

## Proizvodnja kompozitnih čamaca u kućnoj radinosti

Priredio: Robert Šurina, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

### Small-scale manufacture of composite boats

This article describes the manufacturing procedure of polymer composite boats, as developed and improved continually over the years by the Croatian Company *Speedart*.

### Uvod

Razvoj kompozitnih materijala, a osobito njihova veća dostupnost, drastično su utjecali na tradicionalne načine izgradnje čamaca u kućnoj radinosti. Pri klasičnom načinu izgradnje čamaca prevladavali su drveni materijali u obliku drvenih letvica ili šperploče. Sama konstrukcija i izvedba čamca može biti tradicionalna ili monokokna. Kod tradicionalne izvedbe čamca važni su strukturni elementi pune pregrade, najčešće od nepromočive šperploče, povezane letvicama koje podupiru oplatu te čamcu daju oblik i čvrstoću. Kod monokokne izvedbe oblik čamca dobiva se poprečnim povezivanjem uzdužnih letvica, dok sva naprezanja na sebe preuzima oplata čamca. Monokokna izvedba široko je prihvaćena zbog više čvrstoće čamaca uz manju masu u odnosu na tradicionalnu izvedbu. Kao konstrukcijski materijali upotrebljavaju se drvo te šperploča. Drvo koje se najčešće koristi je hrastovina te parena jasenovina. Hrastovina se upotrebljava zbog svoje čvrstoće i trajnosti, ali ima višu gustoću pa zbog toga znatno pridonosi masi čamca. Parena jasenovina veoma je žilava pa se najčešće rabi ondje gdje je potrebno savijati letvice. Neovisno o izvedbi, na drveni kostur lijepi se oplata, najčešće od nepromočive šperploče.<sup>1</sup> Sljedeći je korak brušenje i kitanje trupa do željene glatkoće. Nakon kitanja slijedi lakiranje u nekoliko slojeva. Problem takve izvedbe je njezina trajnost uz povećanu masu gotovog čamca.

Upotrebom kompozitnih materijala bitno se skraćuje vrijeme izgradnje čamca uz znatno sniženje mase gotovog proizvoda. Za razliku od tradicionalnih materijala u brodogradnji, kompozitni materijali omogućuju izgradnju čamca *izvana prema unutra*, ovisno o upotrijebljenom postupku izgradnje. Infuzija smole može se smatrati najsofisticiranijim načinom proizvodnje kompozita s duromernom matricom jer omogućuje dobivanje oblika s izvrsnim omjerom ojačavala i matrice. Dobar omjer ojačavala i matrice potreban je radi dobivanja što boljih mehaničkih svojstava gotovog oblika. Povećan udio duromerne matrice u kompozitu smanjuje mehanička svojstva zbog krhkosti same matrice.

U tekstu će biti opisan postupak proizvodnje kompozitnih čamaca na temelju sedamnaestogodišnjeg rada i stalnog poboljšavanja njihove proizvodnje, Michela Ivića, vlasnika tvrtke *Speedart* iz Gornjeg Kneginca.

### Postupak proizvodnje kompozitnog čamca

#### Priprema kalupa

Priprema kalupa najvažniji je dio infuzijskog prešanja kompozita Seemannovim postupkom jer o tome ovisi konačni izgled proizvoda.

Prvi korak u pripremi proizvodnje je premazivanje kalupa voskom. Vosak onemogućuje močenje kalupa smolom i omogućuje kasnije vađenje proizvoda iz kalupa. Na sloj voska prska se sloj gelne prevlake (*gelcoat*, 250 g/m<sup>2</sup>). Kalup premazan voskom s nanesenim slojem prozirne gelne prevlake vidljiv je na slici 1. Gelna prevlaka je zapravo posljednji (vanjski) sloj tvorevine koji sadržava sve potrebne dodatke poput pigmentata, UV stabilizatora i drugih, koji kroje željena svojstva površine gotovog čamca.



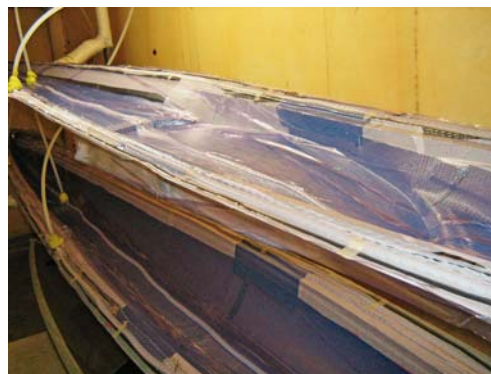
SLIKA 1 □ Kalup premazan voskom s nanesenim slojem prozirne gelne prevlake (Foto: R. Šurina)

#### Slaganje ojačavala

Iskrojeni slojevi ojačavala na suho se slažu u kalup. Kao prvi sloj ojačavala na očvrstnutu gelnu prevlaku slaže se ugljična tkanina (200 g/m<sup>2</sup>), na koju se dalje slažu tri sloja poliamidne (kevlarske) tkanine (170 g/m<sup>2</sup>). Kao nosivi sloj dolazi tromilimetarski sloj *Airexa*<sup>TM</sup>, pjenastog poli(vinil-klorida) (100 kg/m<sup>3</sup>), koji proizvodu daje krutost i stabilnost oblika. Kada ne bi bilo nosivog sloja, cijeli čamac mogao bi se uvijati oko uzdužne osi. Na sloj *Airexa*<sup>TM</sup> dolazi sloj hibridne ugljično-poliamidne tkanine (200 g/m<sup>2</sup>), koja dodatno ukrućuje čamac.

#### Slaganje dodatnih slojeva za infuziju

Na složene slojeve ojačavala u kalupu slažu se dodatni slojevi koji omogućuju infuziju smole. Prvi dodatni sloj je tzv. oguljeni pokrovni sloj (*peel ply* ili *abreis*), poliamidna tkanina kroz koju smola može prolaziti, ali je ne moći pa ne dolazi do adhezije među slojevima, čime je omogućeno odvajanje svih slojeva složenih iznad poliamidne tkanine. Na poliamidnu tkaninu preko sredine kalupa dolazi infuzijska mrežica za transport smole, koja omogućuje ravnomjernu raspodjelu smole po cijelom kalupu. Na rubove kalupa lijepi se gumena traka, koja



SLIKA 2 □ Paralelno spojeni kalupi spremni za infuziju smole (Foto: R. Šurina)

omogućuje hermetičnost, a uz koju se polažu podtlačne cijevi kroz koje će se isisavati zrak. Po sredini kalupa slažu se cijevi za dovod smole. Na drugu stranu gumene trake za hermetiranje lijepi se rastezna folija, koja se prilikom stvaranja podtlaka rasteže i naliježe na infuzijsku mrežicu te tako omogućuje manji potrošak smole. Na rasteznu foliju, na rubu kalupa, dolazi još jedna podtlačna cijev te kao krajnji sloj dolazi podtlačna vreća. Kalupi spremni za infuziju smole vidljivi su na slici 2. Dva reda

podtlačnih cijevi omogućuju postizanje podtlaka ispod rastezne folije i u podtlačnoj vreći. Zbog debljine stijenke na podtlačnoj vreći nastaju nabori koji bi se djelovanjem podtlaka mogli ispuniti smolom, što bi rezultiralo povećanom potrošnjom smole.

### Priprema smole za infuziju

Za infuzijsko nanošenje smole upotrebljava se epoksidna smola *Sika Biresin CR120* uz umreživalo *Sika Biresin CH120-3*. Smola je na bazi bisfenol-A-epiklorhidrina s dodatkom 1,4-bis(2,3-epoksipropoksi)butana,<sup>2</sup> dok umreživalo sadržava 3-aminometil-3,5,5-trimetilcikloheksilamin kao glavnu komponentu uz dodatak različitih poliamina.<sup>3</sup> Smola se priprema dodavanjem točne odvage umreživala u pripremljenu odvagu smole. Zbog istodobnog rada s više kalupa u smolu se dodaju markeri za vizualizaciju protoka (poliesterske šljokice), čime se olakšava praćenje protoka smole između kalupa. Nakon intenzivnog miješanja radi što bolje homogenizacije smjese smole, umreživala i markera za vizualizaciju, pristupa se stvaranju podtlaka u smjesi kako bi se iz nje izvukao zrak unesen miješanjem. Na slici 3 vidi se izlazak zraka iz umiješane smole pri stvaranju podtlaka. Bez podtlaka zaostali mjehurići zraka u smoli ušli bi u kalup, čime bi se snizila mehanička svojstva broda i znatno narušila njegova estetika.



SLIKA 3 □ Izlazak zraka pri podtlačivanju (Foto: R. Šurina)

### Infuzija smole

Nakon podtlačivanja posude sa smolom pristupa se stvaranju podtlaka u kalupu. Izlaz iz tlačnih cijevi kalupa spoji se na posudu za hvatanje smole, a ona se spoji na podtlačnu pumpu. Ulaz smole u kalup zatvori se štipaljkom te se uključi podtlačna pumpa. Kalup se u posebnoj prostoriji temperira na 40 °C, dok se smola u odvojenoj prostoriji temperira na 23 °C. Kada tlak u kalupu dostigne 0,5 mbar, otvara se ulaz smole u kalup. Infuzija smole prekida se kada se i posljednji kalup ispuni smolom, tj. kada se po markerima za vizualizaciju vidi izlazak smole iz posljednjega kalupa. Tada se zatvara dovod smole i još kratko vrijeme ostavi uključena podtlačna pumpa kako bi se višak smole izvukao iz kalupa. Natapanje laminata smolom vidljivo je na slici 4. Podtlačna pumpa ne smije raditi predugo kako ne bi došlo do izvlačenja smole iz laminata. Nakon završene infuzije prostorija se polako zagrijava na 80 °C radi očvršćivanja proizvoda.



SLIKA 4 □ Natapanje laminata smolom (natopljeni laminat je tamniji) (Foto: R. Šurina)

### Vađenje izratka iz kalupa te završno spajanje

Nakon očvršćivanja i stajanja izratka u kalupu deset sati pristupa se postupcima vađenja izratka iz kalupa. Prvo se uklanjaju podtlačna vreća i rastezna folija. Nakon toga se uklanjaju cijevi za dovod smole i podtlačne cijevi te mrežica za infuziju. Na kraju se uklanja poliaramidna tkanina, oguljeni pokrovni sloj, i proizvod se vadi iz kalupa. Načinjeni proizvod izvađen iz kalupa vidljiv je na slici 5. Nakon njegova vađenja iz kalupa u donji dio trupa uljepi se sjedalo te se donji i gornji dio trupa spajaju lijepljenjem epoksidnom smolom. Nakon što smola očvrstne i dijelovi se međusobno zalijepe, potrebno je pobrusiti spoj te ga ispolirati do visokog sjaja. Gotovi čamac spreman za prodaju vidljiv je na slici 6.



SLIKA 5 □ Izvađen izradak iz kalupa (Foto: R. Šurina)

### Zaključak

Čamci dobiveni infuzijskim prešanjem kompozita Seemannovim postupkom lakši su, čvršći i otporniji na mehanička opterećenja od tradicionalno građenih čamaca. Zbog obrnutog načina izgradnje kod infuzije smole moguće je dobro kroititi svojstva površine čamca, čime je postignuto veliko smanjenje otpora vode pri veslanju. Površina čamca je pozitiv površina kalupa te se zbog toga velika važnost pridaje pripremi površine kalupa uzastopnim poliranjem kalupa do visokog sjaja te upotrebom kvalitetne gelne prevlake. Nedostatak proizvedenih čamaca je njihova visoka cijena u odnosu na cijenu drvenih čamaca. Cijena kompozitnih čamaca je od 1 000 do 1 200 € za jednosjede te od 1 500 do 1 700 € za dvosjede, dok su cijene drvenih čamaca znatno niže, ovisno o tome je li riječ o kupnji ili samogradnji čamca.



SLIKA 6 □ Gotovi čamac (Foto: R. Šurina)

Uspješnost infuzije smole u izradi čamaca potvrđuje činjenica da je *Speedart*, s Michelom Ivićem na čelu, međunarodno poznata tvrtka čiji se čamci već niz godina izvoze u Italiju, Njemačku, Francusku, Nizozemsku te Sjedinjene Američke Države.

### LITERATURA

1. Turnšek, W.: *Brodogradnja za amatere: drvo, šper, stakloplastika, čelik, ferrocement: priručnik za samogradnju malih brodova*, Naprijed, Zagreb, 1984.
2. *Sika Deutschland GmbH, Biresin®CR120 Resin (A) Safety Data Sheet*, Stuttgart, 2009.
3. *Sika Deutschland GmbH, Biresin®CH120-3 Hardener (B) Safety Data Sheet*, Stuttgart, 2009.