacije lepka, lakoća čišćenja opreme i cena.

Postoji nekoliko osnovnih lepkova koji se koriste za RF lepljenje: **Umreženi Polivinil Acetatni lepkovi (PVA)** koriste se uglavnom za lepljenje masivnih ploča (paralelno grejanje). Njihovo otvoreno vreme je 24h pa su pogodni za primenu. Katalizator je so koja deluje i kao provodnik za RF energiju. Dobija se jak voodootporan spoj. Lepak je termoplastičan, što znači da omekšava ponovnim grejanjem. Posle vađenja iz prese polimerizacija se nastavlja dok se lepak ne ohladi na sobnu temperaturu. **Urea Formaldehidni lepkovi (UF) lepkovi** se veoma mnogo koriste kod izrade furnirskih otpresaka (upravno grejanje). Isporučuju se u vidu praha ili emulzije. Kao provodnik služi kuhinjska so (NaCl). Oni su termostabilni što znači da ponovnim zagrevanjem ne omekšavaju. Grejanje im umanjuje viskozitet, pa se često u njih dodaju punioci kako bi lepak ostao u spoju. Da bi im se povećala voodootpornost često im se dodaje melamin. **Rezorcinol-Fenol Formaldehidni lepkovi** su najtrajniji voodootporni lepkovi za spoljnu upotrebu ali moraju da budu posebno formulisani jer im je teško regulisati električnu provodnost. **Alifatični lepkovi** nemaju katalizator i očvršćavaju gubitkom vode. Zahtevaju duže vreme držanja u presi i nisu voodootporni.

Primena RF tehnologije će se i dalje razvijati jer elektronske komponente postaju sve jeftinije, izrada kalupa na CNC mašinama je sve dostupnija a proizvođači lepkovala usavršavaju posebne formule za RF lepljenje. ■



PIŠE: mr Goran Milić

## Sendvič efekat

**Vrsta:** svetle vrste drveta (bukva, javor, breza, lipa, jasen...)

**Kada se javlja:** Posle proreza trupaca, odnosno tokom prirodnog sušenja, a naročito posle veštačkog sušenja.

**Opis:** Tamnija boja centralnog dela drveta u odnosu na svetlije površinske delove, naročito kod građe debljine preko 40 mm. (Slika 1.)

**Uzrok:** Enzimaska oksidacija fenolnih jedinjenja u drvetu.

**Kako sprečiti:**

- što kraće vreme između prorezivanja trupaca i veštačkog sušenja,
- što kraće vreme sušenja u početnim fazama (do srednje vlažnosti građe od oko 25%),
- temperatura u istom periodu ne bi trebala da prelazi 30-35°C.

## Plavetnilo

**Vrsta:** beli bor (*Pinus sylvestris*), smrča (*Picea abies*), jela (*Abies alba*).

**Kada se javlja:** Javlja se najčešće već u trupcima i posle proreza trupaca, odnosno tokom prirodnog sušenja. Ređe tokom veštačkog sušenja.

**Opis:** Plave ili sive diskoloracije beljike (slika 2.)

**Uzrok:** Do obojavanja dolazi usled prisustva gljiva (npr. *Ophiostoma minus*) u ćelijama drveta, odnosno diskoloracija je posledica produkata metabolizma tih gljiva.

**Kako sprečiti:** Što kraće vreme od seče do veštačkog sušenja. Pri sušenju primenjivati više temperature (>40°C), relativnu vlažnost vazduha ispod 70% i dobru cirkulaci-



Slika 1. Sendvič efekat a,b) bukva, c) javor, d) jasen



Slika 2. Plavetnilo

ju vazduha sve do vlažnosti drveta od oko 20% kada se rizik značajno smanjuje.

## Promena boje čiji su uzrok letvice (špandle)

**Vrsta:** dosta vrsta, a naročito svetli lišćari (jasen, javor, bukva) i četinari.

**Kada se javlja:** Tokom prirodnog sušenja, parenja, a naročito tokom veštačkog sušenja.