

LIJEPLJENJE POLIMERNIH KOMPOZITNIH TVOREVINA

Ana Pilipović, Zoran Domitran, Josip Stojšić

Strukovni članak

Lijepljenje je suvremeni način spajanja dijelova, a primjenjuje se za povezivanje različitih materijala. Lijepljenje ima mnogobrojne prednosti pred mehaničkim postupcima spajanja dijelova. Lijepljeni spojevi prenose opterećenje cijelom površinom spoja, što osigurava veću postojanost djelovanju savojnih opterećenja i vibracija obzirom na druge načine spajanja materijala. Ljepila su tvari koje na osnovi kemijskog sastava i fizičkog stanja u trenutku nanošenja na površine omogućuju njihovo spajanje. Za povezivanje dijelova od metala, stakla, keramike, plastike i kompozita primjenjuju se ljepila koja mogu biti epoksidna, poliuretanska, akrilatna, itd. U tekstu će se prikazati ispitivanje smične čvrstoće lijepljenih spojeva kompozitnih tvorevina načinjenih postupcima obodnog namotavanja i izravnog prešanja, uz korištenje dvije vrste polimernih ljepila.

Ključne riječi: lijepljenje kompozita, obodno namotavanje, izravno prešanje, smična čvrstoća

Adhesive bonding of polymeric composites

Professional paper

Adhesive bonding is a modern method for joining parts and is applied for connecting different types of materials. Adhesive bonding has many advantages over mechanical joining, because in adhesive bonding load is carried over entire surface of joint thus providing better resistance to flexural stress and vibrations. Adhesives are substances that, based on chemical configuration and physical state, at the moment of coating the surfaces allow their joining. For joining parts of metal, glass, ceramics, polymers and composites adhesives are used, which may be epoxide, polyurethane, acrylate etc. The paper presents shear strength testing of the composite assemblies' joints bonded by filament winding and direct pressing by using two polymer adhesives.

Key words: adhesive bonding of composite, filament winding, direct pressing, shear strength

1 Introduction

Uvod

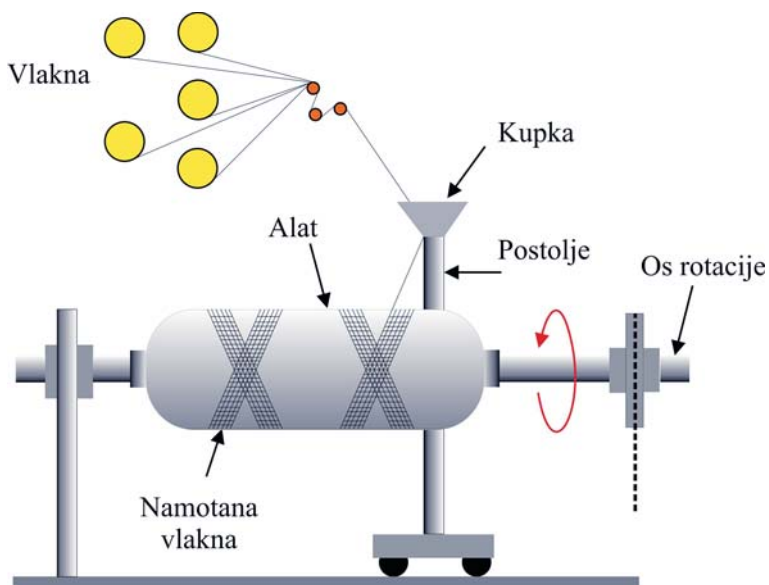
Polimerni kompoziti su materijali koji nastaju spajanjem dvaju ili više materijala različitih svojstava čineći novi materijal bitno različitih svojstava. Polimerni kompoziti sastoje se od polimerne matrice (smole) te materijalnog ojačala (vlakna). Primjena polimernih kompozita pojavljuje se u industriji prije više od pedeset godina [1]. Prva primjena zabilježena je u vojnoj industriji i

brodogradnji, te se širi na civilnu avioindustriju, automobilsku industriju i medicinu (primjer toga je ljepilo koje očvršćava upotrebom ultraljubičastog zračenja i koje se koristi u stomatologiji, te akrilna ljepila koja se koriste u ortopediji), itd. (slika 1). Najbitnije prednosti s obzirom na druge konstrukcijske materijale:

- ! Znatno viša specifična čvrstoća i krutost u odnosu na nisku gustoću
- ! Postojanost prema većini kiselina i lužina
- ! Samogasiva i antikorozivna svojstva
- ! Visoka mogućnost prigušenja vibracija.



Slika 1 Primjeri kompozitnih tvorevina [2, 3]
Figure 1 Examples of composite products [2, 3]



Slika 2 Obodno namotavanje [5]
Figure 2 Filament winding [5]

Najveći nedostatak je visoka cijena pojedinih sastojaka, posebice visokovrijednih ojačavala što smanjuje područje primjene.

Mnogobrojne su prednosti tih materijala, npr. mogućnost izrade kompleksnih oblika, dobro prigušenje vibracija, mala masa, postojanost na koroziju te niski troškovi i jednostavnost izrade, uvjetovali su veliko širenje područja njihove primjene [1].

2

Postupci proizvodnje polimernih kompozita

Procedure of polymer composite production

2.1

Postupak namotavanja

Filament winding

Koncept brzog i preciznog namotavanja (slika 2) kontinuiranog ojačavala na predefrirani alat osnova je postupka namotavanja. Postupak se odvija na posebnim strojevima koji mogu imati od dva pa do šest stupnjeva slobode gibanja. Ovisno od složenosti tvorevine potreban je stroj s više stupnjeva slobode gibanja čime je omogućena kontrola više parametra. Kontinuiranom promjenom brzine posmaka te brzine vrtnje pojedinih osi vrši se promjena kuta namotavanja i brzina namotavanja, te napetost vlakana.

Vlakna prolaze kroz kadu s pripremljenom smolom koja može biti temperirana ovisno od vrste smole te

potrebnoj viskoznosti. Uz kontinuirano pomicanje postolja i rotacijom alata vlakna se slažu pod određenim kutom jedno do drugog po određenom redosljedu. Promjenom kuta namotavanja te brzine vrtnje izravno se utječe na mehaničke osobine tvorevine. Kut namotavanja mijenja se u odnosu na os alata koji čini jezgru za namotavanje. Kut namotavanja od 90° naziva se obodno namotavanje, dok se namotavanje pod drugim kutovima naziva vijčano namotavanje (slika 3) (e. *helical winding*) [1].



90° Obodno
namotavanje

Vijčano
namotavanje

Slika 3 Obodno i vijčano namotavanje [6]
Figure 3 Filament and helical winding [6]

Namotavanje se vrši u oba smjera te dolazi do prekrivanja slojeva, a time i boljih mehaničkih svojstava. Slojevi moraju biti tako posloženi da nakon namotavanja čine jednu cjelinu bez rupa. Ponovljenim prolazima po alatu dobiva se određena debljina tvorevine.



Slika 4 Postupak mokrog namotavanja [7]
Figure 4 Wet winding [7]

Namotavanje može biti suho ili mokro. Ako vlakna prije postupka namotavanja prolaze kroz kupku od smole, postupak se naziva mokro namotavanje. Ako se koriste vlakna impregnirana slojem smole, postupak se naziva suho namotavanje. Nakon suhog namotavanja tvorevina se mora staviti u autoklav s ciljem polimerizacije matrice. Mokro namotavanje (slika 4) češće je u upotrebi te se vlakna nakon impregnacije cijede i namotavaju na alat, a polimerizacija smole ostvaruje se dodatkom ubrzavala ili povišenjem temperature bez povišenja tlaka, ovisno od vrste smole [1].

Postupak namotavanja sastoji se od četiri glavna koraka, [1]:

1. Priprema – priprema alata, čišćenje te nanošenje sredstva za odvajanje alata od tvorevine, priprema stroja za rad.
2. Namotavanje – vlakna se namotavaju na alat po unaprijed zadanim kutovima i uzorcima, s kontinuiranim dodavanjem pripremljene smole kod mokrog namotavanja.
3. Polimerizacija – nakon namotavanja, tvorevina se još neko vrijeme vrti da se postigne polimerizacija površine (ponekad je potrebno temperiranje alata). Kod suhog namatanja tvorevina se stavlja skupa s alatom u autoklavu.
4. Odvajanje jezgre – Nakon završetka polimerizacije proizvod se odvaja od alata te se sijeku nepotrebni prethi na krajevima dijelova.

Glavne prednosti postupka namotavanja su, [1]:

- ! mehaničke karakteristike u pojedinim smjerovima postižu se mijenjanjem kuta i uzorka namotavanja
- ! niski su investicijski troškovi i troškovi proizvodnje
- ! mogućnost izrade velikih proizvoda
- ! mogućnost izrade tvorevina bez spojnih dijelova u komadu
- ! kontinuirana nit po cijeloj tvorevini.

Nedostaci postupka namotavanja su, [1]:

- ! proizvodi komplicirane geometrije zahtijevaju kompleksnu konstrukciju alata i dodatne troškove
- ! ne mogu se proizvesti suprotno zakrivljeni dijelovi
- ! neophodne su jezgre
- ! kvaliteta površine je lošija nego kod preoblikovanja u autoklavu i uglavnom je potrebna dodatna obrada površine.

Kod postupka namotavanja vrlo je važan izbor materijala. Kao ojačanja koriste se staklena, ugljikova i aramidna vlakna. Za povezivanje vlakana koriste se smole i uloga im je povezivanje vlakana, te ujedno i štite vlakna od abrazije tijekom namotavanja i od abrazije i korozije nakon očvršćivanja, te pružaju međulaminarnu smičnu čvrstoću. U postupku namotavanja najčešće se primjenjuju epoksidna smola, nezasićena poliesterska smola i vinil-esterska smola [1].

2.2

Izravno prešanje [8, 9]

Direct pressing [8, 9]

Postupcima izravnog prešanja s primjenom visoko reaktivnih smola postižu se kratka vremena prerade uz mogućnost postavljanja usmjerenih vlakana odnosno dobivanja određenih mehaničkih svojstava tvorevine. Na unutarnji dio kalupa polaže se predpripremljeno stakleno vlakno (slika 5) u obliku mata ili tkanine. Povećanjem broja tkanina povećava se debljina proizvoda uz smanjenje udjela smole.

U cilju sniženja viskoznosti smola se temperira, a potom lijeva na pripremak, uz dodatak ubrzavala neposredno prije samog postupka ulijevanja u kalup (slika 6). Nakon toga se preša zatvara, ali pri tome treba paziti da



Slika 5 Predpripremljeno stakleno vlakno
Figure 5 Pre-treatment of glass fibre



Slika 6 Lijevanje smole
Figure 6 Resin casting

se u zadnjoj fazi sporo zatvara. Umrežavanje nastupa za nekoliko minuta, a nastala reakcijska toplina dodatno zagrije i sam kalup, što pospješuje očvršćivanje tvorevine.

U slučaju metalnih kalupa mogu se rabiti kalupi s grijalima koja dodatno ubrzavaju reakciju umrežavanja. Na taj način se temperira kalup na 35 - 60 °C. Preduvjet je da tvorevina ima debljinu stjenke minimalno 2 mm. Kod manjih debljina produljuje se vrijeme prešanja zbog načina



Slika 7 Gotov proizvod
Figure 7 Finished product

temperiranja kalupa. Tako izrađene tvorevine imaju glatku površinu s obje strane, a sadrže 40 - 50 % staklenog ojačanja (slika 7). Ograničenje postupka je pravljenje otpresaka jednolike debljine.

3 Svojstva ljepila Properties of adhesives

U današnje vrijeme ljepila se primjenjuju u svim vrstama proizvodnje te su u mnogim slučajevima zamijenila druge načine spajanja (vijcima, zaticima, umetcima, itd.). Prema DIN 16920 ljepilo se definira kao nemetalna tvar koja različite dijelove može povezati površinskim prianjanjem (adhezija) i unutarnjom čvrstoćom (kohezija), a da se pritom bitno ne mijenja struktura spojenih dijelova. Ljepila su, prema tome, tvari koje na osnovi kemijskog sastava i fizičkog stanja u trenutku nanošenja na površine omogućuju njihovo spajanje. Polimerna ljepila služe međusobnom povezivanju jednakih ili raznovrsnih polimernih dijelova, polimernih dijelova s dijelovima od drugih materijala i povezivanju dijelova od drugih materijala. Prianjanje ljepila na površinu koja se lijepi rezultat je mehaničkih, fizikalnih i kemijskih sila koje se preklapaju i utječu jedna na drugu [9].

Prednosti ljepila su: ravnomjerna raspodjela napreznja, spajanje raznovrsnih materijala, očuvanje integriteta lijepljenog materijala, maksimalna dinamička izdržljivost, sposobnost brtvljenja jednaka kao i lijepljenja, smanjenje mase, tanka ili fleksibilna podloga ljepila i niža konačna cijena proizvoda [10].

Nedostaci ljepila su: problemi kod recikliranja, neizvjesna čvrstoća spoja, ograničena brzina spajanja, priprema površine. [10]

Epoksidi su čvrsta, kruta strukturalna ljepila s najvećom čvrstoćom spoja koja se kreće od 14 MPa do 40 MPa. Ta ljepila umrežuju pri sobnoj temperaturi bez pretjeranog skupljanja. Postojana su na visoke temperature do 170 °C i imaju izvrsnu postojanost na kemikalije i na upijanje vode. Nedostaci epoksida su neotpornost pri niskim temperaturama i mala savitljivost. Epoksidi vrlo dobro lijepe metale i drvo, nešto slabije polimere, dok vrlo loše poliolefine. Epoksidi je teže primijeniti nego ostala ljepila jer se pojavljuju kao dvokomponentna s umreživalom ili jednokomponentna s očvršćivanjem gdje je potrebna povišena temperatura. Vrijeme očvršćivanja je dugo pa je otežana upotreba u automatiziranim montažnim stanicama. Epoksidi su iza cijanoakrilata najskuplja strukturalna ljepila. Područje primjene je u automobilskoj industriji, avioindustriji, te proizvodnji manjih električnih dijelova [10].

4 Materijali i oblik ispitnih tijela Materials and shapes of the test specimens

U radu je provedeno ispitivanje smične čvrstoće dvaju različitih ljepila pri lijepljenju dvaju polimernih kompozita, kompozita A i kompozita B. Cilj ispitivanja je utvrditi utjecaj duljine preklopa i površine lijepljenja za određeno ljepilo na ostvarenu nosivost i čvrstoću spoja.

Nosivost lijepljenih spojeva ovisi o brojnim čimbenicima: o svojstvima ljepila (adhezijska i kohezijska čvrstoća), svojstvima materijala koji se lijepe (slobodna površinska energija, površinska hrapavost, čistoća površina, mehanička svojstva), o postupku i tijekom lijepljenja (tlak, temperatura, vrijeme, vlaga itd.), oblikovanju lijepljenog spoja (debljini sloja ljepila, debljini podloge, vrsti i dimenzija spoja) i uvjetima opterećenja (vrsta opterećenja – statičko, dinamičko, način opterećenja, vrijeme opterećivanja, temperatura, itd.) [11].

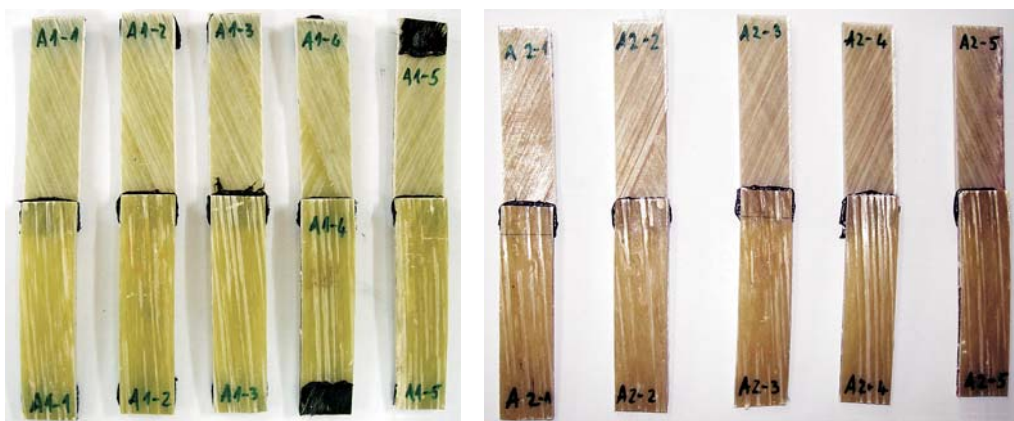
4.1 Materijali ispitnih tijela Materials of the test specimens

Kompozit A (slika 8) načinjen je postupkom obodnog namotavanja, kojim je proizvedeno cilindrično šuplje tijelo – cijev. Vlaknasta staklena ojačanja prolaze kroz kadu i natapaju se smolom, a zatim se namotavaju na rotirajuću metalnu jezgru. Izrađena je cijev promjera 1000 mm, te je iz nje izrezana ploča dimenzija 300 × 500 mm, iz koje su naknadno izrezana ispitna tijela za ispitivanje. Postupak namotavanja proveden je pod kutom od $\pm 76^\circ$ u tri sloja, te pod kutom od $\pm 87,5^\circ$ završnog, četvrtog sloja. Upotrebljena staklena vlakna su u obliku kontinuiranog rovinga, a smola je poliesterska. Volumni udio smole iznosio je 40 %.

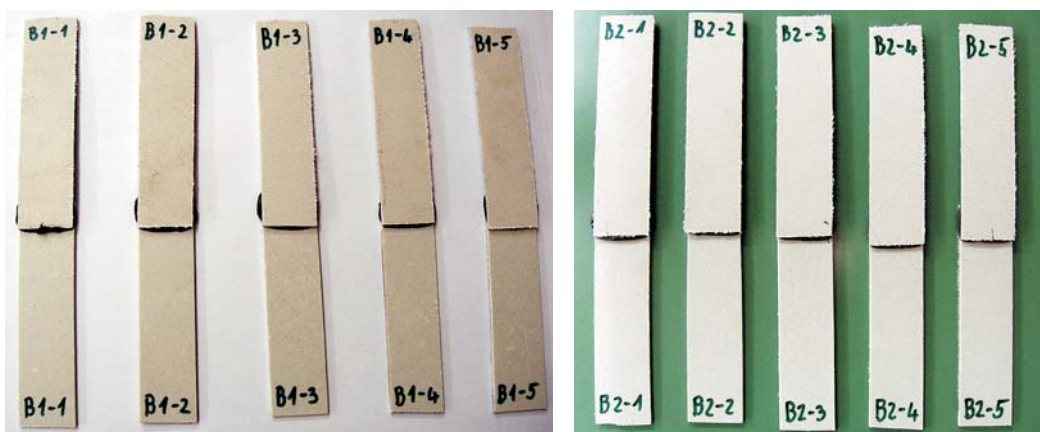
Karakteristike sastojaka:

- ! stakleno vlakno:
- gramatura 2400 tex = 2400 g/km [12]
- modul elastičnosti $E = 72$ GPa
- gustoća $\rho = 2,56$ g/cm³
- poliesterska smola:
- modul elastičnosti $E = 3,5$ GPa
- gustoća $\rho = 1,12$ g/cm³

Kompozit B (slika 9) načinjen je postupkom prešanja. Kao ojačavalo upotrijebljen je stakleni mat naslagan u šest slojeva. Četiri sloja mata su gramature 600 g/m², dok su dva sloja gramature 150 g/m², što daje ukupno 2700 g/m² za načinjeni kompozit. Upotrebljena je ista poliesterska smola kao i kod izrade kompozita A.



Slika 8 Kompozit A
Figure 8 Composite A

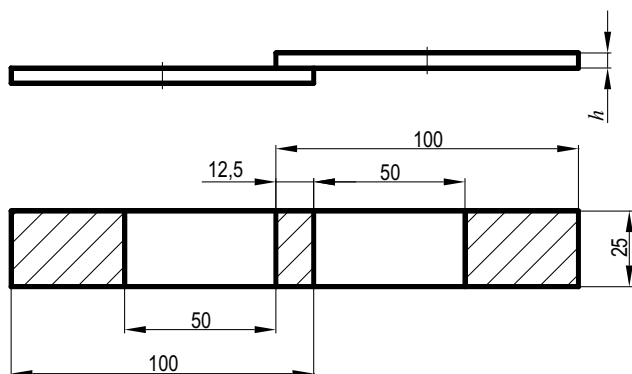


Slika 9 Kompozit B
Figure 9 Composite B

Korištena ljepila su jednokomponentno epoksidno ljepilo *Loctite Terostat 9220* i dvokomponentno epoksidno ljepilo *Loctite Hysol 9464*. Svojstva ljepila dana su u [11, 13].

4.2
Oblik ispitnog tijela za određivanje smične čvrstoće
Shape of the test specimen for determination of shear strength

Prema standardu ISO 4587 (slika 10) određuje se smična čvrstoća preklonih spojeva tvrdo na tvrdo na 5 ispitnih tijela [14].

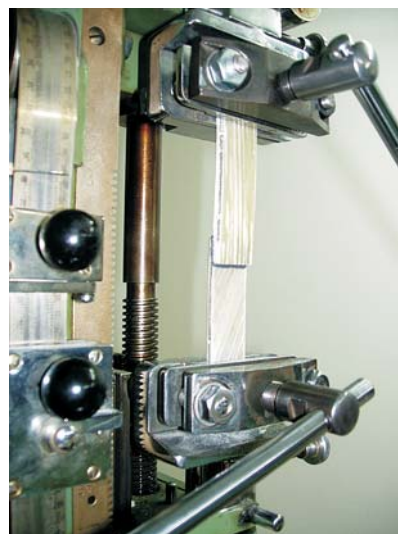


Slika 10 Oblik ispitnog tijela za određivanje smične čvrstoće [14]
Figure 10 Shape of test specimen for determination of shear strength [14]

Udaljenost od čeljusti kidalice $d = 50 \pm 1$ mm.
Duljina preklonog spoja $L = 12,5 \pm 0,25$ mm.
Širina preklonog spoja $b = 25 \pm 0,25$ mm [14].
 h – debljina ispitnog tijela (ispitivanje se provodi s postojećim debljinama ploča).

Na površine predviđene za lijepljenje nanesen je sloj ljepila, potom je provedeno spajanje uz ostvarivanje određene debljine sloja ljepila te duljine preklopa i osiguranje od pomicanja. Svi spojevi su ostavljeni 24 sata, tj. do postizanja manipulativne čvrstoće. Radi postizanja maksimalne, od proizvođača iskazane čvrstoće ljepila, od svakog su materijala po 4 ispitna tijela ostavljena 36 sati prije provedbe ispitivanja.

Na slici 11 prikazane su čeljusti uređaja za ispitivanje smične čvrstoće. Ispitivanje je provedeno pri sobnoj temperaturi i brzini posmaka čeljusti od 7 mm/min.



Slika 11 Uređaj za ispitivanje smične čvrstoće
Figure 11 Jaws for testing the shear strength

Na uređaju se očitava maksimalna sila te se računa smična čvrstoća prema jednadžbi (1) [14]:

$$\tau = \frac{F_{\max}}{A} \quad (1)$$

gdje je:

τ - smična čvrstoća, MPa

F_{\max} - sila, N

A - ploština površine lijepljenja, mm²

5 Rezultati ispitivanja Results of testing

Rezultati ispitivanja prikazani su u tablicama 1 i 2.
Ispitna tijela broj 4 i 5 kompozita A i ispitno tijelo broj 1

kompozita B lijepljena ljepilom *Terostat 9220* te ispitna tijela broj 4 i 5 kompozita A i ispitno tijelo broj 4 kompozita B lijepljena ljepilom *Hysol 9464* imaju najviše vrijednosti smične čvrstoće. Uzrok tome je to što su ta ispitna tijela ostavljena najmanje 36 sati prije opterećivanja.

Ispitno tijelo broj 2 kompozita A i ispitno tijelo broj 4 kompozita B lijepljena ljepilom *Terostat 9220* te ispitno tijelo broj 3 kompozita A i ispitno tijelo broj 3 kompozita B lijepljena ljepilom *Hysol 9464* imaju najniže vrijednosti smične čvrstoće. Uzrok tome je pogreška pri samom postupku lijepljenja, tj. ispitna tijela nisu zalijepljena idealno paralelno, već postoji određeni kut među njima.

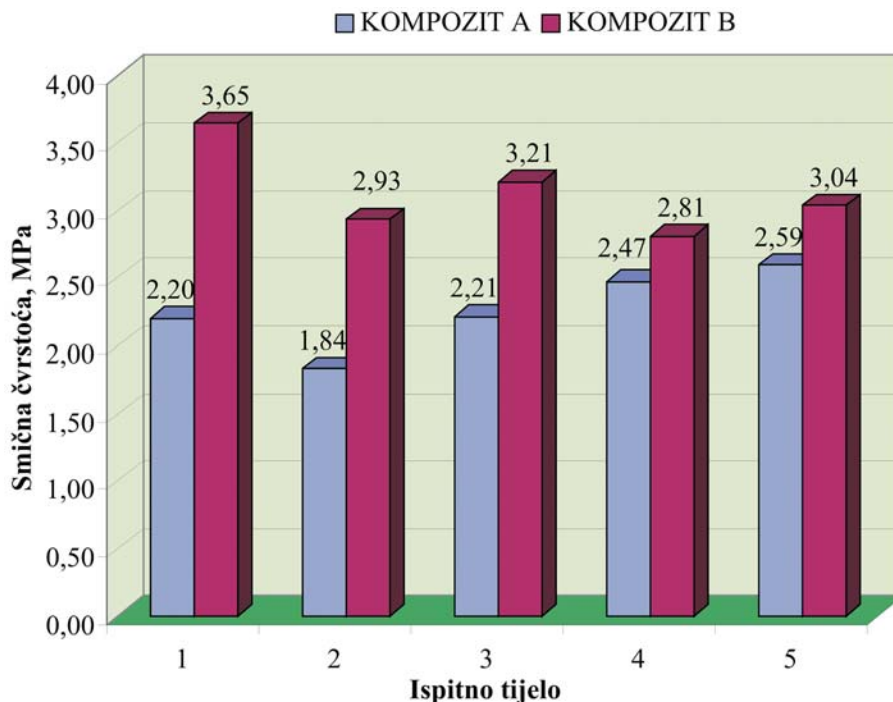
Iz priloženih rezultata može se zaključiti da ljepilo *Terostat 9220* ostvaruje veću nosivost lijepljenog spoja kod lijepljenja materijala B za 40 %, a ljepilo *Hysol 9464* ostvaruje veću nosivost lijepljenog spoja kod lijepljenja materijala A za 20 %, što je i prikazano na slikama 12 i 13.

Tablica 1 Svojstva ispitnih tijela kompozita A
Table 1 Properties of test specimens of composite A

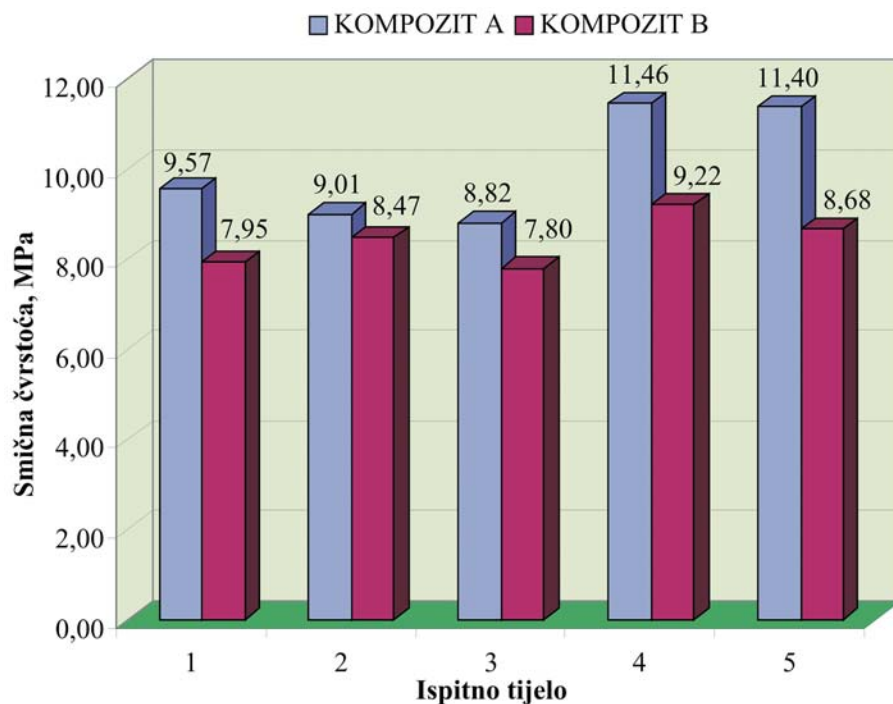
	KOMPOZIT A					
	Ispitno tijelo br.	Širina lijepljenog spoja b , mm	Duljina lijepljenog spoja l , mm	Ploština površine lijepljenog spoja $A = b \cdot l$, mm ²	Maksimalna sila F_{\max} , N	Smična čvrstoća τ , MPa
Ljepilo <i>Terostat 9220</i>	1.	24,9	14,6	363,54	800	2,20
	2.	24,7	15	370,5	680	1,84
	3.	25,5	12,4	316,2	700	2,21
	4.	25	15,2	380	940	2,47
	5.	24,9	13	323,7	840	2,59
	\bar{x}	25	14,04	350,79	792	2,26
	S	0,3	1,260	28,873	106,395	0,293
Ljepilo <i>Hysol 9464</i>	1.	25,2	14,6	367,92	3520	9,57
	2.	24,6	14,8	364,08	3280	9,01
	3.	25,3	14,7	371,91	3280	8,82
	4.	24,2	12,4	300,08	3440	11,46
	5.	24,7	13	321,1	3660	11,40
	\bar{x}	24,8	13,9	345,02	3436	10,05
	S	0,453	1,118	32,413	162,727	1,289

Tablica 2 Svojstva ispitnih tijela kompozita B
Table 2 Properties of test specimens of composite B

	KOMPOZIT B					
	Ispitno tijelo br.	Širina lijepljenog spoja b , mm	Duljina lijepljenog spoja l , mm	Ploština površine lijepljenog spoja $A = b \cdot l$, mm ²	Maksimalna sila F_{\max} , N	Smična čvrstoća τ , MPa
Ljepilo <i>Terostat 9220</i>	1.	25	12,5	312,5	1140	3,65
	2.	24,7	14,9	368,03	1080	2,93
	3.	24,9	14	348,6	1120	3,21
	4.	24,8	15,8	391,84	1100	2,81
	5.	25,1	13,9	348,89	1060	3,04
	\bar{x}	24,9	14,22	353,97	1100	3,13
	S	0,158	1,232	29,181	31,623	0,326
Ljepilo <i>Hysol 9464</i>	1.	25	15,5	387,5	3080	7,95
	2.	23,6	15,3	361,08	3060	8,47
	3.	24,8	15,3	379,44	2960	7,80
	4.	25,1	14	351,4	3240	9,22
	5.	24,5	14,1	345,45	3000	8,68
	\bar{x}	24,6	14,84	364,97	3068	8,43
	S	0,604	0,727	18,009	107,331	0,574



Slika 12 Vrijednosti smične čvrstoće za ljepilo Terostat 9220
Figure 12 Values of shear strength for adhesive Terostat 9220



Slika 13 Vrijednosti smične čvrstoće za ljepilo Hysol 9464
Figure 13 Values of shear strength for adhesive Hysol 9464

6

Zaključak

Conclusion

Cilj provedenog ispitivanja bio je utvrditi koliku nosivost lijepljenog spoja ostvaruje određeno ljepilo pri lijepljenju dva različita kompozita. Također je analiziran utjecaj vremena držanja određenog lijepljenog spoja prije opterećenja.

Radi postizanja maksimalne čvrstoće lijepljenog spoja, od svakog materijala su 4 ispitna tijela opterećivana nakon 36 sati. Nakon ispitivanja pokazalo se da ta ispitna tijela imaju višu smičnu čvrstoću od ostalih, te se može zaključiti da dulji vremenski period ima za posljedicu povećanje

nosivosti lijepljenog spoja.

Ljepilo *Terostat 9220* ostvaruje manju nosivost lijepljenog spoja nego ljepilo *Hysol 9464*, ali je viša elastičnost spoja. Zbog toga se ljepilo *Terostat 9220* preporučava za spojeve koji zahtijevaju elastičnost, dok se lijepljenje *Hysolom 9464* preporučava za krute i čvrste spojeve.

Pogreške pri samom postupku lijepljenja javljaju se zbog neodgovarajućeg učvršćenja i osiguranja od pomicanja. Veća je vjerojatnost pomicanja ispitnih tijela nakon lijepljenja *Hysolom 9464* zbog manje viskoznosti od ljepila *Terostat 9220*. Iz analize također se može zaključiti da dobivene vrijednosti smične čvrstoće odgovaraju onima propisanim od strane proizvođača (3,8 – 22 MPa).

Zahvala Acknowledgement

Rad je dio istraživanja u okviru projekata *Povišenje učinkovitosti razvoja i preradbe polimernih proizvoda* (120-1521473-1808) i *Napredni postupci izravne izradbe polimernih proizvoda* (152-1521473-1474) koji su dio programa *Brza proizvodnja – od ideje do stvarnosti* i projekta *Ekološki podržan razvoj proizvoda* (120-1201833-1832) koji je dio programa *Istraživanje i razvoj materijala za elemente tribosustava* financiranih od strane *Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske*. Autori se zahvaljuju Ministarstvu na financijskoj potpori.

7 Literatura References

- [1] Akovali, G. Handbook of Composite Fabrication, Rapra Technology Limited, Exeter, 2001.
- [2] <http://www.sigreenbelt.org/images/freshkills/windturbines.jpg>, 16.02.2009
- [3] <http://www.pentairwatertreatment.com/PentairFiles/Pentair%20Water%20Treatment/Images/Composite%20Tanks%20Group.jpg>, 16.02.2009.
- [4] Kunej, W. Poliesterski kompoziti, Metalmineral, 2006.
- [5] http://www.azom.com/work/47wEj793H71F6t8kntY2_files/image003.gif, 16.02.2009.
- [6] http://www.addax.com/technology/filament_winding.html, 16.02.2009.
- [7] <http://www.pc-intl.com/fw.htm>, 16.02.2009.
- [8] Biron, M. Thermosets and Composites, Elsevier Advanced Technology, Oxford, 2004.
- [9] Čatić, I. Proizvodnja polimernih tvorevina, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 2006.
- [10] Rotheiser, J. Joining of plastics (2nd edition), 2004.
- [11] Raos, P. Eksperimentalna i numerička analiza jednostrukih preklonih lijepljenih spojeva, Polimeri 24(2003)2-4, str. 79-83.
- [12] <http://www.unc.edu/~rowlett/units/dictT.html>, 06.03.2009.
- [13] Henkel – Loctite, http://www.loctite.com/int_henkel/loctite_hr, 20.01.2009.
- [14] ISO 4587:1979 Adhesive – Determination of tensile lap – shear strength of rigid – to rigid bonded assemblies

Adrese autora Authors' Addresses

Ana Pilipović, dipl. ing. stroj.
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Katedra za preradbu polimera
Ivana Lučića 5
HR-10000 Zagreb
Tel.: 01/6168-191
e-mail: ana.pilipovic@fsb.hr

Zoran Domitran, dipl. ing. stroj.
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Katedra za elemente strojeva i konstrukcija
Ivana Lučića 5
HR-10000 Zagreb
Tel.: 01/6168-203
e-mail: zoran.domitran@fsb.hr

Josip Stojić, dipl. ing. stroj.
Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku
Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu
Katedra za obradu odvajanjem čestica
i preradu polimera
Trg Ivane Brlić-Mažuranić 2
HR-35000 Slavonski Brod
e-mail: jstojic@sfsb.hr